

MARCOS BIANCHINI

**MEDIÇÕES DO MATERIAL PARTICULADO EM
CHAMINÉ E DAS PARTÍCULAS TOTAIS EM
SUSPENSÃO NO AR AMBIENTE:
O CASO DA EMPRESA COLORMINAS**

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

CONSULTA
FD-3340

SÃO PAULO
2002

MARCOS BIANCHINI

**MEDIÇÕES DO MATERIAL PARTICULADO EM
CHAMINÉ E DAS PARTÍCULAS TOTAIS EM
SUSPENSÃO NO AR AMBIENTE:
O CASO DA EMPRESA COLORMINAS**

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

**Área de concentração:
Engenharia Mineral**

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

**SÃO PAULO
2002**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ter chegado até aqui e pelas pessoas que ele colocou ao meu redor.

A toda minha família, que é a primeira escola da vida, a base do conhecimento para chegar onde almejei.

Ao professor Dr. Sérgio Médici de Eston pela orientação e direcionamento deste trabalho.

À UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense, pela oportunidade e pelas facilidades que me deram para realizar este curso de mestrado.

Ao IPAT – Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas, e todos os funcionários que direta ou indiretamente me apoiaram. Principalmente ao químico João Otto Schmitz Júnior do Laboratório de Espectrofotometria de Absorção Atômica, que me acompanhou em boa parte dos experimentos de campo e caracterizações químicas das amostras coletadas.

Ao Engenheiro M. Sc. Ivo Torres de Almeida pela revisão e orientação do texto.

Aos coordenadores do curso de Pós-graduação de Engenharia Mineral, na pessoa do professor Dr. Laurindo de Salles Leal Filho – USP, e da professora Dr. Vanilde Citadini Zanette – UNESC, que nos momentos mais difíceis me apoiaram para a realização deste curso.

À COLORMINAS – Colorifício e Mineração, na chefia do Departamento Técnico, na pessoa de Sandro Roberto de Luca por terem permitido a realização dos trabalhos de campo, associado a uma prestação de serviço pelo IPAT.

Aos professores, equipe de trabalhos, pós-graduandos, funcionários da secretaria da EPUSP/UNESC, pelas orientações e amizades.

Aos colegas da MachRatt pelo trabalho de digitação e da professora Alzira Pereira Krebs pela diagramação realizada nesta dissertação.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LISTA DE SÍMBOLOS, GRANDEZAS E UNIDADES

RESUMO

ABSTRACT

| | |
|--|-----------|
| 1.INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 Proposta de trabalho | 1 |
| 1.2 Justificativa..... | 2 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 3 |
| 3 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL | 18 |
| 3.1 Histórico da legislação brasileira | 18 |
| 3.2 Padrões de emissão de poluentes em fontes fixas | 19 |
| 3.3 Padrões de qualidade do ar..... | 22 |
| 3.3.1 Padrões nacionais de qualidade do ar para MPS..... | 25 |
| 3.4 Índice de Qualidade do ar..... | 26 |
| 3.5 Legislação ambiental do Estado de Santa Catarina..... | 27 |
| 3.5.1 Da proteção atmosférica e das proibições e exigências | 28 |
| 3.5.2 Dos padrões de qualidade do ar | 28 |
| 3.5.3 Dos padrões de emissão | 30 |
| 4 MATERIAIS E MÉTODOS | 32 |
| 4.1 Coleta de dados | 32 |
| 4.2 Medições das emissões de poluentes na chaminé | 32 |
| 4.2.1 Determinação do local e dos pontos transversais na chaminé | 33 |
| 4.2.1.1 Escolha do local para amostragem | 34 |
| 4.2.1.2 Determinação do número mínimo de pontos na seção transversal | 34 |
| 4.2.1.3 Distribuição dos pontos transversais | 34 |

| | |
|--|-----------|
| 4.2.2 Determinação da velocidade média e vazão do fluxo gasoso | 36 |
| 4.2.2.1 Aparelhagem | 37 |
| 4.2.2.2 Procedimento de operações nas coletas | 37 |
| 4.2.2.3 Cálculos de vazão e velocidade..... | 40 |
| 4.2.3 Determinação da massa molecular do fluxo gasoso..... | 41 |
| 4.2.3.1 Aparelhagem | 41 |
| 4.2.3.2 Procedimento de operações nas coletas | 43 |
| 4.2.3.3 Cálculo da massa molecular | 43 |
| 4.2.4 Determinação da umidade do fluxo gasoso..... | 44 |
| 4.2.4.1 Aparelhagem | 45 |
| 4.2.4.2 Procedimentos de operações nas coletas..... | 46 |
| 4.2.4.3 Cálculo de volumes e umidade | 48 |
| 4.2.4.4 Determinação do diâmetro da boquilha | 50 |
| 4.2.5 Determinação da concentração de material particulado no fluxo gasoso | 55 |
| 4.2.5.1 Aparelhagem | 56 |
| 4.2.5.2 Procedimento de operações nas coletas | 59 |
| 4.2.5.3 Cálculos de volumes e concentrações | 62 |
| 4.3 Amostragem de Partículas Totais em Suspensão (PTS) no ar ambiente..... | 65 |
| 4.3.1 Amostrador de Grande Volume (AGV)..... | 66 |
| 4.3.2 Tipos de filtros | 67 |
| 4.3.3 Calibrador Padrão de Vazão (CPV) | 69 |
| 4.3.4 Procedimento de operação nas coletas..... | 70 |
| 4.3.5 Calibração do dispositivo de vazão..... | 73 |
| 4.4 Programa de amostragem de PTS nas proximidades do empreendimento | 77 |
| 4.4.1 Sentido leste da fonte de emissão | 78 |
| 4.4.2 Sentido oeste da fonte de emissão..... | 78 |
| 4.5 Análise dos resultados..... | 79 |
| 4.5.1 Concentração de material particulado | 80 |
| 4.5.2 Caracterização físico-químico do material particulado..... | 80 |
| 4.5.3 Concentração de partículas totais em suspensão no ar ambiente | 82 |
| 4.5.4 Caracterização química das partículas totais em suspensão | 83 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 84 |
| 5.1 Concentração de Material Particulado (MP)..... | 84 |

| | |
|--|----|
| 5.1.1 Estimativa da energia produzida para a determinação da taxa de emissão | 85 |
| 5.1.2 Distribuição granulométrica | 86 |
| 5.1.3 Análise química quantitativa do Material Particulado (MP)..... | 87 |
| 5.2 Concentração de Partículas Totais em Suspensão (PTS) | 88 |
| 5.2.1 Análise química quantitativa das Partículas Totais em Suspensão (PTS) | 91 |
| 5.3 Análise química das PTS no ponto neutro | 93 |
| 5.4 Resumo dos resultados | 95 |

| | |
|---|----|
| 6 CONCLUSÕES | 96 |
| 6.1 Emissões de MP | 96 |
| 6.2 Distribuição granulométrica do MP | 96 |
| 6.3 Caracterização química do MP e das PTS..... | 97 |
| 6.4 Ações corretivas sugeridas | 97 |
| 6.5 Estudos Futuros | 98 |

ANEXOS

| | |
|---|-----|
| Anexo A – Mapa de espacialização das fontes de emissão e pontos de coleta..... | 100 |
| Anexo B – Figuras das chaminés e dos pontos de amostragem..... | 102 |
| Anexo C – Figuras dos pontos de amostragem nas proximidades da fonte de emissão | 105 |
| Anexo D – Relatórios de ensaio das emissões atmosféricas | 108 |
| Anexo E – Memorial de cálculo da energia produzida nos fornos de fusão | 117 |
| Anexo F – Relatórios de ensaio da caracterização química do Material Particulado (MP) | 119 |
| Anexo G –Relatórios de ensaio da distribuição granulométrica do Material Particulado (MP)..... | 121 |
| Anexo H – Relatórios de ensaio das concentrações das Partículas Totais em Suspensão (PTS) no ar ambiente coletadas nas proximidades da fonte de emissão..... | 134 |
| Anexo I –Relatórios de ensaio da caracterização química das Partículas Totais em Suspensão (PTS) coletadas nas proximidades da fonte de emissão | 137 |

| | |
|--|------------|
| Anexo J – Relatórios de ensaio da caracterização química das Partículas Totais em Suspensão (PTS) coletada em um ponto neutro, distante da fonte de emissão | 144 |
|--|------------|

BIBLIOGRAFIA

| | |
|-------------------------------|-----|
| Lista de Referências | 149 |
| Referências Consultadas | 152 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 3.1 – Relação entre concentração de PTS e o valor do índice de qualidade do ar | 27 |
| Figura 4.1 - Número mínimo de pontos na seção transversal | 35 |
| Figura 4.2 - Seção transversal da chaminé circular dividida em 12 áreas iguais, com a localização dos pontos transversais no centro de cada área | 35 |
| Figura 4.3 - Aparelhagem para determinação das cargas de velocidade e das temperaturas | 38 |
| Figura 4.4 - Formulário para dados de carga de velocidade | 39 |
| Figura 4.5 - Aparelhagem para coleta da amostra..... | 42 |
| Figura 4.6 - Aparelho de Orsat..... | 42 |
| Figura 4.7 - Formulário para determinação dos resultados do aparelho Orsat | 43 |
| Figura 4.8 - Aparelhagem para determinação de umidade – método de referência.. | 47 |
| Figura 4.9 - Formulário para determinação de umidade – método de referência | 48 |
| Figura 4.10 - Formulário para dados analíticos – método de referência..... | 48 |
| Figura 4.11 - Croqui do esquema de montagem geral do CIPA | 57 |
| Figura 4.12 - Conjunto amostrador, componentes e casinhola | 67 |
| Figura 4.13 - Calibrador padrão de vazão tipo orifício e placas de resistência..... | 70 |
| Figura 4.14 - Formulário de amostragem para o amostrador de grande volume | 73 |
| Figura 4.15 - Calibrador padrão de vazão acoplado ao AGV | 74 |
| Figura 4.16 - Formulário de calibração para o amostrador de grande volume | 77 |
| Figura 5.1 - Comparação das taxas de emissão de MP com o padrão de emissão..... | 85 |

| | |
|---|-----------|
| Figura 5.2 – Resultados de PTS (1ª série) com as faixas de concentração dos padrões de qualidade do ar relacionados com a qualificação | 90 |
| Figura 5.3 - Resultados de PTS (2ª série) com as faixas de concentração dos padrões de qualidade do ar relacionados com a qualificação | 92 |
| Figura 5.4 – Médias dos resultados das análises químicas dos pontos de coleta..... | 95 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 3.1 - Padrões nacionais de qualidade do ar e métodos de referência | 24 |
| Tabela 3.2 - Critérios para episódios agudos de poluição do ar | 25 |
| Tabela 3.3 - Padrões nacionais de qualidade do ar para material particulado..... | 26 |
| Tabela 3.4 – Estrutura do índice de qualidade do ar para o parâmetro de PTS | 27 |
| Tabela 4.1 - Localização de pontos transversos em chaminés circulares..... | 36 |
| Tabela 5.1 - Concentração de MP na saída da chaminé após filtro de mangas..... | 84 |
| Tabela 5.2 - Resultados das análises químicas do MP coletados na chaminé..... | 87 |
| Tabela 5.3 - Concentração de PTS na 1ª Série | 88 |
| Tabela 5.4 - Concentração de PTS na 2ª Série | 91 |
| Tabela 5.5 - Resultados das análises químicas das PTS coletadas no ar ambiente localizado nas proximidades da fonte de emissão | 93 |
| Tabela 5.6 - Resultados das análises químicas das PTS coletadas no ar ambiente localizado em um ponto neutro distante da fonte de emissão..... | 94 |
| Tabela 5.7 - Descrição dos pontos de coleta referente as médias dos resultados..... | 95 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|----------------|---|
| AAS | - Atomic Absorption Spectrometry |
| AGV | - Amostrador de Grande Volume |
| APHA | - American Public Health Association |
| ABNT | - Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| APAs | - Área de Preservação Ambiental |
| APV | - Amostrador de Pequeno Volume |
| ASTM | - American Society for Testing and Materials |
| CETESB | - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental |
| CEIC | - Centro Educacional Integrado da Criança |
| CIPA | - Coletor Isocinético de Poluentes Atmosféricos |
| CONAMA | - Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| CTC | - Centro de Tecnologia em Cerâmica |
| CPV | - Calibrador Padrão de Vazão |
| DCFE | - Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias |
| ECP | - Engenheiros Consultores e Projetistas |
| EIA | - Estudo de Impacto Ambiental |
| FATMA | - Fundação do Meio Ambiente |
| FEEMA | - Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente |
| GPS | - Global Position System |
| HVS | - High Volume Sampler |
| IBAMA | - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente |
| INMETRO | - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial |

| | |
|-----------------|---|
| IPAT | - Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas |
| LDCM | - Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais |
| LA | - Laboratório Atmosférico |
| LAFQ | - Laboratório de Análises Físico-Químicas |
| LAA | - Laboratório de Absorção Atômica |
| LP | - Licença Prévia |
| LO | - Licença de Operação |
| LPO | - Limite de Percepção de Odor |
| MAA | - Média Aritmética Anual |
| MGA | - Média Geométrica Anual |
| MINTER | - Ministério do Estado do Interior |
| MP | - Material Particulado |
| MPS | - Material Particulado em Suspensão |
| MPV | - Medidor Padrão de Volume |
| MVS | - Medium Volume Sampler |
| MW | - Megawatts |
| N | - Condições Normais de Temperatura e Pressão - CNTP |
| NAAQS | - National Ambient Air Quality Standards |
| NBR | - Norma Brasileira |
| PI | - Partículas Inaláveis |
| PROCONVE | - Programa Nacional de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores |
| PROGESC | - Programa de Informações Básicas para Gestão Territorial do Estado de Santa Catarina |
| PRONAR | - Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar |
| PTS | - Partículas Totais em Suspensão |

| | |
|----------------|---|
| RIMA | - Relatório de Impacto Ambiental |
| SISNAMA | - Sistema Nacional do Meio Ambiente |
| UNESC | - Universidade do Extremo Sul Catarinense |
| UNEP | - United Nations Environment Programme |
| USP | - Universidade de São Paulo |
| USEPA | - United States Environmental Protection Agency |
| UTM | - Projeção Universal Transversal de Mercator |
| WHO | - World Health Organization |

LISTA DE SÍMBOLOS, GRANDEZAS E UNIDADES

- A = área da seção da boquilha, m^2 ;
- B'_{ag} = umidade nos gases avaliada previamente (adimensional);
- B_{ag} = teor de umidade, proporção por volume;
- B_{ws} = vapor d'água no fluxo gasoso, proporção em volume;
- C = concentração de partículas no gás da chaminé, base seca, g/Nm^3 ;
- C_a = concentração do branco da acetona, mg/g ;
- C_p = coeficiente de correção do tubo Pitot (adimensional);
- D_b = diâmetro da boquilha, (mm);
- I = porcentagem de isocinética;
- K_i = fator de proporcionalidade para este ponto i , (adimensional);
- m = massa total de partículas coletadas, mg;
- m_a = massa de resíduo da acetona após evaporação, mg;
- M_{ag} = massa total de água coletada, g;
- MM_s = massa molecular dos gases coletados na base seca, $g/g - mol$;
- MM_u = massa molecular dos gases coletados na base úmida, $g/g - mol$;
- O_b = diâmetro da boquilha escolhida, mm;
- O_p = tempo de amostragem em cada ponto, min;
- P = pressão absoluta na chaminé, mmHg;
- $P_{(std)}$ = pressão absoluta padrão, 760 mmHg;
- P_2 = pressão barométrica durante a calibração, mmHg;
- P_{atm} = pressão atmosférica, mmHg;
- P_{bar} = pressão barométrica no local de amostragem, mmHg;
- P_e = pressão estática na chaminé, mmHg;

P_g = pressão no gasômetro, mmHg;

P_m = pressão absoluta no medidor de gás, mmHg;

PM_w = massa molecular da água, 18 g;

Q_m = vazão estimada no gasômetro, m^3/min ;

Q_p = vazão na placa de orifício, m^3/h ;

R (constante universal dos gases) = $0,0623 \text{ mmHg} - m^3/K - \text{gmol}$;

\bar{T} = média das temperaturas absolutas na chaminé, K;

T = temperatura absoluta na chaminé, K;

T_2 = temperatura ambiente durante a calibração, K;

\bar{T}_g = média das temperaturas no gasômetro, K;

\bar{T}_{gi} = temperatura média (entre entrada e saída) no gasômetro no ponto de coleta i , K;

T_i = temperatura na chaminé no ponto de coleta i , K;

T_m = temperatura absoluta do medidor, K

\bar{T}_m = temperatura média no medidor de gás seco, K;

\bar{T}_s = temperatura média no interior da chaminé, K;

T_{std} = temperatura absoluta padrão, 293 K;

V = volume total de gás medido, m^3 ;

$V_{(std)}$ = volume de gás seco medido, corrigido para as condições padrões, m^3 ;

V' = volume a ser amostrado, m^3 ;

V_a = volume de acetona utilizada para o branco, ml;

V_{ag} = volume da água contida nos gases coletados, m^3 ;

V_{aw} = volume de acetona utilizada para lavagem, ml;

V_f = volume final do líquido no condensador, ml;

V_i = volume inicial do líquido no condensador, ml;

V_m = volume de gás seco medido pelo medidor de gás, m^3 ;

$V_{m(std)}$ = volume de gás que passa no medidor de gás seco corrigido para as condições padrões, m^3 ;

v_s = velocidade de gás na chaminé, m/s;

$V_{w(std)}$ = volume de vapor d'água corrigido para as condições padrões, m^3 ;

$V_{wc(std)}$ = volume de vapor d'água condensada, corrigido para as condições padrões, m^3 ;

$V_{wg(std)}$ = volume de vapor d'água coletada na sílica gel, corrigido para as condições padrões, m^3 ;

W_a = massa de partículas no volume de acetona de lavagem, mg;

W_f = massa final do tubo de sílica gel, g;

W_i = massa inicial do tubo de sílica gel, g;

θ = tempo total de amostragem, min;

ρ_a = densidade da acetona, mg/ml;

ΔH = diferencial de pressão na placa de orifício, mmH₂O;

$\overline{\Delta H}$ = média da pressão diferencial através do orifício, mmH₂O;

ΔH = pressão diferencial no orifício, mm H₂O;

$\Delta H@$ = pressão diferencial na placa de orifício, mmH₂O;

ΔH_i = pressão diferencial na placa de orifício no ponto i, mmH₂O;

$\overline{\Delta P}$ = média das cargas de velocidade do gás na chaminé, mmH₂O;

ΔP_i = cargas de velocidade no ponto da coleta i, mmH₂O;

ρ_w = densidade da água, 1 g/ml;

μm = microns.

RESUMO

Avaliou-se a emissão de material particulado (MP) emitido pela chaminé de uma indústria de compostos cerâmicos (colorífico) e compararam-se os valores medidos aos padrões de emissão em fontes fixas de poluição, conforme Resolução CONAMA nº 08/90. Efetuou-se a determinação da concentração de material particulado coletado na chaminé e da concentração de partículas totais em suspensão (PTS) coletadas no ar ambiente em três pontos: dois localizados próximo à fonte de emissão e um distante da referida fonte.

As medições foram realizadas pelo Laboratório Atmosférico do Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - IPAT/UNESC, no período de 1999 a 2000.

A determinação das concentrações de material particulado foi obtida por meio do Coletor Isocinético de Poluentes Atmosféricos (CIPA). Os métodos de referência utilizados foram os de 01 a 05 da United States Environmental Protection Agency (USEPA).

Para a determinação das concentrações de partículas totais em suspensão, utilizou-se como referência o método do Amostrador de Grande Volume (AGV), proposto pela ABNT, de conformidade com a norma NBR 9547.

A caracterização física envolveu somente a distribuição granulométrica do material particulado, enquanto que a caracterização química abrangeu o material particulado e as partículas totais em suspensão, coletadas no ar ambiente.

As técnicas analíticas utilizadas na caracterização química do material particulado e das partículas totais em suspensão foram a Espectrofotometria de Absorção Atômica por Chama (AAS) e, para a caracterização física, Difração a Laser (LD).

Com relação às concentrações de material particulado, os resultados indicaram um percentual de 44,75% acima dos padrões estabelecidos pelo CONAMA e a distribuição granulométrica apresentou valores de 100% das partículas abaixo de 100 µm.

Quanto às concentrações de partículas totais em suspensão no ar, os resultados indicaram que os valores obtidos estão abaixo do padrão primário diário de 240 µg/m³ estabelecido pela Legislação Nacional, conforme Resolução CONAMA nº3/90.

Quanto à composição química das partículas totais em suspensão, concluiu-se pela presença dos elementos químicos (sódio, potássio, zinco, cálcio, alumínio, magnésio, chumbo, ferro) encontrados também no material particulado emitido pela chaminé. A composição química foi comparada à de uma coleta feita em ponto neutro, distante da fonte de emissão.

ABSTRACT

In this work we have evaluated the particulate matter (PM) released by a ceramic composite industry (colorific) and compared the measured values to the emissions standards for pollution fixed sources, according to the Resolução CONAMA nº08/90. Also we have determined the particulate concentration collected in the smoke-stack and the total suspended particulate (TSP) concentration in the air in three points: two located near the emission source and one far way from those points.

The measurements have been taken by the Atmospheric Laboratory of the Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas – IPAT/UNESC (Technological and Environmental Research Institute), along 1999 and 2000.

The particulate matter (PM) concentrations have been determined by an Atmospheric Pollutant Isokinetic Collector. We have referred to the 01 to 05 methods of the United States Environmental Protection Agency (USEPA)

To determine the total suspended particulate (TSP) concentrations we referred to the High Volume Sampler (HVS) proposed by ABNT, according to NBR9547 rule.

The physical characterization has only involved the particle size distribution of particulate matter (PM) whereas the chemical characterization has involved particulate matter (PM) and total suspended particulate (TSP) collected in the ambience air.

The analytic techniques used for the chemical characterization of the particulate matter (PM) and for the total suspended particulate (TSP) have been the Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) and for the physical characterization we have used the Laser Diffraction (LD).

Regarding the particulate matter (PM) concentrations, the results pointed to 44,75% above the standards set by CONAMA and the average particle size distribution has shown values of 100% of particles below de 100 µm.

Referring the air total suspended particulate (TSP) concentrations, the results indicated that the values are bellow the daily primary standard of 240µg/m³ set by brazilian laws, according to Resolução CONAMA nº 3/90.

Regarding the chemical composition of the total suspended particulate (TSP), we have concluded that chemical elements such as sodium, potassium, zinc, calcium, aluminium, magnesium, lead and iron are present. These elements are also present in the particulate matter (PM) released by the smoke-stack. The chemical composition has been compared to a sampling taken in a neutral point, situated far away from the emission source.

1. INTRODUÇÃO

A região sul do Estado de Santa Catarina destaca-se no cenário econômico nacional não apenas por sua produção mineral, mas também pela importância do seu parque industrial cerâmico, considerado um dos mais expressivos do mundo. Nesta região, a cidade de maior destaque no setor é Criciúma, pois nela se encontram algumas das mais importantes empresas nacionais do ramo. Este tipo de indústria gera uma emissão de gases e materiais particulados que se dispersam nas proximidades da fonte. A composição físico-química deste material particulado depende do tipo do processo e das matérias-primas utilizadas na fabricação dos revestimentos e seus compostos.

A fonte de emissão em estudo localiza-se na Rodovia SC 443 – km 01, na divisa dos municípios de Criciúma e Içara. A emissão é proveniente de uma indústria de colorificio - fábrica de vidros (fritas) que é utilizado na formulação do esmalte, aplicado na superfície dos revestimentos cerâmicos. Utiliza-se o processo de fusão em fornos com produção contínua e resfriamento em água. Na queima do combustível e da fusão dos compostos minerais, ocorre a formação e o arraste de gases e partículas sólidas dos quais são então direcionados para um filtro de mangas e lançados na atmosfera pela chaminé.

1.1 Proposta de Trabalho

O principal objetivo deste trabalho é comparar a emissão de material particulado com os padrões regulamentados de emissão em fontes fixas de poluição.

Foram feitas as seguintes avaliações:

- determinação da concentração de material particulado (MP) emitido pela chaminé e a comparação com os limites legais estabelecidos pela Legislação Ambiental;
- caracterização físico-químicas do MP;

- determinação da concentração de partículas totais em suspensão (PTS) no ar ambiente, obtida em dois pontos, localizados próximos à fonte de emissão e a comparação com a qualificação do ar utilizado pela CETESB;
- caracterização química das PTS coletadas em três pontos no ar ambiente;
- comparação da composição química das PTS coletadas próximo à fonte de emissão e com as PTS coletadas distante da referida fonte.

1.2 Justificativa

O crescente desenvolvimento industrial na região e a crescente expansão demográfica têm acarretado um aumento considerável na emissão de gases e partículas sólidas.

A poluição atmosférica causada por processos industriais produz vários tipos de poluentes, dentre os quais o MP que se destaca por apresentar um grande potencial poluidor devido ao fato de estar associado a quase todas as atividades industriais da região. Estas atividades necessitam de um programa de monitoramento para que se conheçam as concentrações dos poluentes emitidos pela chaminé e posterior avaliação da qualidade do ar nas proximidades da fonte de emissão.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Conforme as regulamentações do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA e por meio da Resolução nº 8 de 1990, que estabelece limites máximos de poluentes do ar para processos de combustão externa.

Entende-se por processo de combustão externa em fontes fixas toda a queima de substâncias combustíveis realizada em fornos, fornalhas, estufas, secadores, centrais para geração de energia elétrica, incineradores e gaseificadores, (CONAMA, 1990).

As emissões por processo de combustão externa constituem o maior contingente de fontes fixas de poluentes atmosféricos, justificando o fato de terem sido tais processos a terem suas emissões regulamentadas em nível nacional.

A Resolução define os seguintes limites máximos de emissão para partículas totais e dióxido de enxofre, expressos em peso de poluentes por poder calorífico superior do combustível e densidade colorimétrica, conforme a classificação de usos definida pelo Programa Nacional de Controle da Qualidade do ar - PRONAR.

Ficam estabelecidos para novas fontes fixas com potência nominal total igual ou inferior a 70 MW, em áreas consideradas como Classe II e III, os seguintes parâmetros e seus limites máximos de emissão:

- a) Partículas Totais: 350 gramas por milhão de quilocalorias (para óleo combustível);
- b) Densidade Colorimétrica: máximo de 20%, equivalente à escala de Ringelmann nº 1, exceto na operação de limpeza e na partida do equipamento;
- c) Dióxido de Enxofre (SO₂): 5.000 gramas por milhão de quilocalorias (para óleo combustível).

A Resolução CONAMA nº 3 de 1990, estabelece padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Os padrões serão importantes para as estratégias de controle de emissão de poluentes atmosféricos.

Para as partículas totais em suspensão, os padrões primários da qualidade do ar são as concentrações de poluentes que, ultrapassados, poderão afetar a saúde da população.

A concentração média geométrica anual é de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e a concentração média de 24 h é de $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$, não devendo esta concentração ser excedida mais que uma vez ao ano.

Os padrões secundários da qualidade do ar são as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê um efeito adverso mínimo sobre o bem-estar da população, assim como um dano mínimo à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

A concentração média geométrica anual é de $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e a concentração média de 24 h é de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, não devendo ser excedida mais que uma vez ao ano.

Segundo Colbeck (1995) as partículas microscópicas no ar ambiente são produzidas por processos naturais e pelo homem. Poeiras e pólenes soprados pelos ventos, fumaças de incêndios em florestas e materiais vulcânicos são exemplos de partículas produzidas naturalmente. A emissão de gases e partículas em suspensão provenientes de fontes móveis e estacionárias são de origens antropogênicas. Muitas dessas partículas tem a habilidade de afetar não somente o clima, mas também nossa saúde e a qualidade de vida. Estas partículas podem ser manufaturadas ou produzidas naturalmente, sendo chamadas de aerossóis. O termo aerossol significa uma suspensão de partículas sólidas ou líquidas em um meio gasoso, segundo Schamauss (1920) apud Colbeck (1995).

Os tamanhos das partículas dos aerossóis variam entre grupos moleculares de $0,001 \mu\text{m}$ até gotas e partículas de poeira tão grande quanto $100 \mu\text{m}$. Existem vários tipos de aerossóis, que são classificados de acordo com a forma física e o meio de geração. Os termos comumente usados são:

Poeiras: são partículas sólidas formadas pela desintegração mecânica de substâncias inorgânicas e orgânicas, resultante de operações de britagem, moagem, peneiramento, demolição, detonação, etc. As poeiras de carvão, sílica, asbestos são alguns exemplos.

Fumos: são partículas sólidas produzidas por reações físico-químicas em processos de combustão, oxidação, sublimação e destilação.

Fumaça: são partículas constituídas por produtos resultantes da combustão incompleta de compostos orgânicos, tais como: carvão, óleos combustíveis, gasolina, lenha, papel, cigarro, etc.

Névoas: são constituídas por gotículas líquidas, resultantes da condensação de vapores e da dispersão mecânica de líquidos em consequência de operações de pulverização, nebulização, atomização, etc. Névoas de ácido sulfúrico, de ácido crômico, de tintas pulverizadas, são alguns exemplos. Uma vez na atmosfera, os aerossóis têm sua composição química, quantidades e tamanhos modificados por muitas reações, até serem removidos por processos naturais.

Segundo o autor as medidas de distribuição do tamanho de partículas normalmente apontam para 3 grupos, classificadas como:

Faixa de nucleação: partículas com diâmetro menor que $0,2 \mu\text{m}$. Nesta faixa as partículas são emitidas por processos que envolvem condensação de vapores quentes ou recentemente formados na atmosfera pelos gases, convertendo-se para partículas. Estas são responsáveis pela quantidade, mas devido ao seu pequeno tamanho, a massa é reduzida do total de partículas emitidas.

Faixa de acumulação: partículas com diâmetro entre $0,2 \mu\text{m}$ a $2,0 \mu\text{m}$. Estas são provenientes do aumento da faixa de nucleação através da coagulação ou condensação de vapores. Representa uma parte substancial da massa dos aerossóis e, geralmente são responsáveis pela redução da visibilidade.

Faixa grosseira: partículas com diâmetro maior de $2,0 \mu\text{m}$ são principalmente formadas por processos de atritos mecânicos. As poeiras de solo, *sprays* marinhos e outras poeiras industriais se enquadram dentro desta faixa.

Pandis e Pilinis (1995) define o aerossol atmosférico como uma entidade altamente complexa, representado por uma mistura de emissões primárias como a vaporização marítima, fuligem e espécies secundárias, formadas durante a fotooxidação de vários poluentes. Partículas primárias, uma vez emitidas, sofrem transformações químicas e físicas que resultam na alteração da composição e na distribuição de tamanhos de partículas. A importância relativa dos aerossóis primários e secundários depende da localização geográfica e da composição química dos gases emitidos na atmosfera. Os maiores constituintes dos aerossóis primários são elementos crustais, tais como: Si, Na, Al, Ca, Fe, K, Ti, Mn, Sr, etc. e uma série de compostos orgânicos.

Os aerossóis secundários são compostos inorgânicos, principalmente sulfatos, nitratos, cloretos, amônias, água, etc. Partículas de diâmetros menores de 2 μm são responsáveis pela redução da visibilidade, sendo observadas em áreas urbanas. Estas partículas também são respiráveis e podem conter compostos tóxicos ou mutagênicos. O controle destes aerossóis urbano, principalmente nas grandes metrópoles, são os maiores problemas enfrentado pelos órgãos de controle de poluição do ar.

As partículas totais em suspensão (PTS) ou material particulado em suspensão (MPS) são termos de uso popular e citados na literatura científica e, se enquadram na definição de aerossóis. No entanto, para este trabalho, o material particulado (MP) emitido pela fonte de emissão contém gases e partículas sólidas inorgânicas provenientes do processo de fusão dos minerais. Devido a alta temperatura nos fornos ($\sim 1500\text{ }^{\circ}\text{C}$) não ocorre formação e emissão de microorganismos, sendo esta a principal diferença na definição de PTS e do MP para este estudo.

Back (1999) fez um levantamento de dados sobre a velocidade e direção dos ventos registrados na estação meteorológica de Urussanga-SC, no período de 1977 a 1997. A estação meteorológica está situada a sudoeste, a uma distância de 30 km da área objeto de estudo (fonte de emissão). A direção do vento é expressa em ângulo ou pela posição em relação aos pontos cardeais segundo a rosa-dos-ventos. Back afirma que nas localidades litorâneas ocorre predominância de direções em

decorrência das brisas marítimas, sendo que também o relevo tem efeito direcionador podendo definir a direção do vento.

Outra forma de apresentar a direção predominante dos ventos é por meio da sua frequência relativa. No período analisado os sentidos dos ventos apresentaram uma distribuição semelhante em todos os trimestres do ano, ocorrendo o predomínio dos ventos sudeste (SE) com 28 %, seguido do nordeste (NE) com 20 %. A menor frequência observada são de ventos na direção oeste (W) com 15 %, seguido por ventos noroeste (NW) com aproximadamente 7 %. O estudo de velocidade e direção predominante dos ventos são importantes na dispersão dos poluentes na atmosfera.

Sánchez, L. E. (1995) comenta que as atividades industriais de extração de minérios e seu transporte podem emitir contaminantes atmosféricos. Dependendo do tipo de contaminante e dos mecanismos de dispersão na atmosfera, podem ser transportados para longe do ponto de lançamento. O autor cita o distrito mineiro de Sudbury, Canadá, onde mais de 60% dos elementos emitidos são transportados para além de 60 km.

No caso dos minerais sulfetados, o enxofre contribui para a formação de chuvas ácidas, fenômeno que também ocorre na utilização de carvão mineral e derivados de petróleo, usados como combustível em usinas termoeletricas.

As partículas menores ($\sim 0,0005 \mu\text{m}$ para CO_2 e SO_2 ou até $500 \mu\text{m}$) podem, na prática, não se sedimentar em uma atmosfera seca, mas numa úmida podem atuar como núcleos, condensando-se e precipitando com a chuva. Dependendo da composição química e do tamanho, estas podem contaminar o solo e a água, sendo absorvidas pelos seres vivos por meio da digestão e inalação das partículas menores que $10 \mu\text{m}$, denominadas fração inalável.

No artigo acima referido, são apresentadas as regulamentações brasileiras (CONAMA) que estabelecem os padrões de emissão e da qualidade do ar. As primeiras referências das regulamentações são: a quantidade e a concentração máxima de contaminantes que podem ser emitidas por uma determinada fonte. Os padrões da qualidade do ar são as concentrações máximas permitidas para determinados contaminantes no ar ambiente para a proteção da saúde humana, a fauna, a flora e os bens materiais.

O autor afirma que o conhecimento das condições meteorológicas e das quantidades de contaminantes emitidas por uma determinada fonte, são suficientes para prever a qualidade do ar devido a instalação e funcionamento de uma atividade industrial. É importante conhecer as concentrações de contaminantes nos pontos de interesse como, por exemplo, em áreas habitadas.

As atividades industriais necessitam de programas de monitoramento para conhecermos os efeitos de seus poluentes sobre a qualidade do ar. Geralmente o contaminante que causa maior preocupação na extração de minerais é o material particulado em suspensão, cujo equipamento de medição empregado para captação da amostra é o Amostrador de Grande Volume (AGV), conhecido também como Hi-Vol. Trata-se de um equipamento que tem como substrato de coleta um filtro de fibra de vidro colocado sobre uma bomba de sucção que aspira uma determinada quantidade de ar por unidade de tempo. As concentrações de PTS podem ser medidas em pontos de interesse para avaliar a qualidade do ar ambiente. As análises físico-químicas dos sólidos retidos no filtro poderão fornecer informações relevantes sobre a origem dos contaminantes.

O autor também comenta que é possível efetuar medições das emissões em chaminés por meio de coletores de gases e de material particulado. Em caso de fontes sujeitas a padrões de emissão, este procedimento é fundamental para que se proceda a uma avaliação da fonte de emissão. Os principais métodos de controle de emissões para redução de poluentes atmosféricos na mineração são apresentados na referida publicação.

Segundo Macintyre (1990), os aerossóis podem ser definidos como um sistema constituído por meios de dispersão gasosa onde se encontram partículas sólidas, líquidas e microorganismos. Estes podem ser formados por dispersão, como resultado de pulverização, atomização de sólidos ou líquidos, ou pela transferência de pólenes e bactérias em virtude da ação das correntes de ar.

O comportamento destas partículas no ar e sua velocidade de sedimentação dependem do tamanho, densidade, concentração e de seu movimento. Estas propriedades são levadas em consideração na escolha e no dimensionamento

dos captadores e dos eliminadores de partículas provenientes das diversas fontes de emissões.

O autor apresenta as características dos principais equipamentos utilizados para depuração do ar nos processos industriais.

Os filtros de mangas são equipamentos de elevada eficiência para partículas acima de $0,1 \mu\text{m}$ e são usados na captação de poeira proveniente de moagem, mistura, peneiramento de minerais, pesagem de produtos químicos, entre outros.

A escolha do tecido para as mangas vai depender da composição e da temperatura do gás, do tipo e do diâmetro das partículas. Em geral os tecidos são de meios porosos, capazes de reter e coletar a poeira e névoas contidas no ar que os atravessa. As mangas têm a forma de saco alongado e tubular e, quando se emprega uma armação interna de vergalhões para mantê-las com a forma cilíndrica, o ar penetra de fora para dentro e sai pela parte central superior.

Os *baghouses* são os compartimentos onde são instalados os filtros de manga. Em geral são dispostos em baterias ou conjuntos de modo a se conseguir a área de filtração necessária.

Para a limpeza das mangas é usado o sistema de fluxo reverso, pela introdução de ar comprimido em sentido contrário.

A eficiência dos filtros de mangas, em geral, supera 93%, chegando em alguns casos a 99%.

O equipamento usado pela empresa Colorminas para o sistema de depuração do ar na tiragem dos gases e partículas sólidas provenientes dos fornos de fusão, se enquadra na descrição citada por Macintyre (1990).

Os ciclones são equipamentos de controle de poluição, também conhecidos como coletores centrífugos, cujo mecanismo de funcionamento se baseia na atuação da força centrífuga, sobre as partículas sólidas (Clezar, 1999).

Os parâmetros determinantes na seleção de um ciclone são a eficiência e a perda de carga. A eficiência está diretamente relacionada com a força centrífuga

induzida na partícula do contaminante. No dimensionamento de ciclones, é comum fixar a perda de carga admissível e obter a eficiência como consequência.

Os ciclones são usados para coleta de material particulado ou fibroso. Em geral, são de baixo custo, simples de projetar, de fácil construção e manutenção e também podem ser usados para gases em temperaturas elevadas. Em contrapartida apresentam baixo rendimento para partículas inferiores a 5 μm , desgastam-se rapidamente quando as partículas são de alta dureza e elevada velocidade. Podem ocorrer entupimentos quando as poeiras forem pegajosas, higroscópicas e em altas concentrações.

São usados principalmente para reter partículas acima de 100 μm e são utilizados em paralelo com outros tipos de depuradores com maior eficiência.

Os coletores úmidos, conhecidos como lavadores de gases ou torres lavadoras *wet scrubbers*, são utilizados em processos industriais para a captação de partículas sólidas ou de gases poluentes mesmo em temperaturas elevadas (Hesketh, 1992).

Quando destina-se para a captação de pó, a lama ou lodo que se formam são removidos com facilidade, podendo em certos casos ser reaproveitado o pó, após secagem ou filtração do mesmo em filtro-prensa.

Tratando-se de gases solúveis, após a dissolução na água, submete-se cada gás a um tratamento químico próprio, a fim de ser obtido um sal ou composto insolúvel, o qual é filtrado para remoção e destinação final do lodo formado.

As torres lavadoras são usadas para a remoção de grande variedade de contaminantes, principalmente em processos que ocorrem reações para produção de produtos químicos, tais como: fabricação de ácido sulfúrico, ácido clorídrico, sulfato de amônia, uréia, soluções de galvanoplastia, acetona, cianetos, entre outros (Macintyre, 1990).

Existe uma grande variedade de coletores úmidos, alguns apresentam uma eficiência acima de 90%. A eficiência destes depende do tipo de processo, da composição química e física das partículas e dos gases a serem reduzidos.

Segundo Turner (1992), a precipitação eletrostática é um processo físico onde uma partícula contida num fluxo gasoso é carregada eletricamente sob a influência de uma carga elétrica, sendo assim, separada da corrente gasosa.

O sistema que realiza esta ação consiste em uma superfície coletora carregada positivamente próxima de um eletrodo emissor, com carga negativa.

É interessante observar que no precipitador eletrostático as forças elétricas são aplicadas somente às partículas em suspensão. Nos métodos mecânicos, a corrente gasoso é submetida às forças aplicadas, resultando num maior consumo de energia que nos eletrostáticos.

Os precipitadores têm sido usados em fábricas de ácido sulfúrico, termoelétricas, fábricas de papel e celulose, fundição de metais não-ferrosos, fábricas de vidros (fritas), refinarias e incineradores.

Estes equipamentos se dividem em: de alta tensão (40 kV a 100 kV) e de baixa tensão (10 kV a 25 kV) podendo ser secos ou úmidos. São apropriados para a retenção de partículas com diâmetro de 0,1 μm a 100 μm , apresentando eficiência de 95 % a 99 %, que revela a eficácia desse tipo de filtro.

Os precipitadores eletrostáticos tem as vantagens de ter alta eficiência na coleta de partículas abaixo de 100 μm , baixos custos de operação e de manutenção, tratamento de altas vazões de gás em temperaturas elevadas, baixa perda de pressão no escoamento e possibilidade de adaptação de células adicionais. Com relação as desvantagens, possui alto custo inicial, ocupa um grande espaço físico e retém somente o material particulado.

Estudos realizados por Sánchez, J. C. D. et al. (1995) com o objetivo de avaliar a qualidade do ar das cidades de Charqueadas e São Jerônimo, no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, em função da região possuir usinas termoelétricas e indústria metalúrgica de produção de aço. Em virtude de serem estas as principais responsáveis pela poluição atmosférica na região do Baixo Jacuí. Porém, há outras fontes que contribuem para a contaminação por PTS, como em áreas inadequadas à disposição de rejeitos derivados do processamento do carvão. A degradação da qualidade do ar em algumas localidades é confirmada pela ocorrência de doenças

respiratórias na cidade de Charqueadas, e por estar os níveis de concentração de PTS acima dos padrões aceitáveis.

AGVs equipados com filtros de fibra de vidro foram usados para coletar as PTS. Os amostradores foram instalados em três áreas: duas na cidade de Charqueadas e uma na cidade de São Jerônimo. Estas áreas foram selecionadas levando-se em conta alguns critérios, tais como: distância das fontes poluidoras, proximidades das áreas urbanas e direção dos ventos predominantes. As amostras de PTS foram coletadas conforme o método da USEPA (1983) e ABNT (1986).

As análises dos metais foram realizadas com as amostras de PTS coletadas em julho de 1994 e a extração dos metais, efetuada de acordo com o método modificado por Fiedler e Solari (1991) apud Sánchez, J. C. D. et al. (1995). Este método consiste na extração de metais com 20 ml de ácido nítrico concentrado e 20 ml de peróxido de hidrogênio (30%) num frasco de vidro, acoplado a um condensador de refluxo, aquecido com uma manta térmica, adicionando-se 30 ml de ácido clorídrico e 10 ml de ácido nítrico para completar a digestão e repetindo de 3 a 4 vezes a adição dos reagentes concentrados.

As amostras dos metais foram analisadas por espectrofotometria de absorção atômica. A elevada concentração de ferro e a presença de manganês, cobre, cromo, níquel, chumbo nas PTS dos pontos localizados da cidade de Charqueadas apontaram uma provável influência da usina metalúrgica local e da usina térmica a carvão mineral, respectivamente. Uma significativa correlação entre os metais estudados confirma a influência nas atividades biológicas dos seres vivos.

Trindade et al. (1991) determinaram as concentrações de PTS no ar ambiente e 11 metais (Pb, Cu, Cd, Cr, Mn, Ni, Fe, K, V, Zn e Na) retidos no filtro. As coletas foram realizadas pela FEEMA, na cidade do Rio de Janeiro, mais precisamente em Copacabana e São Cristóvão, no período de agosto de 1975 a abril de 1978.

Constatarem elevados níveis de poluição atmosférica, originada de diferentes fontes, tais como: tráfego de veículos automotores à gasolina e a diesel, construção de estradas e edifícios, pedreiras, incineração de lixo e a salinidade marítima no ar. Apesar do seu efeito sobre a visibilidade, a saúde humana e a

degradação dos bens materiais, muito pouco tem sido feito para se determinar a composição química dessas PTS.

Os resultados mostram que a média geométrica anual das PTS na cidade do Rio de Janeiro é $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, acima do padrão brasileiro que é de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Em São Cristóvão encontrou-se concentrações de vanádio, níquel, ferro, manganês, cromo e zinco devidos à influência de sua poluição industrial, enquanto que em Copacabana há alta concentração de sais devido à vaporização da água do mar e incineração de lixo. Ambos os bairros também são afetados por intenso tráfego de veículos automotores.

Os níveis de poluição atmosférica são comparados nas duas regiões do Rio de Janeiro bem como em outras cidades com características semelhantes. Foram observadas variações sazonais nas concentrações de PTS e dos metais, especialmente em São Cristóvão, com picos de maio a agosto. Constatou-se que são significativas as correlações entre as concentrações de PTS e metais, indicando que esta sazonalidade foi causada por condições meteorológicas.

As relativas contribuições de diferentes fontes de emissão de particulados foram discutidas tendo como base as concentrações de alguns elementos escolhidos como indicativos: o sódio para a vaporização oceânica, vanádio para as atividades industriais, chumbo para emissão dos veículos automotores e cádmio para os incineradores de lixo dos prédios de apartamentos, neste caso com base em uma análise de amostras coletadas nas chaminés dos incineradores.

Em 1977, a incineração do lixo dos prédios de apartamentos foi proibida por lei na cidade do Rio de Janeiro. O efeito desta política de melhoramento da qualidade do ar é avaliado com base na concentração anual média de PTS e nos vestígios de metais detectados antes e após este fato.

As amostras foram coletadas por meio de AGVs, tendo sido usados, na maioria das coletas, filtros de fibra de vidro de marca Gelman. Algumas amostras foram coletadas em filtros Delbag, do tipo micro-absorvente, para permitir a determinação do sódio nas PTS.

As amostras foram digeridas numa mistura de HNO_3 – HClO_4 e analisadas por espectrofotometria de absorção atômica quanto aos onze elementos de interesse. Para alguns metais, tais como K, V, Cr e Ni, os resultados apresentaram uma precária reprodutibilidade. Os pares de resultados mais próximos um do outro foram tomados para calcular a média.

Os autores comentam que devido aos problemas socioeconômicos de um país em desenvolvimento, o controle da poluição de ar no Brasil é uma tarefa muito difícil. Porém, alguns grupos têm trabalhado para melhorar o atual nível de poluição do ar nas principais cidades do País.

Almeida (1999) avaliou a poluição atmosférica por material particulado em suspensão (MPS) em dois ambientes na cidade de São Paulo, um ambiente de mineração e outro urbano. As coletas foram realizadas em 03 áreas: em uma mineração de grande porte (mina), em uma mineração de pequeno porte (pedreira) e no *campus* da USP/SP.

Neste trabalho foram determinadas as concentrações de PTS e sua compatibilização com a legislação ambiental, a caracterização da composição química e a distribuição granulométrica.

Nas amostras coletadas na mineração de grande porte, observou-se que as concentrações de PTS, quando confrontadas com a legislação ambiental, são excedidas, em média, de 51,1 % das amostras que não atendem ao padrão primário diário ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e de 61,7 % das amostras não atendem ao padrão secundário diário ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Na mineração de pequeno porte observou-se que as concentrações de PTS ultrapassaram em 16,7 % das amostras do padrão primário diário e 41,7 % das amostras do padrão secundário diário. Na área urbana (*campus* da USP/SP), constatou-se que nenhum dos pontos amostrados apresentou concentrações superiores aos padrões estabelecidos pela legislação.

O autor exhibe uma comparação feita entre os valores médios dos elementos químicos encontrados nas PTS contidas nas amostras coletadas no ar ambiente e os valores encontrados para uma amostra do minério obtida com o uso de uma perfuratriz. Observou-se que a composição química do calcário (mina) e do

granito (pedreira) apresentaram semelhanças quanto à composição química da média das amostras de PTS coletadas no ar ambiente de cada área.

Com relação à distribuição granulométrica das PTS, Almeida (1999) concluiu que as frações mais finas apresentaram percentuais maiores para as áreas de mineração que para a área urbana. As frações mais grosseiras das PTS apresentaram maior quantidade na área urbana.

O autor cita que as principais fontes de emissão numa pedreira estão nas frentes de lavra (desmonte por explosivos e carregamento de minério), unidades de processamento (britagem e classificação), vias de acesso, estocagem e transferência do minério (pilhas e silos).

No estudo acima referido, são apresentados os procedimentos de amostragem (NBR 9547), planilhas e fórmulas para os cálculos das concentrações de PTS.

No Programa de Informações Básicas para a Gestão Territorial de Santa Catarina (PROGESC), Alexandre et al. (1995) cadastrou as principais fontes de poluição no município de Criciúma e implantou um programa para auxiliar e classificar o índice de qualidade do ar quanto aos parâmetros de PTS e dióxido de enxofre (SO₂), conforme os padrões estabelecidos pelo CONAMA nº 03/90. A escolha dos parâmetros justifica-se principalmente pela emissão originada no processo de extração, beneficiamento e transporte do carvão mineral e em sua própria utilização como fonte energética.

Na produção de revestimentos cerâmicos são utilizados combustíveis derivados do petróleo, também considerados potencialmente causadores da poluição do ar.

As coletas são realizadas pelo Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas -IPAT/UNESC, em convênio com a FATMA e IBAMA. As estações localizam-se nos municípios de Criciúma e Morro da Fumaça, situados no extremo-sul de Santa Catarina. O programa, iniciado em agosto de 1993, encontra-se ainda em andamento.

AGVs estão sendo usados para coletar as PTS e Amostradores de Pequeno Volume (APV), para coletar o SO₂. Os amostradores foram instalados em

três áreas: duas na cidade de Criciúma e uma na cidade de Morro da Fumaça. Os pontos de coleta foram selecionados considerando alguns critérios, tais como: a proximidade das fontes poluidoras e áreas urbanas com intenso tráfego de veículos automotores.

Condições meteorológicas, aliadas à topografia e às características das fontes, têm importância na dispersão dos poluentes na atmosfera, tanto que os levantamentos desses dados completam a análise dos resultados obtidos no monitoramento. Tais resultados mostram que a média geométrica anual das PTS e SO₂ no município de Criciúma está abaixo da faixa dos padrões estabelecidos pela legislação estadual – FATMA e nacional - CONAMA. Os dados levantados até o presente momento são muito favoráveis no que se refere à qualidade do ar, principalmente quando comparados aos dados do projeto ECP, Yuan (1982). Estas melhorias foram causadas pelas implantações de algumas medidas, tais como: planos de licenciamento e controle ambiental; instalações de equipamentos anti-poluentes; pavimentação das ruas, que na maioria das vezes eram revestidas com rejeitos de carvão; desativação de coquearias nas áreas urbanas; e cobertura de depósitos de rejeito piritoso.

Algumas destas medidas foram exigidas pelos órgãos de controle e fiscalização ambiental junto às empresas e outras provêm do próprio desenvolvimento e planejamento do município.

Schmitz (1999) obteve dados da qualidade do ar da cidade de Criciúma em duas estações de amostragem. As estações escolhidas foram: uma no centro da cidade, Praça Domingos Sônego, e outra no bairro Boa Vista, no Centro Educacional Integral da Criança. Estas estações fazem parte do programa de monitoramento que avalia a qualidade do ar quanto aos parâmetros de PTS e SO₂, realizadas pelo IPAT/UNESC.

As amostras de material particulado em suspensão foram coletadas no período de janeiro a dezembro de 1995, conforme procedimento ABNT (NBR 9547 de 1997).

As extrações dos elementos metálicos chumbo, cobre, cromo, ferro e manganês foram feitas por digestão com HNO₃/HCl/H₂O₂ e analisadas por espectrofotometria de absorção atômica por chama. Os resultados mostraram que nas

duas estações são atendidos os padrões de qualidade do ar quanto ao material particulado em suspensão, estabelecidos pela legislação ambiental brasileira. Quanto à caracterização química, foram registrados valores altos para os elementos ferro e chumbo, evidenciando a influência da mineração de carvão mineral, pois a região é considerada um importante pólo industrial e mineral do Estado de Santa Catarina.

3. LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

3.1 Histórico da legislação brasileira

A Legislação brasileira de qualidade do ar tem como referência as leis americanas. Nos Estados Unidos o órgão responsável pela fixação de índices é a Environmental Protection Agency (EPA), que estabelece o National Ambient Air Quality Standards (NAAQS). Essa lei especifica o nível máximo permitido para diversos poluentes atmosféricos, sendo que a máxima concentração de um poluente é especificada em função de um período médio de tempo, Braga (2002).

Almeida (1999) cita que a partir de agosto de 1981 a questão ambiental no Brasil passou a ser regida pela Lei nº 6.938/81, de 31/08/81. O principal objetivo desta decisão foi tornar o desenvolvimento econômico e social do país compatível com a preservação do meio ambiente e do equilíbrio ecológico. Nessa lei, estabeleceu-se a estrutura e as regras gerais da política ambiental brasileira bem como a criação do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA).

Um importante membro do SISNAMA é o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), órgão normativo e deliberativo cuja atribuição é a fixação de diretrizes, padrões e métodos, regras e regulamentações relativos ao meio ambiente. O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA) é o órgão federal responsável pela fiscalização do cumprimento da legislação, além de exercer outras atividades operacionais.

A prevenção e o controle da poluição atmosférica no Brasil são regidos pela Resolução CONAMA nº 05/89, de 15/06/89, a qual instituiu o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR).

O PRONAR tem como estratégia básica limitar, em escala nacional, os níveis de emissão segundo a tipologia de fonte de poluentes prioritários, reservando o uso de padrões de qualidade do ar como ação complementar de controle. Esses limites são estabelecidos por resoluções do CONAMA. Entre estas, a mais importante para este estudo é a Resolução CONAMA nº 08/90, de 06/12/90, que

estabelece os limites máximos de emissão de poluentes no ar (Padrões de Emissão) para processos de combustão externa em novas fontes fixas.

A Resolução CONAMA nº 03/90, de 28/06/90, estabelece os padrões primários e secundários de qualidade do ar e os métodos de referência para serem avaliados. Os padrões nacionais e os critérios para episódios agudos de poluição do ar são apresentados nas tabelas 3.1 e 3.2. As regulamentações foram estabelecidas ao longo do tempo e contribuíram para a formação da legislação ambiental brasileira referente à qualidade do ar.

3.2 Padrões de emissão de poluentes em fontes fixas

Apresenta-se a seguir, face a sua importância para este trabalho, partes da Resolução CONAMA, nº 08/90, conforme sua publicação:

A Resolução CONAMA nº 08/90, de 06/12/90, tendo em vista o disposto em seu regimento interno e considerando o previsto na Resolução CONAMA nº 5, de 15 de Julho de 1989, institui o Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar - PRONAR;

Considerando a necessidade do estabelecimento de limites máximos de emissão de poluentes do ar (padrões de emissão) em fontes fixas de poluição;

Considerando que o estabelecimento deste mecanismo no controle da poluição atmosférica, em conjunto com os limites máximos de emissão veiculares já fixados pelo PROCONVE; e,

Considerando que entre toda a tipologia industrial os processos de combustão externa constituem-se no maior contingente de fontes fixas de poluentes atmosféricos, o que justifica ser a primeira atividade a ter emissões regulamentadas em nível nacional, resolve:

Art 1º - Estabelecer, em nível nacional, limites máximos de emissão de poluentes do ar (padrões de emissão) para processos de combustão externa em novas

fontes fixas de poluição com potências nominais de até 70 MW (setenta megawatts) e superiores.

A definição de limites máximos de emissão é aquela dada pela Resolução CONAMA nº 5, de 15 de junho de 1989, que institui o PRONAR.

Para os efeitos desta Resolução, fontes novas de poluição são aquelas pertencentes a empreendimentos cuja LP – Licença Prévia venha a ser solicitada aos órgãos licenciadores competentes após a publicação desta resolução.

Entende-se por processo de combustão externa em fontes fixas toda a queima de substâncias combustíveis realizada nos seguintes equipamentos: caldeiras; geradores de vapor; centrais para a geração de energia elétrica; fornos, fornalhas, estufas e secadores para a geração e uso de energia térmica; incineradores e gaseificadores.

Art 2º - Para efeitos desta Resolução, ficam definidos os seguintes limites máximos de emissão para partículas totais e dióxido de enxofre (SO₂), expressos em peso de poluentes por poder calorífico superior do combustível e densidade colorimétrica, consoante a classificação de usos pretendidos, definida pelo PRONAR.

2.1 - Para novas fontes fixas com potência nominal total igual ou inferior a 70 MW (setenta megawatts).

2.1.1 - Áreas classe I:

2.1.1.1 - Áreas a serem atmosféricamente preservadas (Unidades de Conservação com exceção das APAs).

Nestas áreas fica proibida qualquer atividade econômica que gere poluição do ar.

2.1.1.2 - Áreas a serem atmosféricamente conservadas (lazer, turismo, estâncias climáticas, hidrominerais e hidrotermais):

- a) Partículas Totais: 120 (cento e vinte) gramas por milhão de quilocalorias;
- b) Densidade Colorimétrica: Máximo de 20% (vinte por cento), equivalente à Escala de Ringelmann n.1, exceto na operação de manutenção e na partida do equipamento;

- c) Dióxido de Enxofre (SO₂): 2.000 (dois mil) gramas por milhão de quilocalorias;
- d) O limite do consumo de óleo combustível por fonte fixas correspondente à capacidade nominal total do(s) equipamento (s) será de 3.000 ton/ano. Consumos de óleo superior ao ora estabelecido ou o uso de outros combustíveis estarão sujeitos à aprovação do Órgão Estadual do Meio Ambiente por ocasião do licenciamento ambiental.

2.1.2 - Áreas Classes II e III:

- a) Partículas Totais: 350 (trezentos e cinquenta) gramas por milhão de quilocalorias (para óleo combustível);
- b) Densidade Colorimétrica: Máximo de 20% (vinte por cento), equivalente à Escala de Ringelmann n.1, exceto na operação de manutenção e na partida do equipamento;
- c) Dióxido de Enxofre (SO₂): 5.000 (cinco mil) gramas por milhão de quilocalorias (para óleo combustível e carvão mineral).

2.2 - Para novas fontes fixas com potência nominal total superior a 70 MW (setenta megawatts).

2.2.1 - Áreas Classes II e III:

- a) Partículas Totais: 120 (cento e vinte) gramas por milhão de quilocalorias (para óleo combustível); 800 (oitocentos) gramas por milhão de quilocalorias (para carvão mineral);
- b) Densidade Colorimétrica: Máximo de 20% (vinte por cento), equivalente à Escala de Ringelmann n.1, exceto na operação de manutenção ou na partida do equipamento;
- c) Dióxido de Enxofre (SO₂): 2.000 (dois mil) gramas por milhão de quilocalorias (para óleo combustível e carvão mineral).

Art. 3º - Para outros combustíveis, exceto óleo combustível e carvão mineral, caberá aos Órgãos Estaduais de Meio Ambiente a fixação de limites máximos de emissão para partículas totais, dióxido de enxofre e, se for o caso, outros poluentes, quando do licenciamento ambiental do empreendimento.

Art. 4º - Cabe aos Órgãos Estaduais de Meio Ambiente propor aos governos de seus respectivos estados o enquadramento de suas áreas Classes I e III, conforme já previsto na Resolução CONAMA nº 5/89 e Resolução CONAMA nº 3/90.

Art. 5º - O atendimento aos limites máximos de emissão aqui estabelecidos não exime o empreendedor do atendimento de eventuais medidas complementares de controle, conforme a legislação vigente.

Art. 6º - A verificação do atendimento aos limites máximos de emissão fixados através desta Resolução quando do fornecimento da LO - Licença de Operação poderá ser realizada pelo órgão ambiental licenciador ou pela empresa em licenciamento, desde que com acompanhamento do referido órgão ambiental licenciador.

Art. 7º - Os limites máximos de emissão aqui fixados são passíveis de uma primeira revisão dentro de 02 (dois) anos e, em seguida, a cada 05 (cinco) anos, quando também poderão ser, eventualmente, acrescentados outros poluentes gerados nos processos de combustão externa em fontes fixas.

3.3 Padrões de qualidade do ar

Os padrões de qualidade do ar definem legalmente o limite máximo para a concentração de um poluente na atmosfera, que garanta a proteção da saúde e o bem estar das pessoas (CETESB, 2001).

“Os principais objetivos do monitoramento da qualidade do ar são:

- fornecer dados para ativar ações de emergência durante períodos de estagnação atmosférica (falta de vento e chuva), quando os níveis de poluentes podem representar risco à saúde pública;
- avaliar a qualidade do ar à luz de limites estabelecidos para proteger a saúde e o bem estar das pessoas;

- acompanhar as tendências e mudanças na qualidade do ar devidas as alterações nas emissões dos poluentes”.

Para estes objetivos serem atingidos, é necessário que se fixem padrões legais para o monitoramento da qualidade do ar.

“No Brasil, o monitoramento da poluição atmosférica e o controle da qualidade do ar são previstos por legislação que fixa padrões nacionais de qualidade do ar. A abrangência desses padrões está voltada para os principais poluentes atmosféricos, adotados universalmente como indicadores da qualidade do ar (dióxido de enxofre, partículas em suspensão, monóxido de carbono, oxidantes fotoquímicos expressos como ozônio, hidrocarbonetos e dióxido de nitrogênio).

A legislação federal, através da Portaria Normativa IBAMA nº 348/90, de 14/03/90, estabeleceu os padrões nacionais de qualidade do ar, ampliando o número de parâmetros anteriormente regulamentados através da Portaria GM nº 231 de 27/04/76. Os padrões fixados por esta portaria foram submetidos ao CONAMA em 28/06/90 e transformados na Resolução CONAMA nº 03/90” (Almeida, 1999).

Na Resolução CONAMA nº 03/90, são estabelecidos dois tipos de padrões de qualidade do ar: os primários e os secundários.

- São padrões primários de qualidade do ar as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população. Podem ser entendidos como níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos, constituindo-se em metas de curto e médio prazo.
- São padrões secundários de qualidade do ar concentrações de poluentes atmosféricos abaixo das quais se prevê o efeito adverso mínimo sobre o bem-estar da população, assim como um dano mínimo 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 metas de longo prazo.

Almeida (1999) também descreve os padrões secundários quando afirma:

“O objetivo do estabelecimento de padrões secundários é criar uma base para uma política de prevenção da degradação da qualidade do ar. Devem ser

aplicados a áreas de preservação (parques nacionais, áreas de proteção ambiental, estâncias turísticas, etc.). Não se aplicam, pelo menos a curto prazo, a áreas de desenvolvimento, nas quais devem ser aplicados os padrões primários. Como prevê a própria Resolução CONAMA nº 03/90, a aplicação diferenciada de padrões primários e secundários requer que o território nacional seja dividido em classes I, II, e III, conforme o uso pretendido. A mesma resolução prevê ainda que enquanto não for estabelecida a classificação das áreas os padrões aplicáveis serão os primários.

Os parâmetros que foram regulamentados são os seguintes: partículas totais em suspensão, fumaça, partículas inaláveis, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio e dióxido de nitrogênio. Os padrões nacionais de qualidade do ar fixados na Resolução CONAMA nº 03/90 estão representados na Tabela 3.1.”

Tabela 3.1 - Padrões nacionais de qualidade do ar e métodos de referência.

| Poluente | Tempo de amostragem | Padrão primário $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Padrão secundário $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Método de medição de referência |
|--------------------------------|-------------------------|---|---|---------------------------------|
| Partículas Totais em Suspensão | 24 horas ⁽¹⁾ | 240 | 150 | Amostrador de grandes volumes |
| | MGA ⁽²⁾ | 80 | 60 | |
| Dióxido de Enxofre | 24 horas | 365 | 100 | Pararosanilina |
| | MAA ⁽³⁾ | 80 | 40 | |
| Monóxido de Carbono | 1 hora ⁽¹⁾ | 40.000 | 40.000 | Infravermelho não dispersivo |
| | 8 horas | 35 ppm | 35 ppm | |
| | | 10.000 (9 ppm) | 10.000 (9 ppm) | |
| Ozônio | 1 hora ⁽¹⁾ | 160 | 160 | Quimiluminescência |
| Fumaça | 24 horas ⁽¹⁾ | 150 | 100 | Refletância |
| | MAA ⁽³⁾ | 60 | 40 | |
| Partículas Inaláveis | 24 horas ⁽¹⁾ | 150 | 150 | Separação Inercial/Filtração |
| | MAA ⁽³⁾ | 50 | 50 | |
| Dióxido de Nitrogênio | 1 hora ⁽¹⁾ | 320 | 190 | Quimiluminescência |
| | MAA ⁽³⁾ | 100 | 100 | |

(1) Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano.

(2) Média geométrica anual.

(3) Média aritmética anual.

(Fonte: Resolução CONAMA nº 03/90)

A mesma resolução fixa ainda os critérios para episódios agudos de poluição do ar, representados na Tabela 3.2

Tabela 3.2 - Critérios para episódios agudos de poluição do ar.

| Parâmetros | Níveis | | |
|--|---------|---------|------------|
| | Atenção | Alerta | Emergência |
| Dióxido de Enxofre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h | 800 | 1.600 | 2.100 |
| Partículas Totais em Suspensão (PTS) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h | 375 | 625 | 875 |
| SO ₂ X PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h | 65.000 | 261.000 | 393.000 |
| Monóxido de Carbono (ppm) - 8h | 15 | 30 | 40 |
| Ozônio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 1h | 400 | 800 | 1.000 |
| Partículas Inaláveis ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h | 250 | 420 | 500 |
| Fumaça ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h | 250 | 420 | 500 |
| Dióxido de Nitrogênio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 1h | 1.130 | 2.260 | 3.000 |

(Fonte: Resolução CONAMA nº 03/90)

3.3.1 Padrões nacionais de qualidade do ar para MPS

CETESB (2001), define o poluente material particulado como uma mistura de compostos no estado sólido ou líquido, ou seja, não é um composto químico definido. Assim, as partículas totais em suspensão (PTS) são definidas como sendo partículas com diâmetro aerodinâmico equivalente inferior a 50 μm e as partículas inaláveis (PI) com diâmetro aerodinâmico equivalente menor que 10 μm .

A Resolução CONAMA nº 3, de 28/06/90, estabelece padrões nacionais de qualidade do ar para as partículas totais em suspensão, tanto para períodos curtos de exposição - médias de 24h - como para períodos longos - médias anuais.

A tabela 3.3 apresenta os valores desses padrões para as duas classes de partículas, juntamente com os respectivos critérios para episódios agudos de poluição do ar.

Tabela 3.3 - Padrões nacionais de qualidade do ar para material particulado.

| Poluente | Tempo de amostragem | Padrão primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Padrão secundário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Critérios para episódios agudos ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | |
|--------------------------------|---------------------|--|--|--|--------|------------|
| | | | | Atenção | Alerta | Emergência |
| Partículas Totais em Suspensão | 24h ⁽¹⁾ | 240 | 150 | 375 | 625 | 875 |
| | MGA ⁽²⁾ | 80 | 60 | | | |
| Partículas Inaláveis | 24h ⁽¹⁾ | 150 | 150 | 250 | 420 | 500 |
| | MAA ⁽³⁾ | 50 | 50 | | | |

(1) Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano.

(2) Média geométrica anual.

(3) Média aritmética anual.

(Fonte: Resolução CONAMA nº 03/90)

3.4 Índice de Qualidade do ar

O índice de qualidade do ar atualmente em uso na CETESB vem sendo utilizado desde maio de 1981. Este índice foi concebido com base no “*PSI – Pollutant Standards Index*”, cujo desenvolvimento se baseou numa experiência acumulada de vários anos nos Estados Unidos e no Canadá. Este índice foi desenvolvido nos Estados Unidos pela EPA a fim de padronizar a divulgação da qualidade do ar pelos meios de comunicação.

A estrutura do índice de qualidade do ar contempla, conforme Resolução CONAMA nº 3 de 28/06/90, os seguintes parâmetros: dióxido de enxofre, partículas totais em suspensão, partículas inaláveis, fumaça, monóxido de carbono, ozônio e dióxido de nitrogênio.

O índice é obtido através de uma função linear segmentada, onde os pontos de inflexão são os padrões de qualidade do ar. Desta função, que relaciona a concentração do poluente com o valor índice, resulta um número adimensional referido a uma escala com base em padrões de qualidade do ar.

Para cada poluente medido é calculado um índice. Para efeito de divulgação é utilizado o índice mais elevado, isto é, a qualidade do ar de uma estação é determinada pelo pior caso.

Depois de calculado o valor do índice, o ar recebe uma qualificação, feita conforme a tabela a seguir:

Tabela 3.4 – Estrutura do índice de qualidade do ar para o parâmetro de PTS.

| Faixa de Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Índice | Qualidade do Ar | |
|--|-----------|-----------------|----------------------|
| 0 – 80 | 0 – 50 | Boa | Atende ao padrão |
| 81 – 240 | 51 – 100 | Regular | |
| 241 – 375 | 101 – 199 | Inadequada | Não atende ao padrão |
| 376 – 625 | 200 – 299 | Má | |
| 626 – 875 | 300 – 399 | Péssima | |
| 876 - 1000 | > 400 | Crítica | |

(Fonte: CETESB, 1996)

A seguir, na Figura 3.1, são apresentadas as funções lineares segmentadas para o poluente de partículas totais em suspensão.

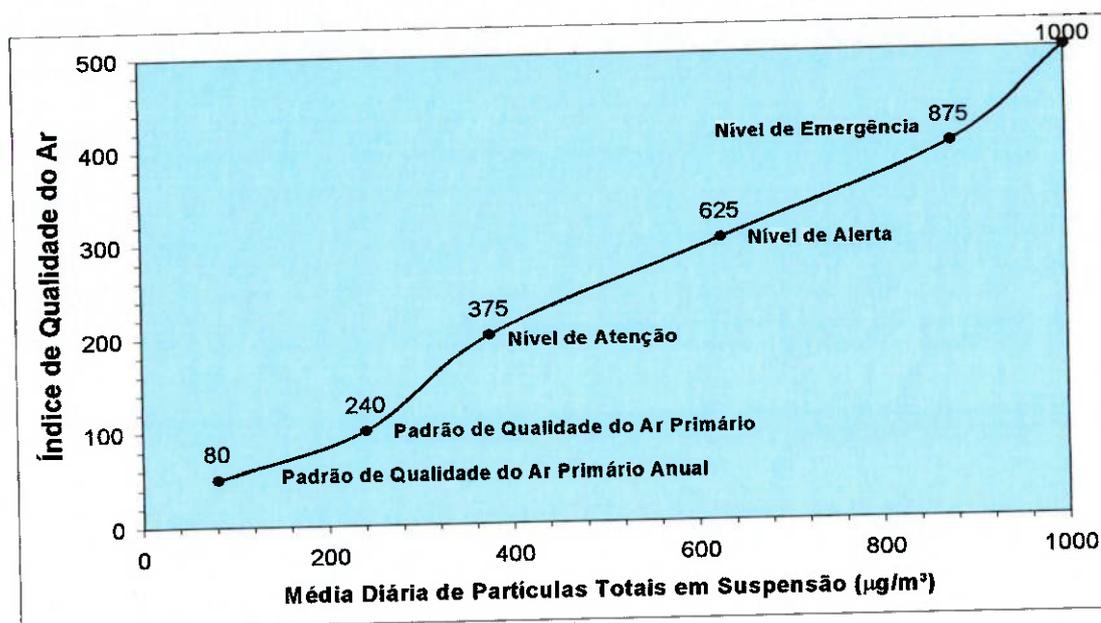


Fig. 3.1 Relação entre concentração de PTS e o valor do índice de qualidade do ar.

(Fonte: CETESB, 1996)

3.5 Legislação ambiental do Estado de Santa Catarina

O Brasil é uma República Federativa constituída de Estados com competência concorrente à União para elaborarem eles próprios sua legislação de

controle ambiental. Existe uma estrutura geral para o controle ambiental esboçada pelo Governo Federal que é utilizada naqueles estados onde ainda não existe uma legislação ambiental própria.

A legislação ambiental básica do estado de Santa Catarina, através da Lei nº 5.793, de 15/10/80, regulamentada pelo Decreto nº 14.250, estabelece normas gerais, visando à proteção e à melhoria da qualidade ambiental.

A seguir apresentamos alguns artigos da referida Lei:

3.5.1 Da proteção atmosférica e das proibições e exigências

Art. 25º - É proibida a queima ao ar livre de resíduos sólidos, líquidos ou de qualquer outro material combustível, desde que cause degradação da qualidade ambiental.

Art. 26º - É proibida a instalação e o funcionamento de incineradores domiciliares, prediais e industriais, de qualquer tipo, exceto os incineradores hospitalares e congêneres.

Art. 27º - Nos casos em que se fizer necessário, poderá ser exigida:

- I – a instalação e operação de equipamentos automáticos para medição das quantidades de poluentes emitidos;
- II – a comprovação da quantidade e qualidade dos poluentes atmosféricos emitidos, através de realização de amostragem em chaminés;
- III – a construção de plataforma e outros requisitos necessários à realização de amostragens em chaminés.

3.5.2 Dos padrões de qualidade do ar

Art. 28º - Ficam estabelecidos os seguintes padrões de qualidade do ar:

- I – para partículas em suspensão:

a) 80 (oitenta) microgramas por metro cúbico, ou valor inferior - concentração média geométrica anual; ou

d) 240 (duzentos e quarenta) microgramas por metro cúbico, ou valor inferior - média de 24 (vinte e quatro) horas consecutivas, não podendo ser ultrapassada mais de uma vez por ano;

II – para dióxido de enxofre:

a) 80 (oitenta) microgramas por metro cúbico, ou valor inferior - concentração média aritmética anual;

b) 365 (trezentos e sessenta e cinco) microgramas por metro cúbico, ou valor inferior - concentração média de 24 (vinte e quatro) horas consecutivas, não podendo ser ultrapassada mais de uma vez ao ano;

III – para monóxido de carbono

a) 10.000 (dez mil) microgramas por metro cúbico, ou valor inferior - concentração da máxima média de 8 (oito) horas consecutivas, não podendo ser ultrapassada mais de uma vez ao ano; ou;

b) 40.000 (quarenta mil) microgramas por metro cúbico, ou valor inferior - concentração da média máxima de 1 (uma) hora, não podendo ser ultrapassada mais de uma vez ao ano, e;

IV – para oxidantes fotoquímicos: 160 (cento e sessenta) microgramas por metro cúbico, ou valor inferior - concentração da média máxima de 1 (uma) hora, não podendo ser ultrapassada mais de uma vez ao ano.

Parágrafo 1º - Todas as medidas devem ser corrigidas para a temperatura de 25°C (vinte e cinco graus Celsius) e pressão de 760 (setecentos e sessenta milímetros) de mercúrio.

Parágrafo 2º - Para a determinação de concentrações das diferentes formas de matérias, objetivando-se compará-las aos padrões de qualidade do ar, deverão ser utilizados os métodos de análises e amostragem definidos neste Regulamento ou normas dele decorrentes, bem como estações medidoras localizadas adequadamente, de acordo com critérios pré-estabelecidos.

Parágrafo 3º - A frequência de amostragem deverá ser efetuada por um período de no mínimo 24 (vinte e quatro) horas a cada 06 (seis) dias para dióxido de enxofre e partículas em suspensão e continuamente para monóxido de carbono e oxidantes fotoquímicos.

Art. 29º - Para os fins do Parágrafo 2º do artigo anterior, ficam estabelecidos os seguintes métodos:

I – para partículas em suspensão: Método de Amostrador de Grande Volume, ou equivalentes;

II – para monóxido de enxofre: Método de Pararosanilina ou equivalente;

III – para monóxido de carbono: Método de Absorção de Radiação por Infravermelho não dispersivo, ou equivalente;

IV – para oxidantes fotoquímicos (como Ozona): Método da Luminescência Química, ou equivalente.

Parágrafo Único – Consideram-se Métodos Equivalentes todos os métodos de amostragem de análise que, testados, forneçam respostas equivalentes aos métodos de referência, no que tange às características de confiabilidade, especificidade, precisão, exatidão, sensibilidade, tempo de resposta desvio de zero, desvio de calibração e a outras características ou convenientes.

3.5.3 Dos padrões de emissão

Art. 30º - É proibida a emissão de fumaça, por parte de fontes estacionárias, com densidade colorimétrica superior ao padrão 1 Escala de Ringelmann, salvo por:

I - Um único período de 15 (quinze) minutos por dia, para operação de aquecimento de fomalha; e

II - Um período de 3 (três) minutos, consecutivos ou não, em qualquer fase de 1 (uma) hora.

Art. 31º - É proibida a emissão de substâncias odoríferas na atmosfera em quantidades que possam ser perceptíveis fora dos limites da área de propriedade da fonte emissora.

Parágrafo 1º - A constatação de emissão de que trata este artigo, será efetuada:

I - Por agentes credenciados; e

II - Com referência à lista de 55 (cinquenta e cinco) substâncias, através de sua concentração no ar, por comparação com limite de percepção de odor (LPO).

Art. 32º - Nos casos para os quais não foram estabelecidos padrões de emissão, deverão ser adotados sistemas de controle de poluição do ar baseados na melhor tecnologia prática disponível.

Parágrafo Único - A adoção da tecnologia preconizada neste artigo dependerá de aprovação prévia.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada para a realização deste trabalho foi dividida em duas etapas: coleta de dados em campo e análise de dados.

4.1 Coleta de dados

A coleta de dados em campo foi realizada por meio de amostragens isocinéticas para a determinação da concentração de MP emitido pela chaminé de uma fonte estacionária. Também foram realizadas coletas no ar ambiente para a determinação da concentração de PTS. Os equipamentos utilizados para a realização das coletas foram um Coletor Isocinético de Poluentes Atmosféricos (CIPA) e três Amostradores de Grande Volume. Essas medições de campo foram efetuadas em dois pontos distintos localizados próximos à fonte de emissão e em um ponto distante da referida fonte.

A seguir, serão abordadas as metodologias utilizadas na amostragem de cada um dos poluentes atmosféricos selecionados para estudo.

4.2 Medições das emissões de poluentes na chaminé

A amostragem em chaminé é um procedimento utilizado para avaliar as características dos fluxos gasosos emitidos por processos industriais. O procedimento de amostragem consiste em medir na fonte uma série de parâmetros como: cargas de velocidade, temperatura, massa molecular do gás, umidade, material particulado e extrair simultaneamente uma amostra de volume conhecido.

As informações sobre estes parâmetros, junto com as análises quantitativas realizadas em laboratório, permitem calcular a quantidade total de

poluentes que estão sendo emitidos na atmosfera. Estes dados são importantes para o controle das emissões e a regulagem do processo industrial, Frondizi (1984).

Os métodos utilizados para a amostragem em chaminé são os da United States Environmental Protection Agency (USEPA), adotados diretamente pela CETESB em São Paulo, FEEMA no Rio de Janeiro, FATMA em Santa Catarina e por outros órgãos estaduais no Brasil.

As amostras foram coletadas isocineticamente, em conformidade com os seguintes métodos:

- 1 - Determinação dos pontos de amostragem em DCFE (Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias). USEPA, Method 1 - CETESB L 9.221 - NBR 10700;
- 2 - Determinação da velocidade e da vazão dos gases em DCFE. USEPA, Method 2 - CETESB L 9.222 - NBR 11966;
- 3 - Determinação da massa molecular seca do fluxo dos gases em DCFE. USEPA, Method 3 - CETESB L 9.223 - NBR 10702;
- 4 - Determinação da umidade do fluxo gasoso em DCFE. USEPA, Method 4 - CETESB L 9.224 - NBR 11967;
- 5 - Determinação da concentração de material particulado em DCFE. USEPA, Method 5 - CETESB L 9.225 - NBR 12827.

Os procedimentos adotados para a realização das amostragens obedeceram às seguintes etapas:

4.2.1 Determinação do local e dos pontos transversais na chaminé

Para a determinação do local de amostragem (furo na chaminé) e a distribuição dos pontos transversais na seção, onde foram feitas medições visando à obtenção do perfil de velocidade e da taxa de fluxo, usou-se o método 1 (USEPA, 1985).

4.2.1.1 Escolha do local para a amostragem

O local da amostragem (furo na chaminé) foi em um trecho sem distúrbio do fluxo do gás, a uma distância de 8 diâmetros à montante e 2 diâmetros à jusante de quaisquer modificações (acidentes) consecutivas no duto da chaminé.

4.2.1.2 Determinação do número mínimo de pontos na seção transversal

Como o critério de 8 e 2 diâmetros foi empregado, o número mínimo de pontos transversais foi 12, considerando que a chaminé possui diâmetro superior a 0,6 m. O diâmetro da chaminé em estudo é de 0,99 m, com área de 0,78 m².

Para usar o gráfico da Figura 4.1, foi medido primeiramente as distâncias entre o local de amostragem (furo na chaminé) e os dois acidentes, anterior e posterior. Dividiu-se as distâncias obtidas pelo diâmetro da chaminé, determinando-se as distâncias em termos de diâmetro de tubulação. Assim, foi determinado pelo gráfico da Figura 4.1 o número mínimo de pontos na seção transversal corresponde ao número de diâmetros acima e abaixo dos acidentes e selecionando o maior dos dois números mínimos de pontos transversais.

4.2.1.3 Distribuição dos pontos transversais

Foram localizados os pontos transversais em dois diâmetros perpendiculares, de acordo com a Tabela 4.1 e exemplificados na Figura 4.2.

Quando se espera uma grande variação na concentração de um contaminante ao longo da seção transversal, pode-se especificar mais de dois diâmetros, que irão dividir a seção da chaminé em partes iguais. Um dos diâmetros deve estar no plano que contém o ponto onde se espera a maior concentração. Como critério de 8 a 2 diâmetros foi empregado para o caso em estudo, não foi necessário determinar mais de dois diâmetros perpendiculares na seção da chaminé.

Para chaminés com diâmetro superior a 0,6 m nenhum ponto transversal deve ser escolhido a uma distância inferior a 2,5 cm da parede do duto.

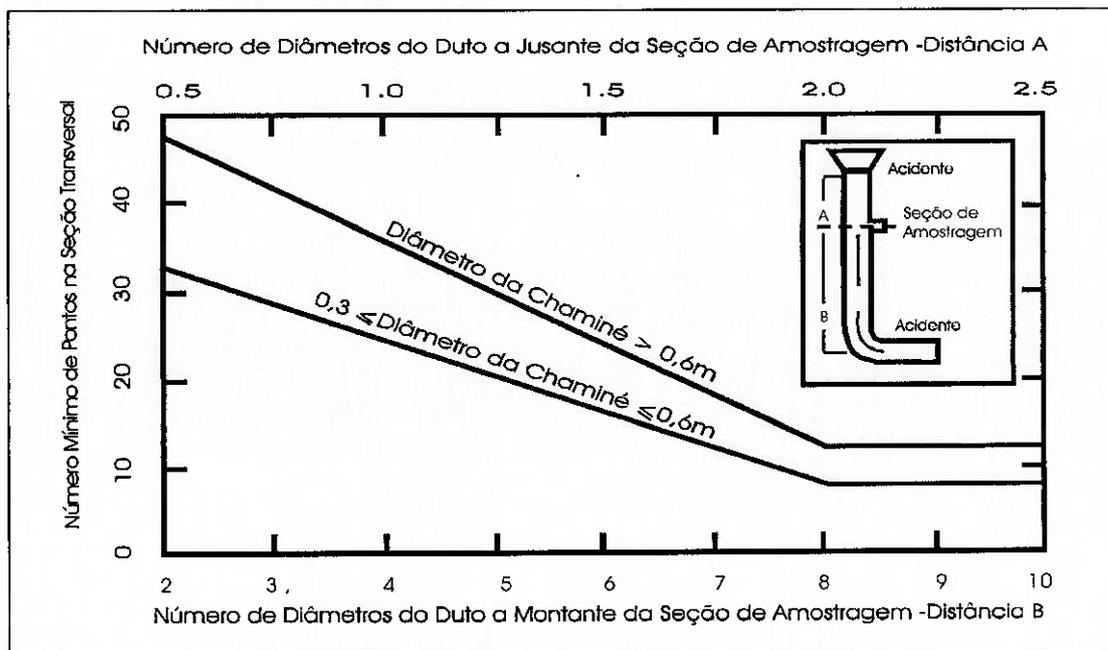


Fig. 4.1 - Número mínimo de pontos na seção transversal.

(Fonte: USEPA, 1985)

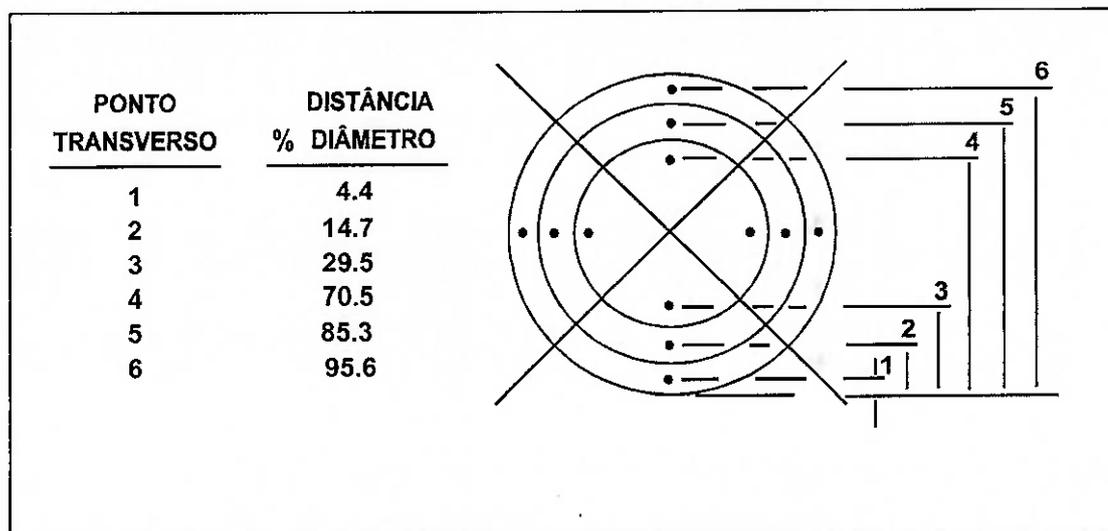


Fig. 4.2 - Seção transversal da chaminé circular dividida em 12 áreas iguais, mostrando a localização dos pontos transversais no centro de cada área.

(Fonte: USEPA, 1985)

TABELA 4.1 – Localização dos pontos transversais em chaminés circulares (afastamento do ponto transversal à face inferior da chaminé ou duto, expresso em percentagem de seu diâmetro).

| Número de pontos num diâmetro | NÚMERO DE PONTO TRANSVERSOS NUM DIÂMETRO | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 |
| 1 | 14,6 | 6,7 | 4,4 | 3,2 | 2,6 | 2,1 | 1,8 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | 1,1 | 1,1 |
| 2 | 85,4 | 25,0 | 14,6 | 10,5 | 8,2 | 6,7 | 5,7 | 4,9 | 4,4 | 3,9 | 3,5 | 3,2 |
| 3 | | 75,0 | 29,6 | 19,4 | 14,6 | 11,8 | 9,9 | 8,5 | 7,5 | 6,7 | 6,0 | 5,5 |
| 4 | | 93,3 | 70,4 | 32,3 | 22,6 | 17,7 | 14,6 | 12,5 | 10,9 | 9,7 | 8,7 | 7,9 |
| 5 | | | 85,4 | 67,7 | 34,2 | 25,0 | 20,1 | 16,9 | 14,6 | 12,9 | 11,6 | 10,5 |
| 6 | | | 95,6 | 80,6 | 65,8 | 35,6 | 26,9 | 22,0 | 18,8 | 16,5 | 14,6 | 13,2 |
| 7 | | | | 89,5 | 77,4 | 64,4 | 36,6 | 28,3 | 23,6 | 20,4 | 18,0 | 15,1 |
| 8 | | | | 96,8 | 85,4 | 75,0 | 63,4 | 37,5 | 29,6 | 25,0 | 21,8 | 19,4 |
| 9 | | | | | 91,8 | 82,3 | 73,1 | 62,5 | 38,2 | 30,6 | 26,2 | 23,0 |
| 10 | | | | | 97,4 | 88,2 | 79,9 | 71,7 | 61,8 | 38,8 | 31,5 | 27,2 |
| 11 | | | | | | 93,3 | 85,4 | 78,0 | 70,4 | 61,2 | 39,3 | 32,3 |
| 12 | | | | | | 97,9 | 90,1 | 83,1 | 76,4 | 69,4 | 60,7 | 39,8 |
| 13 | | | | | | | 94,3 | 87,5 | 81,2 | 75,0 | 68,5 | 60,2 |
| 14 | | | | | | | 98,2 | 91,5 | 85,4 | 79,6 | 73,8 | 67,7 |
| 15 | | | | | | | | 95,1 | 89,1 | 83,5 | 78,2 | 72,8 |
| 16 | | | | | | | | 98,4 | 92,5 | 87,1 | 82,2 | 77,0 |
| 17 | | | | | | | | | 95,6 | 90,3 | 85,4 | 80,6 |
| 18 | | | | | | | | | 98,6 | 93,3 | 88,4 | 83,9 |
| 19 | | | | | | | | | | 96,1 | 91,3 | 86,8 |
| 20 | | | | | | | | | | 98,7 | 94,0 | 89,5 |
| 21 | | | | | | | | | | | 96,5 | 92,1 |
| 22 | | | | | | | | | | | 98,9 | 94,5 |
| 23 | | | | | | | | | | | | 96,8 |
| 24 | | | | | | | | | | | | 98,9 |

(Fonte: USEPA, 1985)

4.2.2 Determinação da velocidade média e vazão do fluxo gasoso

Foi determinado a velocidade média do gás e, conseqüentemente, a vazão volumétrica, visando determinar a concentração e a emissão de contaminantes provenientes da chaminé. A velocidade do fluxo gasoso é determinada a partir da densidade do gás e da medida da carga de velocidade, utilizando um tubo Pitot tipo "S" (Stauscheibe ou tipo Reverso), conforme o método 2 (USEPA, 1985).

O fluxo estudado é laminar, não existindo restrições quanto ao uso deste método.

4.2.2.1 Aparelhagem

Para a determinação das cargas de velocidade, temperatura, massa molecular do gás e pressão atmosférica, utilizou-se os seguintes equipamentos:

- tubo Pitot - Tipo "S", calibrado com o Tubo Pitot "Standard" com coeficiente conhecido;
- manômetro inclinado para medidas de carga de velocidade (ΔP) e pressão estática (P_e), com capacidade de medir carga de velocidade com 10% de precisão do valor mínimo medido ou 0,25 mmH₂O;
- termômetro - capaz de medir temperatura com precisão de 3%;
- analisador de gás (CO₂, O₂, CO e N₂) - "Orsat" para determinar a massa molecular do gás;
- barômetro de mercúrio (Tipo Torricelli) para medir a pressão atmosférica com precisão de $\pm 2,5$ mmHg.

4.2.2.2 Procedimento de operações nas coletas

A seguir descreve-se o procedimento adotado nas medições para a determinação de velocidade:

1. Montar a aparelhagem conforme mostra a Figura 4.3, verificando-se todas as conexões para que não ocorram vazamentos.
2. Medir a carga de velocidade (leitura no manômetro - ΔP) e a temperatura nos pontos de amostragem determinados na seção 4.2.1.3, utilizando-se a figura 4.4.
3. Medir a pressão estática no interior da chaminé. Normalmente uma só leitura é suficiente para todos os pontos de amostragem quando o fluxo é laminar.
4. Fazer a leitura da pressão atmosférica (Pa).

5. Determinar a massa molecular do gás seco, conforme método 3 descrito no item 4.2.3, (USEPA, 1985).
6. Determinar o percentual de umidade pelo método 4 descrito no item 4.2.4, (USEPA, 1985).

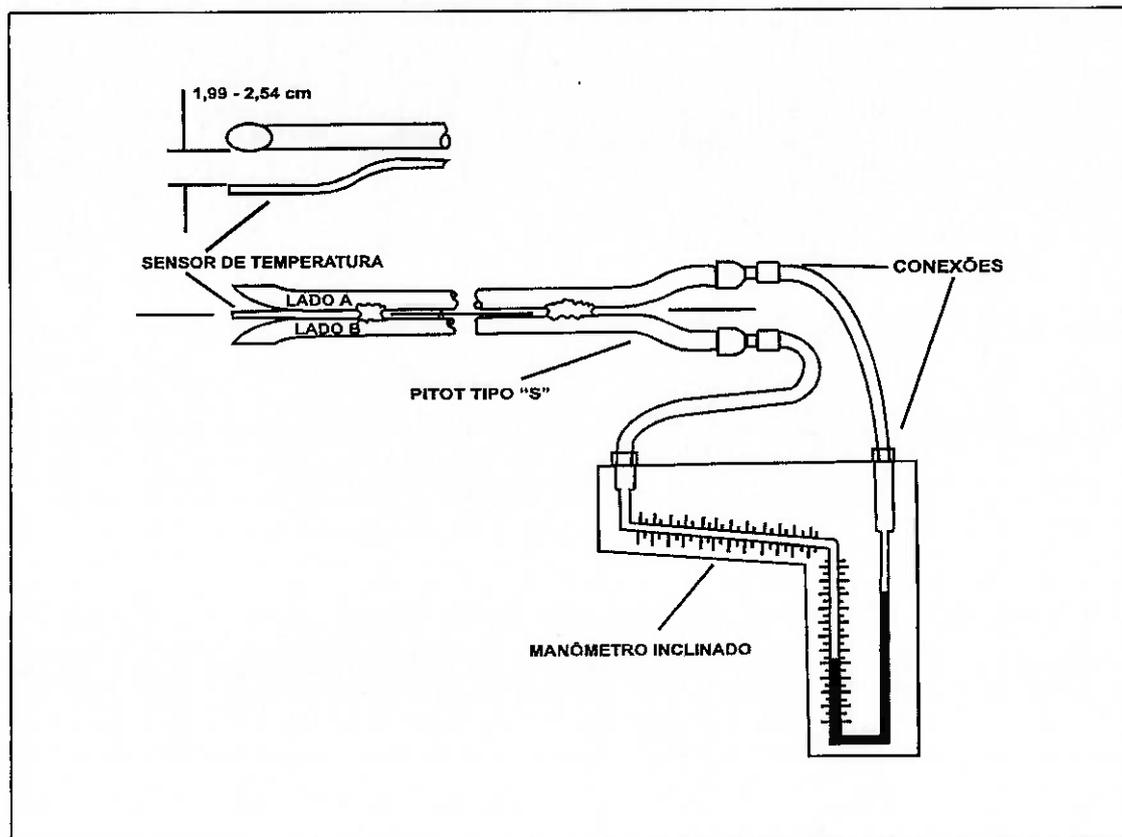


Fig. 4.3 - Aparelhagem para determinação das cargas de velocidade e das temperaturas.

(Fonte: USEPA, 1985)

| DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS PARA CÁLCULO DA VELOCIDADE MÉDIA | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---------------------|------|--------------------------------|------|---------------------------|----------------|-------------------------|----|--|--|--|
| Local | | | Data | | | | | | | | | |
| Corrida | | Operador | | | | | | | | | | |
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 70%;">Diâmetro da Chaminé</td> <td style="width: 30%;">m</td> </tr> <tr> <td>Pressão Barométrica</td> <td>mmHg</td> </tr> <tr> <td>Área da Seção Transversal</td> <td>m²</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente tubo Pitot</td> <td>Cp</td> </tr> </table> | | Diâmetro da Chaminé | m | Pressão Barométrica | mmHg | Área da Seção Transversal | m ² | Coefficiente tubo Pitot | Cp | <div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 150px; margin-bottom: 10px;"></div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">ESQUEMA DA SEÇÃO TRANSVERSAL</div> | | |
| Diâmetro da Chaminé | m | | | | | | | | | | | |
| Pressão Barométrica | mmHg | | | | | | | | | | | |
| Área da Seção Transversal | m ² | | | | | | | | | | | |
| Coefficiente tubo Pitot | Cp | | | | | | | | | | | |
| Ponto transversal n° | Carga de velocidade ΔP mmH ₂ O | Temperatura Chaminé | | Pressão estática Pe mmHg | | | | | | | | |
| | | °C | K | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| Média | | | | | | | | | | | | |

Observação: Caso uma investigação preliminar mostre que Pe não varia mais que 100 mmH₂O, registra-se somente uma leitura.

Fig. 4.4 – Formulário para dados de carga de velocidade.

4.2.2.3 Cálculos de vazão e velocidade

Usou-se as seguintes expressões:

1 - Velocidade média do gás

$$V = K_p \cdot C_p \sqrt{(\Delta P)_{med}} \cdot \sqrt{\frac{(T)_{med}}{P \cdot MM_u}} \quad (1)$$

2 - Vazão volumétrica do gás

$$Q = 3600 (1 - Bag) \cdot V \cdot A \left(\frac{t_{std}}{T_{(med)}} \right) \cdot \left(\frac{P}{P_{std}} \right) \quad (2)$$

onde:

A = área da seção transversal da chaminé, m²

Bag = teor da umidade no fluxo gasoso (calculado conforme o método 4 ou o método 5), proporção por volume;

C_p = coeficiente do tubo de Pitot "S", adimensional;

K_p = Constante do tubo de Pitot "S", para o sistema métrico

$$= 34,97 \frac{m}{s} \left[\frac{(g/g - mol) \cdot (mmHg)^{1/2}}{(K) \cdot (mmH_2O)} \right]$$

MM_s = massa molecular do gás seco (calculado pelo método 3), g/g – mol;

MM_u = massa molecular do gás úmido, g/g – mol;

$$MM_u = MM_s (1 - Bag) + 18 \cdot Bag \quad (3)$$

P_{atm} = pressão atmosférica, mmHg;

P_e = pressão estática, mmHg;

P = pressão absoluta, mmHg;

P = P_{bar} + P_e

P_{std} = pressão absoluta padrão, 760 mmHg;

Q = vazão volumétrica do gás seco nas condições-padrão, m^3/h ;

t = temperatura do gás na chaminé, °C;

T = temperatura absoluta do gás na chaminé, K;

T_{std} = temperatura absoluta padrão, 293 K;

V = velocidade média do gás, m/s;

ΔP = carga de velocidade do gás, mmH_2O ;

3600 = fator de conversão, segundo/hora;

18 = massa molecular da água, g.

4.2.3 Determinação da massa molecular do fluxo gasoso

Retirou-se uma amostra do gás de um ponto no interior da chaminé, sendo determinado o percentual de CO_2 , O_2 , CO e N_2 mediante a utilização do aparelho de Orsat, conforme o método 3 (USEPA, 1985).

Este método é aplicado somente a fluxos gasosos de processos de combustão.

Existem dois métodos alternativos para esta determinação:

- a) Amostra instantânea – é usada para duto com pressão positiva e destina-se à coleta de amostra para análise no campo;
- b) Amostra integrada – é usada para duto com pressão negativa (vácuo) e a aparelhagem para coleta permite o transporte da amostra para análise no laboratório.

4.2.3.1 Aparelhagem

Neste trabalho, usou-se a metodologia da amostragem instantânea por ser

um duto com pressão positiva e sem restrições para análise da amostra no campo.

Utilizou-se os seguintes equipamentos:

- sonda de amostragem em aço inox, equipada com filtro de lã de vidro para a remoção de partículas;
- pera de borracha para transportar a amostra do gás para o analisador de Orsat, ilustrado na figura 4.5.

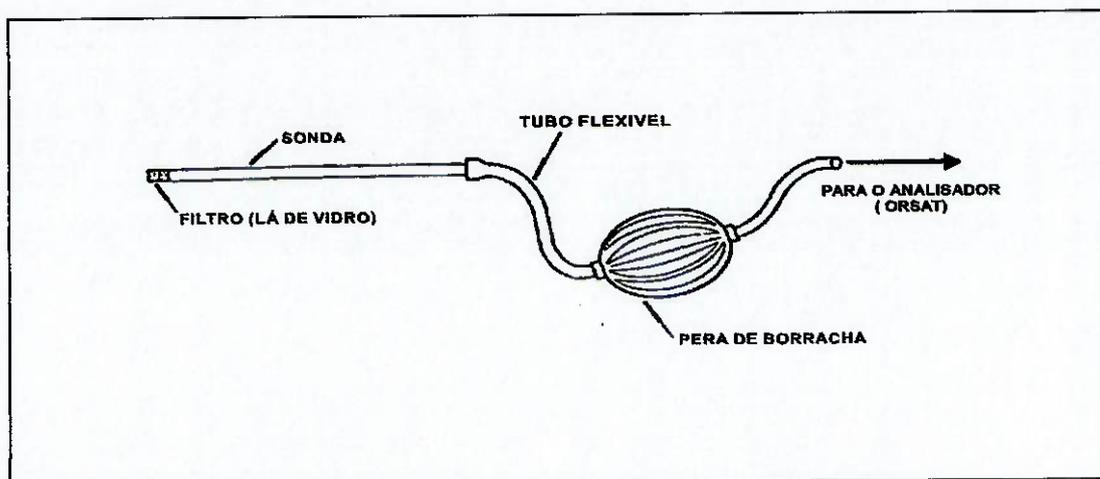


Fig. 4.5 – Aparelhagem para coleta da amostra.

(Fonte: USEPA, 1985)

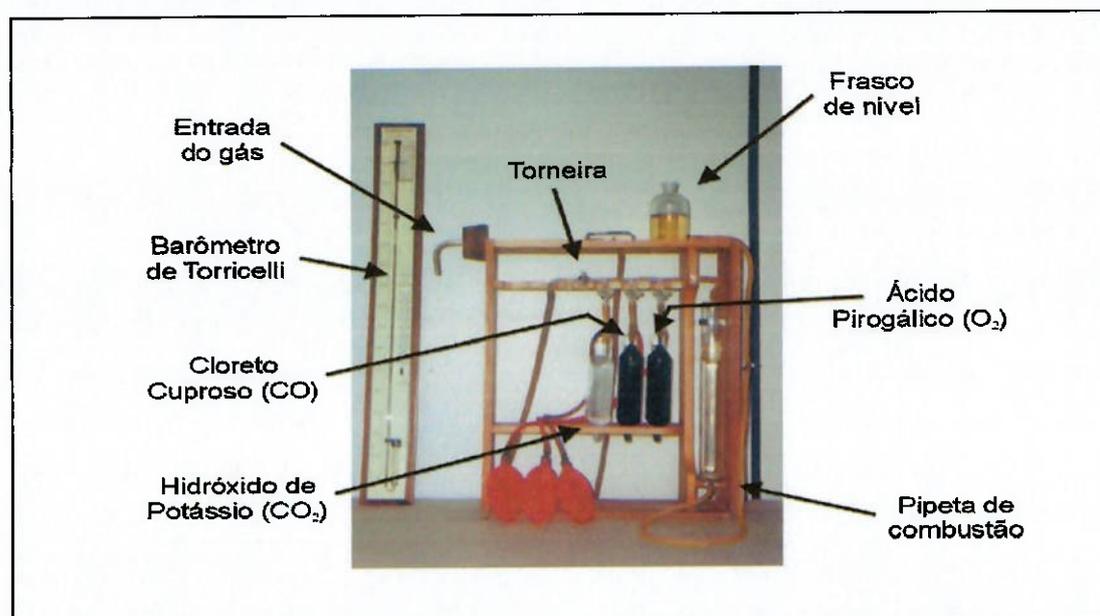


Fig. 4.6 - Aparelho de Orsat.

(Fonte: USEPA, 1985 modificado)

4.2.3.2 Procedimento de operações nas coletas

Estes são os procedimentos adotados nas medições para a determinação da massa molecular do gás.

1. Montar a aparelhagem conforme mostra a figura 4.6, e verificar todas as conexões para evitar vazamentos.
2. Colocar a sonda num ponto representativo do interior da chaminé e purgar toda a linha percorrida pelo fluxo.
3. Acoplar o aparelho de “Orsat” e determinar as concentrações de CO₂, O₂ e CO de acordo com as instruções de operação do aparelho empregado, utilizando a figura 4.7 para facilitar os cálculos.

| Amostra nº Gás | 1 | | | 2 | | | 3 | | | Media |
|---|---------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|-------|
| | Volume Inicial (ml) | Volume após absorção | Diferença Volume (ml) | Volume Inicial (ml) | Volume após absorção | Diferença Volume (ml) | Volume Inicial (ml) | Volume após absorção | Diferença Volume (ml) | |
| CO ₂ | 100 ⁽¹⁾ | | | 100 ⁽¹⁾ | | | 100 ⁽¹⁾ | | | |
| O ₂ Volume inicial é o volume após absorção de CO ₂ | | | | | | | | | | |
| CO Volume inicial é o volume após absorção de O ₂ | | | | | | | | | | |
| N ₂ A percentagem de N ₂ é 100 menos o volume lido após absorção de CO | | | | | | | | | | |

(1) Volume total (ml) da pipeta de combustão

Fig. 4.7 - Formulário para a determinação dos resultados do aparelho Orsat.

4.2.3.3 Cálculo da massa molecular

Para calcular a massa molecular do gás seco, utiliza-se a seguinte equação:

$$MM_s = 0,44 (\%CO_2) + 0,32 (\%O_2) + 0,28 (\%N_2) + 0,28 (\%CO) \quad (4)$$

onde:

MM_s = massa molecular do gás seco, g;

$\%CO_2$ = percentagem por volume de dióxido de carbono, base seca, g;

$\%O_2$ = percentagem por volume de oxigênio, base seca, g;

$\%CO$ = percentagem por volume de monóxido de carbono, base seca, g;

$\%N_2$ = percentagem por volume de nitrogênio, base seca, g;

0,44 = massa molecular do dióxido de carbono dividido por 100, g;

0,32 = massa molecular do oxigênio dividido por 100, g;

0,28 = massa molecular do nitrogênio e do monóxido de carbono dividido por 100, g.

Observações: Foi considerado a média de três amostras consecutivas com precisão de 0,1%. A percentagem de nitrogênio (N_2) é 100, menos a soma dos percentuais de dióxido de carbono (CO_2), oxigênio (O_2) e monóxido de carbono (CO).

4.2.4 Determinação da umidade do fluxo gasoso

Uma amostra do gás foi extraída da chaminé, sendo a umidade removida, condensada e determinada por análises volumétrica e gravimétrica.

Existem dois métodos para a determinação da umidade. Um é o de referência, de determinação precisa, utilizado na fixação de fatores de emissão. O outro, possui menor precisão e visa determinar o teor de umidade para fixar a vazão de amostragem isocinética. Para este propósito, pode-se utilizar várias técnicas como a temperatura de bulbo seco e úmido, a condensação e o cálculo estequiométrico.

Visando maior precisão, optou-se pelo método de referência, método 4 (USEPA, 1985).

4.2.4.1 Aparelhagem

Na aparelhagem utilizada no método de referência, Figura 4.8, todos os componentes foram mantidos e calibrados de acordo com os procedimentos do método 5 (USEPA, 1985).

- sonda de aço inox, suficientemente aquecida para evitar condensação e com filtro aquecido para a remoção do material particulado;
- condensador para refrigerar a amostra, permitindo medir a água condensada. A umidade que passa pelo condensador é determinada gravimetricamente pela passagem do fluxo gasoso por um tubo previamente pesado, contendo sílica gel e mantida a uma temperatura abaixo de 20 °C;
- sistema de refrigeração - recipiente com gelo (caixa fria) para permitir a condensação da umidade nos borbulhadores;
- tubo “drying”- tubo contendo sílica gel, de 6-19 mesh, para secar a amostra e proteger os medidores e a bomba de vácuo;
- instrumentos de medição - vacuômetro; bomba de vácuo livre de vazamentos; termômetros com precisão de ± 3 °C, gasômetro; medidor de volume do gás seco com precisão de $\pm 2\%$;
- barômetro de mercúrio (Torricelli) - capaz de medir a pressão atmosférica com precisão de $\pm 2,5$ mmHg;
- tubo Pitot - Tipo “S”, acoplado à sonda para permitir um monitoramento contínuo da velocidade do gás na chaminé, possibilitando uma regulação proporcional da taxa de fluxo da amostra;
- manômetro – inclinado ou equivalente, capaz de medir carga de velocidade (ΔP) na faixa de 10% do valor mínimo medido ou 0,25 mmH₂O . Para pressão diferencial (ΔH) abaixo de 1,3 mmH₂O usar micromanômetro com sensibilidade de 0,013 mmH₂O;
- medidor de temperatura - termopar, para medir temperatura com precisão de 1,5% da temperatura absoluta da chaminé;

- cilindro graduado e balança - para medir a água condensada nos borbulhadores e a umidade absorvida na sílica gel com precisão de $\pm 1\text{ml}$ e $\pm 1\text{g}$.

4.2.4.2 Procedimentos de operações nas coletas

Os procedimentos descritos a seguir são válidos para um sistema de condensação em borbulhadores com sílica gel incorporada, com determinação gravimétrica da umidade absorvida e análise volumétrica da umidade condensada.

1. Selecionar o local de amostragem (furo na chaminé) e o número de pontos transversais de acordo com o método 1 e determinar a faixa de carga de velocidade de acordo com o método 2 a fim de calcular o fluxo ideal de amostragem, selecionando uma vazão de aproximadamente $0,014\text{ m}^3/\text{minutos}$.
2. Selecionar o tempo de amostragem, de tal modo que o volume total do gás amostrado seja de no mínimo de $0,6\text{ m}^3$ nas condições padronizadas e que o tempo em cada ponto na seção transversal não seja menor que 2 minutos.
3. Montar o conjunto conforme mostra a Figura 4.8, verificando a existência de vazamentos no sistema. Colocar o gelo na caixa fria (condensador) e aquecer a sonda e caixa quente do porta-filtro a uma temperatura de aproximadamente $120\text{ }^\circ\text{C}$ a fim de prevenir a condensação.
4. Durante a amostragem manter a taxa de fluxo sem variar mais do que 20 % do fluxo calculado. Para cada corrida anotar no formulário da Figura 4.9 os dados necessários para os cálculos.
5. Para o início da amostragem, colocar a sonda no primeiro ponto transversal e ligar a bomba de vácuo imediatamente, ajustando a taxa de fluxo. Na saída do tubo de sílica gel, manter a temperatura abaixo de $20\text{ }^\circ\text{C}$ para se evitar a perda de umidade.
6. Após coletar a amostra, medir o aumento de volume do líquido nos borbulhadores com aproximação de 1 ml e determinar o aumento de peso no tubo

de sílica gel com aproximação de 0,5 gramas. Registrar estes dados no formulário da planilha de laboratório e efetuar os cálculos para a determinação do teor de umidade. O volume inicial de água em cada borbulhador deve ser de aproximadamente 20% de sua capacidade.

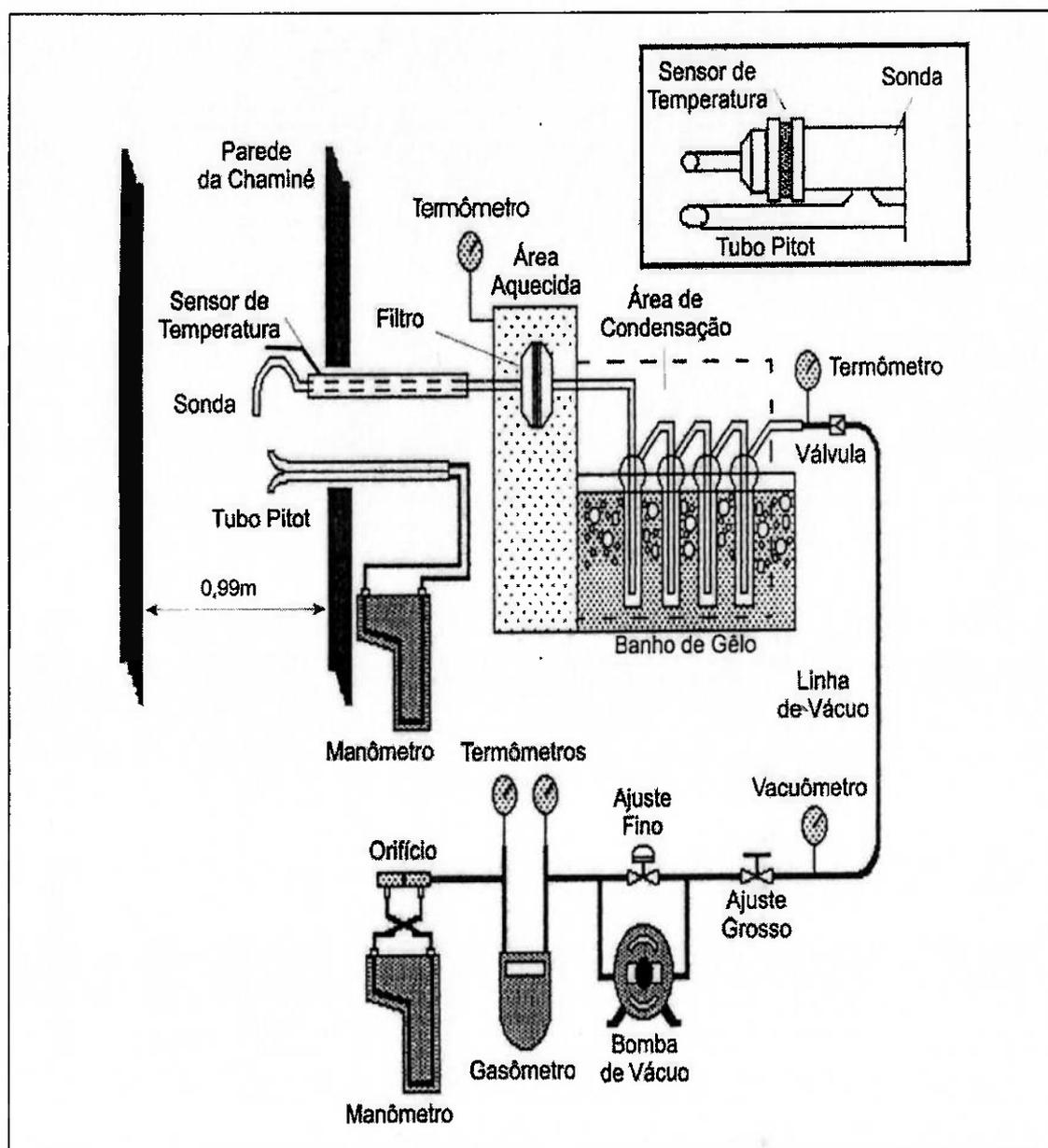


Fig. 4.8 – Aparelhagem para determinação da umidade – método de referência.

(Fonte: USEPA, 1985)

| DIÂMETRO DA CHAMINÉ (m) _____ | | | | | | | | |
|----------------------------------|--------------------------|------------------------|---|---|--|---|--------------|-----------------------------|
| COMPRIMENTO DA SONDA (m) _____ | | | | | | | | |
| TEMPERATURA AMBIENTE (°C) _____ | | | | | | | | |
| PRESSÃO BAROMÉTRICA (mmHg) _____ | | | | | | | | |
| Ponto Transverso n° | Tempo de amostragem min. | Temperatura na chaminé | Carga de velocidade ΔP mmH ₂ O | Pressão Diferencial ΔH mmH ₂ O | Volume de gás amostrado m ³ | Temperatura no medidor de gás amostrado | | Temperatura do gás haminé ° |
| | | | | | | Entrada °C | Saída °C | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| Total | | | | | | Média | Média | |
| Média | | | | | | Média | Média | |

Fig. 4.9 - Formulário para a determinação da umidade - método de referência.

| | Borbulhador Volume (ml) | Peso (g) |
|-----------|-------------------------|----------|
| FINAL | | |
| INICIAL | | |
| DIFERENÇA | | |

Fig. 4.10 - Formulário para dados analíticos - método de referência.

2.4.3 Cálculo de volumes e umidade

Utilizou-se as seguintes equações:

1 - Volume de vapor d'água condensado:

$$V_{wc(std)} = \frac{(V_f - V_i) \cdot \rho_w \cdot R \cdot T_{std}}{P_{std} \cdot PM_w} \quad (5)$$

$$= K (V_f - V_i)$$

onde $K = 0,00134 \text{ m}^3/\text{ml}$ para o sistema métrico.

2 - Volume de vapor d'água coletada na sílica gel:

$$V_{wg(std)} = \frac{(W_f - W_i) \cdot R \cdot T_{std}}{P_{std} \cdot PM_w} \quad (6)$$

$$= K (W_f - W_i)$$

onde $K = 0,00134 \text{ m}^3/\text{g}$ para o sistema métrico.

3 - Volume de gás:

$$V_{std} = V_m \cdot \frac{(P_m) \cdot (T_{std})}{(P_{std}) \cdot (T_m)} \quad (7)$$

$$= K \cdot \frac{V_m \cdot P_m}{T_m}$$

onde $K = 0,3855 \text{ K/mmHg}$ para o sistema métrico.

4 - Teor de umidade das condições padronizadas:

$$B_{ag(std)} = \frac{V_{wc(std)} + V_{wg(std)}}{V_{wc(std)} + V_{wg(std)} + V_{(std)}} \quad (8)$$

onde:

B_{ag} = teor de umidade, proporção por volume;

PM_w = massa molecular da água, 18 g;

P_m = pressão absoluta (para este método, pressão barométrica) no medidor de gás, mmHg;

P_{std} = pressão absoluta padrão, 760 mmHg;

R = constante universal dos gases

= $0,06236 \text{ (mmHg)} \cdot (\text{m}^3) / (\text{g} - \text{mol}) \cdot (\text{K})$ para o sistema métrico;

T_m = temperatura absoluta do medidor, K;

T_{std} = temperatura padrão absoluta, 293 K;

V_m = volume de gás seco medido pelo medidor de gás, m^3 ;

$V_{(std)}$ = volume de gás seco medido, corrigido para as condições padrões, m^3 ;

$V_{wc(std)}$ = volume de vapor d'água condensada, corrigido para as condições padrões, m^3 ;

$V_{wg(std)}$ = volume de vapor d'água coletada na sílica gel, corrigido para as condições padrões, m^3 ;

V_f = volume final do líquido no condensador, ml;

V_i = volume inicial do líquido no condensador, ml;

W_f = massa final do tubo de sílica gel, g;

W_i = massa inicial do tubo de sílica gel, g;

ρ_W = densidade da água, 1 g/ml.

4.2.4.4 Determinação do diâmetro da boquilha

Para o cálculo do diâmetro da boquilha (D_b) e da pressão no orifício (ΔH), é necessário calcular antes a umidade dos gases (B'_{ag}), a pressão absoluta na chaminé (P), a massa molecular dos gases na base seca (MM_s), a massa molecular dos gases na base úmida (MM_u) e a vazão no gasômetro (Q_m).

São apresentadas a seguir as fórmulas necessárias à seqüência dos cálculos para uma amostragem isocinética:

1 - Pressão absoluta na chaminé (P)

$$P = P_{atm} \pm P_e \quad (9)$$

onde:

P = pressão absoluta na chaminé, mmHg;

P_{atm} = pressão atmosférica, mmHg;

P_e = pressão estática na chaminé, mmHg;

A pressão estática pode ser medida com o tubo Pitot, tapando a abertura do tramo inferior (carga de velocidade) e girando o tubo de Pitot a 90 graus. A medida é lida no manômetro.

2 - Umidade dos gases em termos de proporção de volumes nas condições da chaminé - (B_{ag})

$$B_{ag} = \frac{V_{ag}}{V_{ag} + V} \quad (10)$$

onde:

B_{ag} = umidade dos gases na chaminé (adimensional);

V_{ag} = volume da água contida nos gases coletados, m^3 ;

V = volume total de gás medido, m^3 ;

V_{ag} é calculado por:

$$V_{ag} = 0,00346 \ T \ \frac{M_{ag}}{P} \quad (11)$$

onde:

T = temperatura absoluta na chaminé, K;

M_{ag} = Massa total de água coletada, g;

P = pressão absoluta na chaminé, mmHg;

Observação: Para cálculos de D_b e ΔH , assumiu-se $B_{ag} = B'_{ag}$ visto não possuir os dados de M_{ag} e V *a priori*. Após a medição na chaminé, calcular B_{ag} e verificar a hipótese $B_{ag} = B'_{ag}$.

3 - Massa molecular dos gases coletados na base úmida - (MM_u) (g/g - mol)

$$MM_u = MM_s (1 - Bag) + 18 Bag, \quad (12)$$

onde:

18 = massa molecular da água, g;

Observação: Como ressaltado no item 2, faz-se $Bag = B'ag$. Porém, após cada medição, analisar a hipótese de igualdade.

4 - Vazão estimada no gasômetro (Q_m) - ($m^3/min.$)

$$Q_m = \frac{V'}{N O_p} \quad (13)$$

onde:

V' = volume a ser amostrado, m^3 ;

N = número de pontos de amostragem;

O_p = tempo de amostragem em cada ponto, min.

Observação: A vazão estimada pode alterar sem afetar a amostragem, dependendo das condições reais na chaminé. Manter a isocineticidade é o fator principal.

5 - Diâmetro da boquilha (Db)

Normalmente são usadas boquilhas com diâmetros de 4, 6, 8, 10 e 12 mm. Antes de selecionar a mais adequada para as medições, faz-se cálculos teóricos prévios com os dados disponíveis. De posse do diâmetro calculado (Db), escolhe-se a boquilha com o diâmetro mais próximo (Ob).

Db é calculado por:

$$Db = 24,6576 \sqrt{\frac{Q_m P_g}{T_g C_p (1 - B'ag)}} \sqrt{\frac{T}{P \Delta P} MM_u} \quad (14)$$

onde:

D_b = diâmetro da boquilha, (mm);

Q_m = vazão estimada no gasômetro, $m^3/min.$ (ver item 4);

P_g = pressão no gasômetro, mmHg;

T_g = média das temperaturas no gasômetro, K;

C_p = coeficiente de correção do tubo Pitot (adimensional);

B'_{ag} = umidade nos gases avaliada previamente (adimensional);

\bar{T} = média das temperaturas absolutas na chaminé, K;

MM_u = massa molecular úmida do gás amostrado, g/g - mol (ver item 3);

P = pressão absoluta na chaminé, mmHg (ver item 1);

$\overline{\Delta P}$ = média das cargas de velocidade do gás na chaminé, mmH₂O;

A pressão no gasômetro (P_g) é dada por:

$$P_g = P_{atm} + \frac{\Delta H}{13,595} \quad (15)$$

onde:

P_{atm} = pressão atmosférica, mmHg;

ΔH = diferencial de pressão na placa de orifício, mmH₂O;

Por não conhecer ΔH *a priori*, estabelece-se $\Delta H = \Delta H@$, onde $\Delta H@$ é o fator diferencial de pressão na placa de orifício (compreendido entre 40 e 53 mmH₂O), obtido na calibração da caixa de controle.

Para a medição seguinte considerar $\Delta H = \overline{\Delta H}$, onde $\overline{\Delta H}$ é a medida dos $\overline{\Delta H_i}$ determinados para cada ponto.

Para os valores de \bar{T}_g , \bar{T} e $\overline{\Delta P}$ recomenda-se fazer previamente uma corrida com a sonda para cada ponto e registrar os valores de T_g , T ΔP , considerando a média de cada um dos parâmetros.

6 - Equação isocinética

Nas coletas isocinéticas é fundamental manter a relação:

$$\Delta H_i = K_i \Delta P_i,$$

onde:

ΔH_i = pressão diferencial na placa de orifício para coleta isocinética deste ponto i , mmH₂O;

ΔP_i = carga de velocidade no ponto da coleta i , mmH₂O;

K_i = fator de proporcionalidade para este ponto i .

Para K_i é recomendada a seguinte equação:

$$K_i = 8,035 \times 10^{-5} C_p^2 \Delta H@ Ob^4 (1 - B'ag)^2 \frac{MM_s P T_{gi}}{MM_u P_g T_i} \quad 16)$$

onde:

C_p = fator de correção do tubo Pitot (compreendido entre 0,80 e 0,85);

$\Delta H@$ = pressão diferencial da placa de orifício, em mmH₂O, quando por ele está passando ar numa vazão de 0,021 m³/min na condição padrão (20 °C, 1 atm);

Ob = Diâmetro da boquilha escolhida, mm (ver item 5);

$B'ag$ = umidade dos gases avaliados previamente (adimensional) (ver item 2);

MM_s = massa molecular dos gases coletados na base seca, g/g - mol (ver item 4.2.2.3);

MM_u = massa molecular dos gases coletados na base úmida, g/g - mol (ver item 3);

P = pressão absoluta na chaminé, mmHg (ver item 1);

P_g = pressão no gasômetro mmHg (ver item 5);

T_{gi} = temperatura média (entre entrada e saída) no gasômetro no ponto de coleta i , K;

T_i = temperatura na chaminé no ponto de coleta i , K;

Para efeito desta programação a expressão para ΔH_i é colocada na forma:

$$\Delta H_i = \frac{K' T_{gi} \Delta P_i}{T_i} \quad (17)$$

onde:

$$K' = 8,035 \times 10^{-5} C_p^2 \Delta H@ Ob^4 (1 - B'ag)^2 \frac{MM_s P}{MM_u P_g} \quad (18)$$

Observação: ΔH_i foi calculado para cada ponto i e é necessário conhecê-lo durante os trabalhos na chaminé, antes do processamento final dos dados. Para isso, anota-se os valores de T_{gi} , T_i e ΔP_i medidos para cada ponto e , de imediato ou após a medição, calcula-se os ΔH_i com o programa da calculadora, Santos (1990).

4.2.5 Determinação da concentração de material particulado no fluxo gasoso

Este método foi utilizado conjuntamente com os métodos descritos nas seções anteriores, considerando os cálculos do diâmetro da boquilha (Db) e do fator de proporcionalidade (K_i).

O material particulado foi retirado isocineticamente da fonte e coletado em um filtro de fibra de vidro, mantido a uma temperatura na faixa de 120 °C. A massa de partículas foi determinada gravimetricamente após a remoção da água não combinada, conforme o método 5 (USEPA, 1985).

A realização de amostragem de partículas no fluxo dentro da chaminé foi feita de modo que a coleta seja representativa, isto é, a velocidade de circulação dentro da sonda de amostragem deve ser, tanto quanto possível, a mesma existente na chaminé, no ponto de coleta.

Deve-se levar em conta os possíveis distúrbios provocados pela presença do amostrador imerso na corrente gasosa, a fim de evitar uma possível seletividade de partículas ou gotículas, o que provocaria uma amostragem não representativa.

A boquilha da sonda foi apontada diretamente contra a corrente gasosa e a velocidade da porção de gás da chaminé, que está sendo succionada para dentro da

boquilha, estava bem próxima da velocidade dos gases na chaminé nas vizinhanças da boquilha. A amostragem sob estas condições é chamada “Amostragem Isocinética” (Fronzizi, 1984).

4.2.5.1 Aparelhagem

1 - Equipamentos para amostragem:

O conjunto de aparelhagem utilizado é o mesmo usado para a determinação da umidade do gás que foi apresentado na Figura 4.8 e ilustrado conforme croqui da Figura 4.11. A seguir, apresenta-se a relação dos equipamentos para amostragem de material particulado no fluxo gasoso:

- boquilha, na faixa de tamanho adequado para amostragem isocinética (6,0 e 8,0 mm de diâmetro interno);
- sonda de aço inox, acoplado a um sistema de aquecimento capaz de manter a temperatura do gás na saída da sonda na faixa de 120 ± 14 °C;
- tubo Pitot - Tipo “S”, acoplado à sonda para permitir uma medição contínua da velocidade do gás na chaminé, possibilitando uma regulagem proporcional às variações da velocidade no ponto de coleta. O tubo Pitot deve ser calibrado pelo fabricante ou CETESB;
- manômetro inclinado duplo - capaz de medir carga de velocidade (ΔP) com 10% de precisão do valor mínimo medido ou 0,25 mmH₂O. Para pressão diferencial (ΔH) abaixo de 1,3 mmH₂O deve ser usado, um micro-manômetro de água com sensibilidade de 0,013 mmH₂O;
- suporte do filtro - de vidro borossilicato;
- sistema de aquecimento do filtro - caixa quente capaz de manter uma temperatura, no suporte do filtro, 120 ± 14 °C, durante a amostragem. Um termômetro deve fazer parte do sistema para que a temperatura possa ser regulada durante a amostragem;

- borbulhadores - 4 borbulhadores ligados em série, com juntas semi-esféricas de vidro esmerilhado. O primeiro, terceiro e quarto borbulhadores são do tipo “Greenburg-Smith”, com a ponta modificada. O segundo borbulhador, do mesmo tipo, com ponta normal;
- medidores – medidor de vácuo (vacuômetro), bomba livre de vazamento, termômetros capazes de medir temperaturas com $\pm 2\%$ de precisão;
- barômetro de mercúrio (Torricelli) - capaz de medir pressão atmosférica com $\pm 1,5$ mmHg de pressão;
- Orsat - equipamento para determinar a massa molecular do gás, descrito no item 4.2.3;

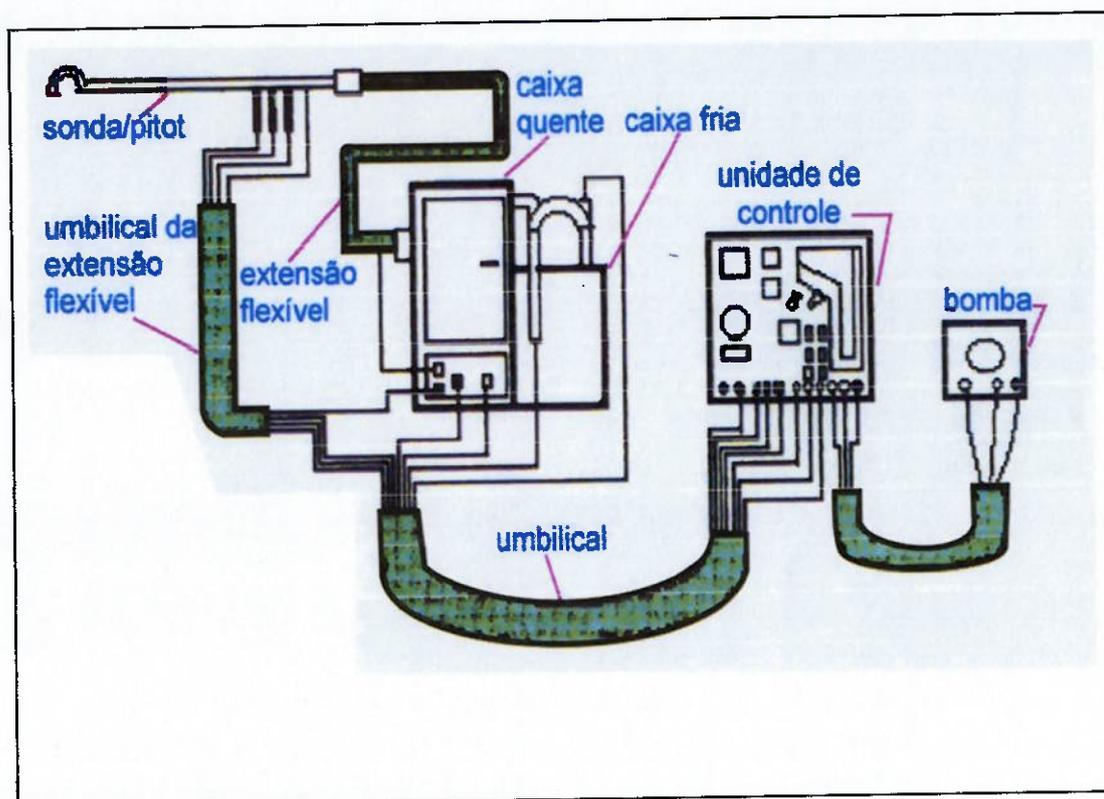


Fig. 4.11 – Croqui do esquema de montagem geral do CIPA.

(Fonte: Dias, 1997 modificado)

2 - Coleta de amostra

Após a amostragem, usa-se o seguinte material para manuseio da amostra no laboratório:

- escova para limpeza - escova de nylon para retirar o material depositado na sonda, devendo o cabo ter um comprimento igual ao da sonda;
- recipiente para estocagem da amostra - recipiente quimicamente resistente, de vidro borossilicato, com capacidade para 500 ou 1000 ml, com rolha de vidro ou teflon;
- cilindro graduado e balança - medir a água condensada com precisão de 1ml e 1 g, respectivamente. O cilindro graduado deve ter subdivisão não maior do que 2 ml e a balança deve ter aproximação de no mínimo 0,5 g;
- funil - para transferência do material coletado;

3 – Material para Análise

- vidro de relógio para auxiliar a pesagem;
- dessecador;
- balança analítica - precisão de 0,1 mg;
- balança de pesagem rápida - precisão de 0,5 g;
- becher - 250 ml de capacidade;
- higrômetro - para medir a umidade relativa no ambiente do laboratório;
- termômetro - para medir a temperatura no ambiente do laboratório;
- filtro - filtro de fibra de vidro, livre de compostos orgânicos, apresentando pelo menos 99,95 % de eficiência para partículas com diâmetro de 0,3 microns;
- sílica gel - tipo indicador, 6-16 mesh. Após o uso, secar a 175° C por 2 horas;
- água destilada;
- acetona - pró-análise, com o máximo de 0,001 % de resíduo;
- dessecante - sulfato de cálcio anidro ou equivalente;

4.2.5.2 Procedimento de operações nas coletas

1 - Amostragem:

- 1.1 - Pesar aproximadamente 200-300 g de sílica gel no borbulhador a ser utilizado na amostragem. Checar visualmente o filtro, observando qualquer irregularidade, e dessecar a 20 ± 5 °C e à pressão ambiente, por pelo menos 24 horas. Pesar a cada intervalo de 6 horas até que o peso constante, não seja mais que 0,5 mg de diferença entre duas pesagens consecutivas. Durante cada pesagem, o filtro não deve ser exposto ao ambiente do laboratório mais do que dois minutos e a uma umidade relativa acima de 50%.
- 1.2 - Determinação preliminar – selecionar o local de amostragem e o número mínimo de pontos transversos de acordo com o método 1; determinar a pressão estática no interior da chaminé, a temperatura e a faixa de carga de velocidade pelo método 2 e o teor de umidade pelo método de referência, método 4. Selecionar a boquilha da sonda para uma faixa de velocidade de modo a não ser necessário trocá-la para a obtenção de uma amostragem isocinética. O tempo total de cada amostragem foi de no mínimo 48 minutos, exigido por norma ou regulamento do órgão de controle ambiental. O tempo de amostragem por ponto foi de 4 minutos. O volume total de gás analisado foi de no mínimo 0,6 m³, especificado na norma.
- 1.3 - Preparo dos equipamentos para coleta de amostra – montar os equipamentos como mostra a Figura 4.8. Para que não ocorram vazamentos, colocar graxa de silicone nas juntas das conexões. Adicionar 100 ml de água nos dois primeiros borbulhadores, deixar o terceiro vazio e, aproximadamente, 200 a 300 g de sílica gel no quarto borbulhador. Anotar o peso da sílica gel mais o peso do borbulhador com aproximação de 0,5 g. Adaptar o filtro, previamente pesado, no interior de seu suporte. Montar os borbulhadores na caixa fria e colocar gelo picado.
- 1.4 - Teste de vazamento – após montar a aparelhagem, ligar o sistema de aquecimento do filtro e da sonda e aguardar até atingir a temperatura de 120° C \pm 14° C. Ligar a bomba com a válvula de ajuste fino completamente aberta e a

válvula de curso completamente fechada. Abrir parcialmente a válvula de curso e vagorosamente fechar a válvula de ajuste fino até que um vácuo de 15 polegadas de mercúrio seja atingido. Um vazamento de até $0,0057 \text{ m}^3/\text{minuto}$ é considerado tolerável. A fim de desfazer o vácuo, remover primeiramente o bujão da entrada da boquilha e desligar imediatamente a bomba.

1.5 - Coleta da amostra - a amostra foi coletada isocineticamente, com pelo menos 10 % de precisão. Durante as amostragens, a temperatura no filtro permaneceu na faixa de $120 \text{ }^\circ\text{C} \pm 14 \text{ }^\circ\text{C}$. Para cada corrida, os dados necessários aos cálculos foram anotados no formulário da planilha de campo. No início da amostragem, registrar a leitura inicial do medidor de gás seco e zerar os manômetros. Inserir a sonda no interior da chaminé para a amostragem do 1º ponto, tendo o cuidado de verificar se a válvula de curso está completamente fechada e a de ajuste fino completamente aberta. Ligar e ajustar o fluxo, abrindo a válvula de curso, e em seguida, ajustar o fluxo com a válvula de ajuste para uma amostragem isocinética. Durante a amostragem, foram feitos ajustes periódicos de modo a manter no suporte do filtro uma temperatura de $120 \text{ }^\circ\text{C} \pm 14 \text{ }^\circ\text{C}$. Foi mantida a temperatura na saída da sílica gel menor que $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Se a queda de pressão do filtro se tornar maior a ponto de dificultar a obtenção de uma amostragem isocinética, o filtro deverá ser trocado durante a amostragem. No final da amostragem, depressurizar o sistema e desligar a bomba, retirando a sonda do interior da chaminé e registrando a leitura final do medidor de gás seco. Calculou-se a percentagem de isocinética usando o programa de processamento de dados, Frondizi (1998), a fim de verificar a validade da corrida.

2 - Recuperação e manuseio da amostra:

Colocar fita gomada para proteger todas as aberturas existentes, sonda e borbulhadores. No laboratório, limpar inicialmente as conexões, removendo a graxa de silicone existente. Em seguida, separar dois recipientes, os quais serão utilizados da seguinte maneira:

Recipiente nº 01: vidro de relógio – remover quantitativamente o filtro amostrado para este recipiente.

Recipiente nº 02: becher - todo material particulado depositado no interior da boquilha, sonda e ciclone, foi removido; para isso, usou-se acetona e escova de nylon. Lavou-se até que o material não seja percebido visualmente, transferindo para o recipiente nº 02, anotando o volume total de acetona utilizada.

3 - Análise

Anotar os dados na planilha de laboratório, procedendo da seguinte maneira:

Recipiente nº 01: colocar o vidro de relógio, previamente pesado, em um dessecador contendo sulfato de cálcio anidro, por 24 horas. Pesar com aproximação de 0,1 mg, anotando o peso somente quando a diferença entre duas pesagens consecutivas não seja maior que 0,5 mg. Entre uma pesagem e outra, o tempo de dessecagem não deve ser inferior a 6 horas e durante a pesagem o filtro não deve ficar exposto à atmosfera do laboratório por mais de 2 minutos. A umidade relativa do ambiente de pesagem deve ser inferior a 50%.

Recipiente nº 02: Colocar o becher, previamente pesado, na capela fria do laboratório (pressão e temperatura) até a total evaporação da acetona. Dessecar por 24 horas e pesar com aproximação de 0,1 mg, anotando o peso somente quando a diferença entre duas pesagens consecutivas não seja maior que 0,5 mg.

Volume de água coletada nos borbulhadores – transferir o material coletado nos borbulhadores para uma proveta graduada, medindo o volume com precisão de ± 1 ml.

Água coletada na sílica gel – pesar o recipiente contendo a sílica gel, com aproximação de 0,5 g.

Branco da acetona – colocar 200 ml de acetona em becher de 250 ml previamente pesado, onde evaporaram completamente à temperatura ambiente.

Dessecar por 24 horas e pesar com aproximação de 0,1 mg.

4.2.5.3 Cálculos de volumes e concentrações

Utilizaram-se as seguintes equações:

1 - Volume de gás amostrado nas condições padrões (20°C, 760 mmHg)

$$Vm_{(std)} = Vm \frac{T_{std}}{T_m} \left(\frac{P_{bar} + \Delta H/13.6}{P_{std}} \right) = K \cdot Vm \left(\frac{P_{bar} + \Delta H/13.6}{T_m} \right) \quad (19)$$

onde $K = 0,3856 \text{ } ^\circ\text{K/mmHg}$ para o sistema métrico.

2 - Volume de vapor d'água:

$$Vw_{(std)} = V \cdot \frac{\rho_w \cdot R \cdot T_{std}}{PMw \cdot P_{std}} = K \cdot V \quad (20)$$

onde $K = 0,00134 \text{ m}^3/\text{ml}$ para o sistema métrico.

3 - Teor de umidade:

$$Bw_s = \frac{Vw_{(std)}}{Vm_{(std)} + Vw_{(std)}} \quad (21)$$

4 - Concentração do branco da acetona:

$$Ca = ma / Va \cdot \rho_a \quad (22)$$

5 - Partículas na acetona de lavagem:

$$Wa = Ca \cdot Vaw \cdot \rho_a \quad (23)$$

6 - Peso total de partículas:

Determinar o total de partículas, pelo formulário da figura 4.10, somando

os pesos de partículas contidos no recipiente 1 e 2, menos o total do peso de partículas contidas no branco da acetona.

7 - Concentração de partículas:

$$C = (Ca) \cdot (m/Vm_{(std)}) \quad (24)$$

8 - Variação isocinética:

$$I = \frac{100 \cdot Ts \cdot KV + (Vm / Tm) P_{bar} + \Delta H / 13.6}{60 \theta \text{ vs } P A} \quad (25)$$

onde $K = 0,00346 \text{ mmHg} \cdot \text{m}^3 / \text{ml} \cdot \text{°K}$ para o sistema métrico, ou:

$$I = \frac{Ts \cdot Vm_{(std)} \cdot P_{(std)} \cdot 100}{T_{(std)} \text{ vs } \theta P 60 (1 - Bws)}$$

$$I = K \cdot \frac{Ts \cdot Vm_{(std)}}{Ps \text{ vs } A \theta (1 - Bws)}$$

onde $K = 4,323$ para o sistema métrico.

Observação: o resultado da análise é considerado satisfatório quando a variação isocinética for igual ou acima de 90% e igual ou abaixo de 110%.

Onde:

A = área da seção da boquilha, m^2 ;

Bws = vapor d'água no fluxo gasoso, proporção em volume;

Ca = concentração do branco da acetona, mg/g ;

C = concentração de partículas no gás da chaminé, base seca, corrigida para as condições padrões, g/m^3 ;

I = percentagem de isocinética;

m = massa total de partículas coletadas, mg;

PM_w = massa molecular da água, 18 g;

m_a = massa de resíduo da acetona após evaporação, mg;

P_{bar} = pressão barométrica no local de amostragem, mmHg;

P = pressão absoluta no interior da chaminé, mmHg;

$P_{(std)}$ = pressão absoluta padrão, 760 mmHg;

R = constante universal dos gases

$$= 0,06236 \text{ mmHg} - \text{m}^3 / \text{K} - \text{gmol};$$

T_m = temperatura média no medidor de gás seco, K;

T_s = temperatura média no interior da chaminé, K;

T_{std} = temperatura absoluta padrão, 293 K;

V_a = volume de acetona utilizada para o branco, ml;

V_{aw} = volume de acetona utilizada para lavagem, ml;

V = volume total do líquido coletado nos borbulhadores e na sílica gel, ml;

V_m = volume de gás que passa pelo medidor de gás seco, m^3 ;

$V_{m(std)}$ = volume de gás que passa no medidor de gás seco corrigido para as condições padrões, m^3 ;

$V_{w(std)}$ = volume de vapor d'água corrigido para as condições padrões, m^3 ;

v_s = velocidade de gás na chaminé, calculado pelo método 2, utilizando-se os dados obtidos no método 5, m/s;

W_a = massa de partículas no volume de acetona de lavagem, mg;

ΔH = média da pressão diferencial através do orifício, mmH_2O ;

ρ_a = densidade da acetona g/ml;

ρ_w = densidade da água, 1 g/ml;

θ = tempo total de amostragem, min;

13,6 = gravidade específica do mercúrio;

60 = fator de conversão, s/min;

100 = fator de conversão para porcentagem.

4.3 Amostragem de Partículas Totais em Suspensão (PTS) no ar ambiente

O equipamento usado nas amostragens foi o Amostrador de Grande Volume (AGV) que permite a determinação das concentrações de partículas totais em suspensão (PTS) no ar ambiente, expressos em ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), por um período contínuo de 24 horas.

O ar é succionado para dentro de um abrigo onde passa através de um filtro a uma vazão de 1,13 m^3/minuto a 1,7 m^3/minuto que faz com que as partículas em suspensão com diâmetros menores de 100 microns (diâmetro aerodinâmico) atinjam o filtro. Em filtro de fibra de vidro são coletadas partículas com diâmetros entre 0,1 microns a 100 microns, ABNT (1997).

De acordo com USEPA (1983) apud Almeida (1999), dentre as várias técnicas disponíveis, a filtração tem se mostrado como o método mais adequado à quantificação das PTS.

O AGV é o equipamento mais apropriado para o monitoramento da poluição do ar por PTS. O método de referência adotado neste trabalho foi do Amostrador de Grande Volume.

Segundo USEPA (1983) apud Almeida (1999), aproximadamente 20.000 AGV's já operavam no início dos anos 80 nos USA, vinculados a agências governamentais de controle de poluição, centros de pesquisa e industriais. Tal fato se justifica em função do AGV possuir características específicas como: a de ser compacto, de baixo custo e de fácil manutenção, além de fornecer uma razoável precisão nos resultados da amostragem.

4.3.1 Amostrador de Grande Volume (AGV)

Um AGV é constituído pelos seguintes componentes:

- teto de entrada que permite a entrada do ar ambiente por sua abertura periférica (por baixo dos beirais);
- casinhola de abrigo, de alumínio anodizado, com porta e alças para transporte;
- porta-filtro de vidro com telas de aço inoxidável;
- porta-motor construído em fibra de vidro com forma cilíndrica e motor-aspirador;
- painel de controle com medidor de tensão, programador de tempo, rotâmetro e porta-fusível;
- registrador de vazão contínuo com mangueira de tomada de pressão;
- sistema de alimentação (220v ou 110v) com cabo e tomada para o plug do painel;

Esse conjunto de componentes forma uma unidade única de funcionamento, conforme ilustrado na figura 4.12.

Os AGVs são fornecidos pelos fabricantes já montados e com manual de operação. Portanto, para sua operação, os amostradores foram instalados nos locais das amostragens. Foram calibrados e colocou-se um filtro ao porta-filtro com uma carta gráfica e uma pena no registrador, programando o tempo e dando a partida no motor-aspirador.

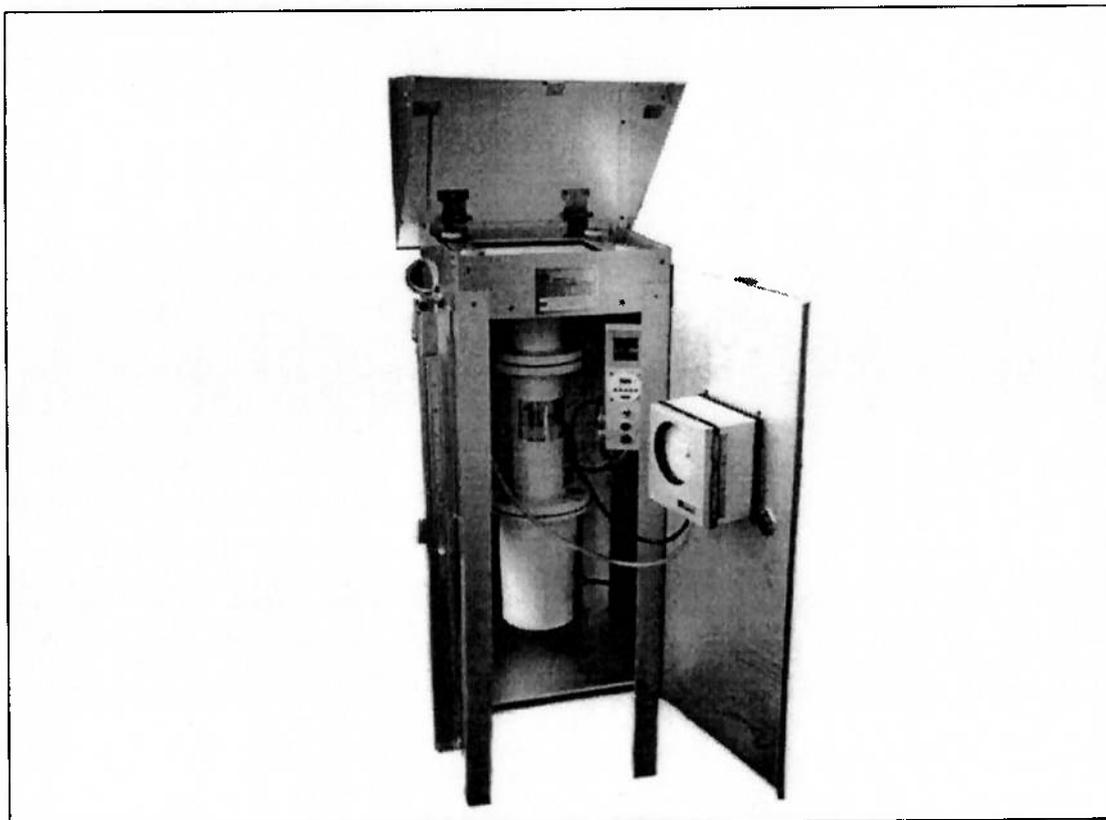


Fig. 4.12 - Conjunto amostrador, componentes e casinhola.
(Fonte: Dias, 1995)

4.3.2 Tipos de filtros

Em trabalhos realizados pela IAEA (1992) apud Almeida (1999) foi apresentada uma discussão sobre os mecanismos para a escolha de filtros e suas limitações para subsequente caracterização química.

Na escolha de um filtro, deve-se levar em consideração certas propriedades, como: possibilitar a retenção das partículas, permitindo a passagem do fluxo de ar; prover a coleta de uma certa quantidade de amostra que facilite uma posterior caracterização da composição química e determinar as PTS.

A escolha do filtro para amostragem de PTS é determinada pelos objetivos do programa e pelas características do equipamento de coleta a ser utilizado. De acordo com USEPA (1983) apud Almeida (1999), os filtros classificam-se em dois grupos: filtros de membrana e filtros de fibra.

- **Filtros de membrana** – Os filtros de éster celulose tornam-se, entretanto, imprescindíveis em certos tipos de amostragem, como é o caso de ar com predominância de óxido de silício (sílica), onde não se deve empregar filtros de fibra de vidro.
- **Filtro de fibra de vidro** - São os mais recomendados para um monitoramento de amostragem de PTS quando a determinação da concentração desse particulado é obtida por meio da técnica da gravimetria.

Segundo USEPA (1983) apud Almeida (1999), os filtros constituídos de fibra de vidro, apesar de não serem ideais para todas as circunstâncias, têm sido os que apresentam o maior número de requisitos necessários em um monitoramento de PTS. Estes filtros demonstram uma eficiência de coleta de no mínimo 99% para partículas com diâmetro aerodinâmico superior ou igual a 0,3 μm , baixa resistência ao fluxo de ar e pouca afinidade por umidade.

1 – Características do filtro

De acordo com a ABNT (1997), são apresentadas a seguir as especificações técnicas necessárias para os filtros que foram utilizados nas amostragens para a determinação da concentração de PTS por meio do método do AGV:

- dimensões: 20,3 cm x 25,4 cm;
- área de exposição nominal: 406,5 cm^2 ;
- material: fibra de vidro ou outro relativamente inerte e não higroscópico;
- eficiência superior a 99,0 % na retenção de aerossóis medida pelo teste do DOP (Dioctilphtalato) com diâmetro acima de 0,3 μm (ASTM 2986);
- tempo de filtragem: 1 litro de água deionizada a 20 °C através do filtro com área de 9,6 cm^2 e com vácuo de 300 mmHg;

- perda de carga recomendada: entre 5,6 kPa a 7,2 kPa (42 mmHg a 54 mmHg) a uma vazão de 1,5 m³/min. em condições-padrão através da área de exposição nominal;
- pH: 6 a 10;
- integridade: perda de massa de no máximo 2,4 mg;
- tensão de ruptura: de no mínimo 500 g para uma tira de filtro de 20 mm de largura, cortada na direção mais fraca, (ASTM-D 828);
- fragilidade: nenhuma rachadura ou separação de material após uma dobra simples na direção do maior comprimento.

4.3.3 Calibrador Padrão de Vazão (CPV)

Segundo Almeida (1999) “o tipo convencional de CPV consiste em: uma unidade (copo) com orifício, que se conecta a entrada do AGV por um adaptador, um manômetro que permita medir a perda de carga no orifício, um dispositivo para variar o fluxo de ar através do amostrador (placas), um termômetro e um barômetro (Figura 4.13).

O CPV utilizado para calibração do AGV deve atender aos seguintes requisitos básicos:

- Permitir relacionar a vazão indicada pelo registrador contínuo de vazão, em qualquer local e a qualquer momento, com a vazão indicada por um padrão primário oficial.
- Poder ser instalado sem vazamentos à entrada do AGV e medir a vazão do ar amostrado.
- Poder variar a vazão do amostrador dentro da faixa de 1,0 m³/min. a 1,8 m³/min. (esta faixa de vazão é obtida pelo acoplamento de placas de resistência ao fluxo de ar)”.

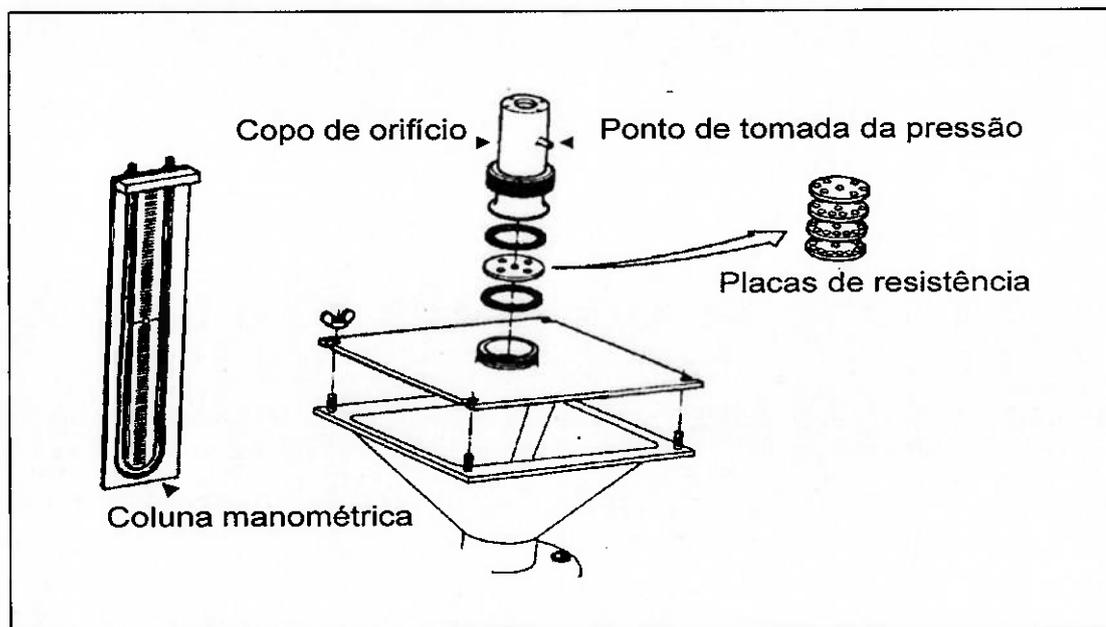


Fig. 4.13 - Calibrador padrão de vazão tipo orifício e placas de resistência.

(Fonte: Dias, 1995)

4.3.4 Procedimento de operação nas coletas

O procedimento adotado nas amostragens de PTS foi o método do AGV. A seguir descreve-se o procedimento adotado na coleta de amostras de PTS no ar ambiente, especificado pela ABNT (1997) apud Almeida (1999):

1. Identificar cada filtro, próximo à borda, com um número ou código.
2. Checar cada filtro contra uma fonte de luz e observar se não há furos, partículas ou outras imperfeições (filtros com tais imperfeições devem ser descartados).
3. Manter cada filtro no ambiente de condicionamento por pelo menos 24 horas para equilibrar a umidade.
4. Após esse período, pesar cada filtro com precisão de 0,1 mg e anotar a massa inicial (m_1) e o número de identificação do filtro no formulário de amostragem/AGV.

5. Não dobrar o filtro antes da coleta da amostra. Transportá-lo dentro de um envelope de papel ou pasta plástica.
6. Colocar o AGV em funcionamento por pelo menos 05 min. a fim de se estabelecer as condições de temperatura de funcionamento. Verificar se a pena do registrador se acomoda no zero da carta, quando o motor for desligado.
7. Instalar o filtro (numerado e pré-pesado) no porta-filtro com a face rugosa voltada para cima. No caso de ventos fortes ou chuva, deve-se redobrar os cuidados durante a troca do filtro a fim de se evitar danos ao mesmo e invalidação da amostra.
8. Anotar as condições de trabalho iniciais: pressão barométrica (P_i) e a temperatura ambiente (T_i) no formulário de amostragem/AGV.
9. Determinar a vazão se estiver fora da faixa aceitável ($1,13 \text{ m}^3/\text{min.}$ a $1,7 \text{ m}^3/\text{min.}$), desligar o AGV e ajustar a vazão ou substituir o filtro. Ajustes substanciais da vazão podem afetar a calibração dos indicadores de vazão do tipo orifício e assim acarretar a necessidade de recalibração.
10. Anotar no formulário de amostragem/AGV (Figura 4.14) os dados de identificação (local, data e horário inicial da amostragem, número do AGV, número do filtro e a leitura inicial do horâmetro).
11. Programar o início e o término da amostragem de tal forma que o AGV funcione por 24 horas.
12. Anotar as condições de trabalho finais: pressão barométrica (P_f) e a temperatura ambiente (T_f) no formulário de amostragem/AGV. O ideal seria obter a média da temperatura ambiente e da pressão barométrica para o local, durante o período de amostragem, a partir de dados de uma estação meteorológica ou outra fonte disponível.

13. Desligar o AGV e remover cuidadosamente o filtro carregado, tocando somente em sua borda.
14. Dobrar o filtro ao meio, no comprimento maior, de tal forma que somente as superfícies amostradas do filtro entrem em contato entre si, e em seguida colocá-lo em um envelope de papel ou pasta plástica.
15. Anotar no formulário de amostragem, data e horário final da amostragem, número do aparelho, número do filtro e a leitura final do rotâmetro. O período de amostragem, para fins de comparação legal, deve ser de $24 \text{ h} \pm 1 \text{ h}$.
16. Anotar no formulário de amostragem outros fatores como condições meteorológicas, atividades industriais, incêndios ou ventanias, que possam ser pertinentes à medição. Caso a amostra tenha sido alterada, ela deve ser descartada.
17. Manter o filtro amostrado no ambiente de condicionamento por pelo menos 24 horas para equilíbrio de umidade.
18. Imediatamente após o equilíbrio, pesar o filtro novamente, com precisão de 0,1 mg, e anotar a massa final (m_f) no formulário de amostragem.

| FORMULÁRIO DE AMOSTRAGEM / AGV | | | | | | | |
|---|---|-------------------------------|--|--------------------------------|-------|-----------|---------------|
| Dados Gerais | | | | | | | |
| Local: | | Código: | | | | | |
| Data Inicial: | | Data Final: | | | | | |
| Hora Inicial: | | Hora Final: | | | | | |
| Instrumentação e Equipe | | | | | | | |
| AGV n°: | | Filtro n°: | | | | | |
| Operador: | | Eng. Responsável: | | | | | |
| Regressão Linear | | | | | | | |
| Inclinação da reta (a_2): | | Interseção da reta (b_2): | | Coef. de correlação (r_2): | | | |
| Temperatura e Pressão | | | | | | | |
| Condições de Trabalho | | | Condições Padrão | | | | |
| T_3 : | K | P_3 : | mmHg | T_P : | 298 K | P_P : | 760 mmHg |
| Leitura do Horâmetro (1/100 hora) | | | Pesagem do Filtro (g) | | | | |
| Inicial: | | Final: | | Inicial: | | Final: | |
| Tempo: | h | Tempo: | min. | Peso Líq. | g | Peso Líq. | μg |
| Cálculo da vazão ($\text{m}^3/\text{min.}$) | | | | | | | |
| $Q_P = 1 / a_2 [\sqrt{D (P_3/T_3)(T_P/P_P) - b_2}]$ | | | $Q_P = \quad \quad \quad \text{m}^3 / \text{min.}$ | | | | |
| Cálculo do volume de ar (m^3) | | | Cálculo da concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | | | |
| $V = \text{Vazão} \times \text{Tempo}$ | | | $C = \text{Peso Líq.} / \text{Volume}$ | | | | |
| $V = \quad \quad \quad \text{m}^3$ | | | $C = \quad \quad \quad \mu\text{g} / \text{m}^3$ | | | | |

Fig. 4.14 - Formulário de amostragem para o amostrador de grande volume.

(Fonte: Almeida, 1999 modificado)

4.3.5 Calibração do dispositivo de vazão

Segundo Almeida (1999) a maioria dos amostradores de grande volume utilizam certos tipos de dispositivos para medir o fluxo de ar (vazão) que o atravessa durante uma amostragem. Estes dispositivos, tais como indicadores de pressão (tipo orifício), medidores eletrônicos de vazão mássica e rotâmetros, denominados genericamente de indicadores de vazão, necessitam ser previamente calibrados contra vazões conhecidas.

A calibração do dispositivo indicador de vazão do AGV se faz necessária a fim de estabelecer a rastreabilidade da medição em campo a um padrão primário oficial, via calibrador padrão secundário de vazão.

Portanto, o objetivo da calibração do Amostrador de Grande Volume é obter uma correlação entre a indicação dada pela deflexão da pena do registrador contínuo de vazão e a vazão real de ar que passa através do amostrador, a qual é medida através do calibrador padrão de vazão, conforme ilustrado na figura 4.15.

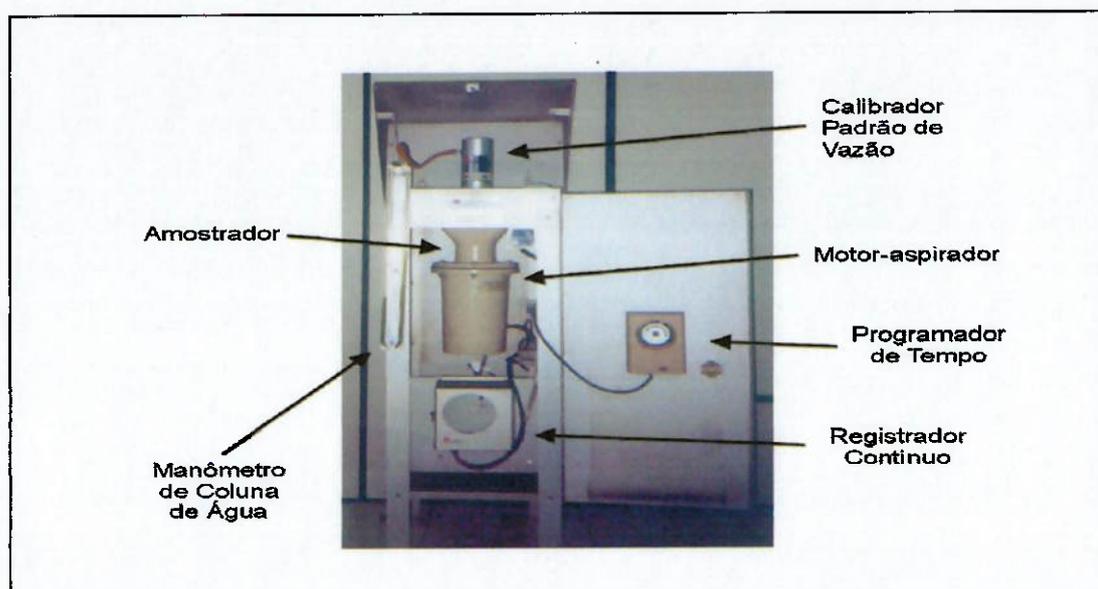


Fig. 4.15 - Calibrador padrão de vazão acoplado ao AGV.

(Fonte: Dias, 1995 modificado)

O procedimento de calibração descrito a seguir foi compilado de Almeida (1999) e aplica-se a um dispositivo indicador de vazão tipo orifício (registrador contínuo de vazão com carta de escala linear) instalado no amostrador.

1. Utilizar o formulário de calibração/AGV para registro dos dados de certificação (Figura 4.16).
2. Conectar o CPV (do tipo orifício) à entrada do amostrador. Conectar o manômetro de coluna à tomada de pressão do calibrador. Certificar-se de que não há vazamentos entre o CPV e o amostrador.

3. Deixar o amostrador funcionando por 5 min. a fim de estabelecer o equilíbrio térmico antes da calibração.
4. Obter a temperatura ambiente (T_2) e a pressão barométrica (P_2) durante a calibração. Anotar no formulário de calibração.
5. Inserir a placa de orifício apropriada (placas de n° de furos em ordem decrescente).
6. Deixar o amostrador funcionando por pelo menos 2 min. para restabelecer as condições térmicas de funcionamento. Ler a pressão diferencial (ΔH) no manômetro e o valor da deflexão da pena (D) indicado no registrador contínuo de vazão. Anotar no formulário de calibração.
7. Repetir os passos 5 e 6 quanto às outras quatro placas (mais quatro vazões constantes diferentes), uniformemente espaçadas na faixa aproximada de 1,0 m³/min. a 1,8 m³/min., nas condições padrão.
8. Com os valores de ΔH e D , anotar no formulário para as cinco placas, calcular a expressão (1) para cada placa e anotar no formulário de calibração.

$$\sqrt{\Delta H (P_2/T_2)(T_P/P_P)} \quad (26)$$

9. Calcular para cada placa a vazão em condições padrão (Q_P), graficamente, a partir da curva de calibração constante no certificado de calibração do calibrador padrão de vazão (CPV) ou calcular a partir da inclinação (a_1) e da interseção (b_1) da reta de calibração do CPV, obtida por regressão linear. Anotar no formulário de calibração.

$$Q_P = 1/a_1 [\sqrt{\Delta H(P_2/T_2)(T_P/P_P)} - b_1] \quad (27)$$

10. Corrigir para cada placa o valor da deflexão da pena pela expressão abaixo e anotar no formulário de calibração.

$$\sqrt{D (P_2/T_2)(T_P/P_P)} \quad (28)$$

11. Traçar a curva de calibração do AGV, plotando-se valores de $\sqrt{D (P_2/T_2)(T_P/P_P)}$ versus valores de Q_P , ou calcular pela técnica dos mínimos quadrados (regressão

linear) a inclinação (a_2), a interseção (b_2) e o coeficiente de correlação (r_2) da curva de calibração.

$$\sqrt{D (P_2/T_2)(T_p/P_p)} = a_2 Q_p + b_2 \quad (29)$$

onde:

Q_p = vazão na placa de orifício, m^3/h ;

ΔH = pressão diferencial no orifício, mm H_2O ;

D = deflexão da pena;

T_p = 298 K;

P_p = 760 mmHg;

P_2 = pressão barométrica durante a calibração mmHg;

T_2 = temperatura ambiente durante a calibração K;

12. Anotar os valores de a_2 , b_2 e r_2 no formulário de calibração. O gráfico da curva de calibração deve permitir a leitura com aproximação de $0,02 m^3 / min.$ nas condições-padrão;
13. Recalibrar o indicador de vazão após deslocamento do equipamento de um local para outro, após parada para manutenção e conforme exigências dos órgãos oficiais;
14. Utilizar posteriormente nas amostragens os valores de a_2 e b_2 , especificados no formulário de calibração.

| FORMULÁRIO DE AMOSTRAGEM / AGV | | | | | |
|---|----------------------------|---------------------------------------|---|--|-------------------------------|
| Dados da Calibração | | | | | |
| Local: | | | Data: | | |
| T ₂ : | °K | | | T _p | 298 °K |
| P ₂ : | mmH ₂ O | | | P _p | :760 mmHg |
| Instrumentação | | | | | |
| AGV n°: | | Registrador n°: | | CPV n°: | |
| Regressão Linear | | | | | |
| Y = a X + b | | | $\sqrt{D (P_2/T_2)(T_p/P_p)} = a_2 Q_p + b_2$ | | |
| Inclinação da reta (a ₂): | | Interseção da reta (b ₂): | | Coef. de correlação (r ₂): | |
| Leitura da Calibração | | | | | |
| Placa | (ΔH) cmH ₂ O | $\sqrt{\Delta H(P_2/T_2)(T_p/P_p)}$ | (Q _p) m ³ /min. | D | $\sqrt{D (P_2/T_2)(T_p/P_p)}$ |
| 18 | | | | | |
| 13 | | | | | |
| 10 | | | | | |
| 7 | | | | | |
| 5 | | | | | |
| Cálculo da vazão (m ³ /min.) | | | | | |
| Equação para uso nas amostragens | | | | | |
| $Q_p = 1 / a_2 [\sqrt{D (P_3/T_3)(T_p/P_p)} - b_2]$ | | | | | |

Fig. 4.16 - Formulário de calibração para o amostrador de grande volume.
(Fonte: Almeida, 1999 modificado)

4.4 Programa de amostragem de PTS nas proximidades do empreendimento

Definiu-se 01 ponto fixo de coleta para cada área em estudo, localizado um no sentido leste e outro no sentido oeste, tendo obtido suas coordenadas por meio do receptor GPS (GARMIM 2) e plotadas em uma carta na escala 1:7500, na projeção UTM DATUM SAD/69. A escolha dos pontos de amostragens decorreram em função da localização de residências de reclamantes e de ventos preferenciais do sentido leste para o oeste. A localização exata de cada ponto de amostragem é representada no Mapa de fontes de poluição do município de Criciúma (1995) do anexo A.

4.4.1 Sentido leste da fonte de emissão

No sentido leste definiu-se 01 ponto fixo de coleta, localizado em uma residência no município de Içara, considerada zona predominantemente industrial. A comunidade do bairro reclama da “fumaça” e da “poeira” lançada pela chaminé.

a - Período, frequência e duração da amostragem

O programa de amostragem foi subdividido em 2 séries de amostragem. Essas séries foram realizadas em 2 etapas e ocorreram ao longo de um período de 2 anos.

Na primeira etapa, tabela 5.3, o período de amostragem ocorreu no mês de julho de 1998. O intervalo de tempo entre as coletas foi de aproximadamente 7 dias.

Na segunda etapa, tabela 5.4, o período de amostragem ocorreu entre os meses de maio e julho de 1999, tendo sido nestas mesmas datas realizadas amostragens na fonte de emissão (chaminé).

A duração da amostragem de PTS em cada ponto de coleta foi de $24 \text{ h} \pm 1 \text{ h}$.

b - Quantidade de amostras coletadas

Das 8 amostras programadas foi possível a coleta de 06 amostras, consideradas válidas. Duas amostras foram invalidadas por não terem atendido ao período de amostragem de $24 \text{ h} \pm 1 \text{ h}$. As invalidações ocorreram em função de problemas operacionais.

4.4.2 Sentido oeste da fonte de emissão

No sentido oeste definiu-se um ponto fixo de coleta, localizado em uma

residência, no município de Criciúma, considerada zona mista. A comunidade próxima ao ponto de coleta não reclama da poluição do ar devido à maior dispersão da pluma de poluentes e das condições geográficas da área, que apresenta uma declividade no sentido oeste.

a – Período, frequência e duração de amostragem

O programa de amostragem foi subdividido em 2 séries de amostragem. Essas séries foram realizadas em 2 etapas e ocorreram ao longo de um período de 2 anos.

Na primeira e segunda etapa as coletas foram realizadas em paralelo com as etapas do ponto no sentido leste, nas mesmas condições e critérios estabelecidos no programa de amostragem.

b – Quantidade de amostras coletadas

Das 8 amostras programadas foi possível a coleta de 6 amostras, consideradas válidas. Duas amostras foram invalidadas por não terem atendido ao período de amostragem de $24h \pm 1 h$. As invalidações se deram em função de problemas operacionais, ocorrido também no ponto leste.

4.5 Análise dos resultados

Após aos experimentos de campo e da realização dos ensaios em laboratório, foram realizados estudos que objetivaram:

1. verificar se as taxas de emissão de MP emitidos pela chaminé se enquadram nos padrões regulamentados pelo CONAMA, conforme Resolução nº 08/90;
2. caracterizar quantitativamente a composição química e a distribuição granulométrica do material particulado emitido pela chaminé;

3. verificar se as concentrações de PTS medidos no ar ambiente se enquadram nos padrões de qualidade do ar regulamentados pelo CONAMA, conforme Resolução nº 03/90;
4. caracterizar quantitativamente a presença de elementos químicos nas PTS coletadas no ar ambiente em três pontos, sendo que dois pontos estão localizados próximos à fonte de emissão e um outro ponto distante da referida fonte.

4.5.1 Concentração de material particulado

Para se obter a taxa de emissão de MP lançado pela chaminé é necessário a determinação da massa de MP coletado, da vazão do fluxo gasoso e do volume do gás coletado. A massa de MP retida no filtro foi calculada pela diferença entre as pesagens do filtro antes e após a coleta, usando-se a técnica da gravimetria.

As taxas de emissão de MP lançado pela chaminé são comparadas ao padrão de emissão segundo a Resolução CONAMA nº 08/90, que estabelece os limites máximos de emissão de poluentes no ar para processo de combustão externa em fontes fixas de poluição.

4.5.2 Caracterização físico-química do material particulado

a – Análise física

Para a realização da análise física do MP coletado na chaminé contou-se com os serviços do Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais – LDCM, do Centro de Tecnologia em Cerâmica.

Para a determinação da distribuição granulométrica do MP utilizou-se um analisador de tamanho de partícula, Cilas 1064 L, com intervalo de medida de 0,04 – 500 μm , e como técnica de medição, difração a laser.

A amostra foi dispersada em um meio suspensor (água), passando através de um raio laser monocromático. A luz é difratada em ângulos diferentes pelas partículas e medidas por um detector de silício, sendo determinado a distribuição do tamanho da partícula do padrão de difração da amostra. A resolução é obtida com um sistema seqüenciado de 2 feixes de laser, os quais geram um padrão de difração.

No total analisaram-se 4 amostras de MP, conforme relatório de ensaio nº 466E121, 0230E073, 0230E74, 0230E75 do anexo G, com suas respectivas datas de coleta.

As amostras foram coletadas nos períodos das amostragens, tendo sido acumulada uma quantidade de 15 a 20 gramas de amostra de cada série, com tempo de coleta de 48 minutos. Considerou-se representativa as amostras em função da quantidade e do tempo de coleta, suficiente para os ensaios físicos.

b– Análise química

As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Absorção Atômica do IPAT/UNESC.

Os elementos químicos foram identificados e quantificados por meio da técnica de espectrofotometria de absorção atômica por chama, tendo sido utilizado a metodologia conforme o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Clesceri, Greenberg & Eaton, 1998).

Esta técnica baseia-se no princípio de que todos os átomos podem absorver radiação. O comprimento de onda da radiação absorvida é específica para cada elemento químico. Se uma amostra contendo zinco e outros elementos, por exemplo, alumínio e chumbo, é exposta ao comprimento de onda do zinco, então somente os átomos deste absorverão esta radiação.

Segundo a lei de Beer, a quantidade de radiação absorvida é proporcional a concentração de átomos que estão absorvendo, presente na amostra.

As análises químicas quantitativas envolveram um conjunto de operações realizadas em laboratório, tais como:

- converter a amostra em solução;
- preparo de um branco analítico, solução similar a amostra em todos os seus constituintes, que não contém o elemento a ser analisado;
- preparo de soluções de calibração (padrões) contendo quantidades exatas do elemento que se deseja analisar;
- aspirar/atomizar a solução branco analítica e as soluções padrões, medindo a resposta para cada solução;
- fazer um gráfico de calibração (curva padrão) para cada elemento que se deseja analisar;
- aspirar/atomizar a solução da amostra;
- na curva padrão obtida, entrar com o resultado da amostra, obtendo a concentração do elemento químico desejado.

As amostras foram coletadas no período de maio a julho de 1999, tendo sido obtida uma quantidade de 15 a 20 gramas de amostra consideradas representativas e suficiente para as análises químicas. Os resultados serão apresentados posteriormente, em tabelas.

4.5.3 Concentração de partículas totais em suspensão no ar ambiente

Para se obter a concentração de PTS é necessário que se determine a massa do MPS coletado, da vazão média e do volume do ar amostrado. A massa de MPS retida no filtro foi calculada pela diferença entre as pesagens do filtro antes e após a coleta, usando a técnica gravimétrica.

Os níveis de concentração de PTS no ar ambiente foram comparados aos padrões de qualidade do ar, conforme a Resolução CONAMA nº 03/90, que estabelece padrões nacionais de qualidade do ar específicos para o material particulado em suspensão. Tanto para períodos curtos de exposição (médias de 24 h) como para períodos longos (médias anuais). No caso do trabalho em estudo não foi possível obter uma média anual, pois deteve-se a períodos curtos de exposição do poluente denominado PTS.

4.5.4 Caracterização química das partículas totais em suspensão

Para a caracterização química das amostras empregaram-se técnicas de espectrofotometria por chama, tendo sido utilizado o aparelho Espectrofotômetro de Absorção Atômica (AAS4 Carl Zeiss).

Após a coleta, os filtros de fibra de vidro foram devidamente preparados para as análises químicas quantitativas. O procedimento experimental foi desenvolvido com base no método modificado por Fiedler e Solari apud Sánchez, J.C.D. et al. (1995). As amostras das PTS foram coletadas no período de maio a julho de 1999, em Criciúma e Içara – SC. As 6 amostras coletadas foram pesadas e colocadas separadamente dentro de um balão de 500 ml, onde foram posteriormente adicionados 100 ml de ácido clorídrico (HCl), 30 ml de ácido nítrico (HNO₃) e 20 ml de peróxido de hidrogênio 30 % (H₂O₂), acoplando-se a um digestor tipo Kjeldhal. A digestão foi feita a uma temperatura de aproximadamente 150 °C até a completa digestão das amostras. Após a digestão, deixou-se atingir a temperatura ambiente e filtrou-se para um balão de 100 ml, completando com água deionizada.

Para a preparação do “branco matriz” utilizou-se um filtro de fibra de vidro sem uso, seguindo o mesmo tratamento para a digestão das amostras e para a determinação da concentração (leitura) dos elementos químicos, descontando-se das amostras em estudo. Os resultados serão apresentados posteriormente em tabelas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Concentração de Material Particulado (MP)

Determinou-se as concentrações de 16 amostras de MP, coletadas durante 6 séries de amostragem na chaminé da saída do filtro de mangas.

A Tabela 5.1 são apresentadas as concentrações de MP, conforme relatório de ensaio do anexo D, e as taxas de emissão (por milhão de quilocalorias) produzidas pelo óleo combustível utilizado nos fornos de fusão.

As quantidades máximas permitidas de emissão, dependem da área de classe de localização e da potência nominal total dos fornos em operação. Levando-se em conta que a empresa está situada em uma área de Classe II e considerando que os fornos possuem uma potência nominal total inferior a 70 MW, as quantidades máximas permitidas de emissão são de 350 gramas por milhão de quilocalorias (para óleo combustível).

Tabela 5.1 – Concentração de MP na saída da chaminé após filtro de mangas

| Código | Relatório nº | Concentração (mg/Nm ³) | Taxa de emissão (gramas/hora) | Energia produzida (Kcal/h) | Taxa de emissão (g/1.000.000 Kcal) |
|--------|--------------|------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| AM01 | AM 04/95 | 38,92 | 560,0 | 1.663.092 | 336,70 |
| AM02 | Série nº 1 | 29,56 | 436,0 | 1.663.092 | 262,10 |
| AM03 | | 26,41 | 379,0 | 1.663.092 | 227,80 |
| AM04 | | AM 02/99 | 28,85 | 446,4 | 2.140.992 |
| AM05 | Série nº 2 | 31,03 | 656,6 | 2.676.240 | 245,30 |
| AM06 | | 32,31 | 623,3 | 2.676.240 | 232,90 |
| AM07 | AM 05/00 | 490,23 | 10.890,0 | 2.676.240 | 4.069,10 |
| AM08 | Série nº 3 | 445,02 | 9.820,0 | 2.676.240 | 3.669,30 |
| AM09 | AM 06/00 | 245,52 | 4.040,0 | 3.746.736 | 1.078,20 |
| AM10 | Série nº 4 | 247,65 | 3.700,0 | 3.746.736 | 987,50 |
| AM11 | AM 07/00 | 89,03 | 1.700,0 | 3.211.488 | 529,30 |
| AM12 | Série nº 5 | 81,63 | 1.530,0 | 3.211.488 | 476,40 |
| AM13 | | 87,55 | 1.640,0 | 3.211.488 | 510,60 |
| AM14 | AM 08/00 | 53,33 | 988,5 | 3.211.488 | 310,91 |
| AM15 | Série nº 6 | 47,46 | 891,9 | 3.211.488 | 277,72 |
| AM16 | | 53,57 | 1.010,0 | 3.211.488 | 314,49 |

5.1.1 Estimativa da energia produzida para a determinação da taxa de emissão

Tendo-se como base o que foi exposto no item 5.1 e em função da quantidade de combustível queimado em cada forno e do poder calorífico médio do óleo petroquímico (raro1B) utilizado, a energia produzida é de no máximo 3.746.736 Kcal/h para 7 fornos em operação, conforme memorial de cálculo do anexo E.

Na Figura 5.1 são apresentadas as situações obtidas nas amostragens, observando que as taxas de emissão de MP comparado ao padrão de emissão são excedidos em 43,75% das amostras.

As amostras AM 07 à AM 13 apresentaram valores acima do limite, constatando-se o comprometimento das mangas danificadas pelos gases sulfurosos provenientes da queima do óleo, da temperatura e do atrito com o suporte das mangas. Observa-se que na AM 07 houve uma maior taxa de emissão proveniente da baixa eficiência do filtro, provocada por falta de manutenção. A medida que foram substituindo as mangas, a taxa de emissão foi reduzindo para o limite máximo permitido pela Legislação Ambiental.

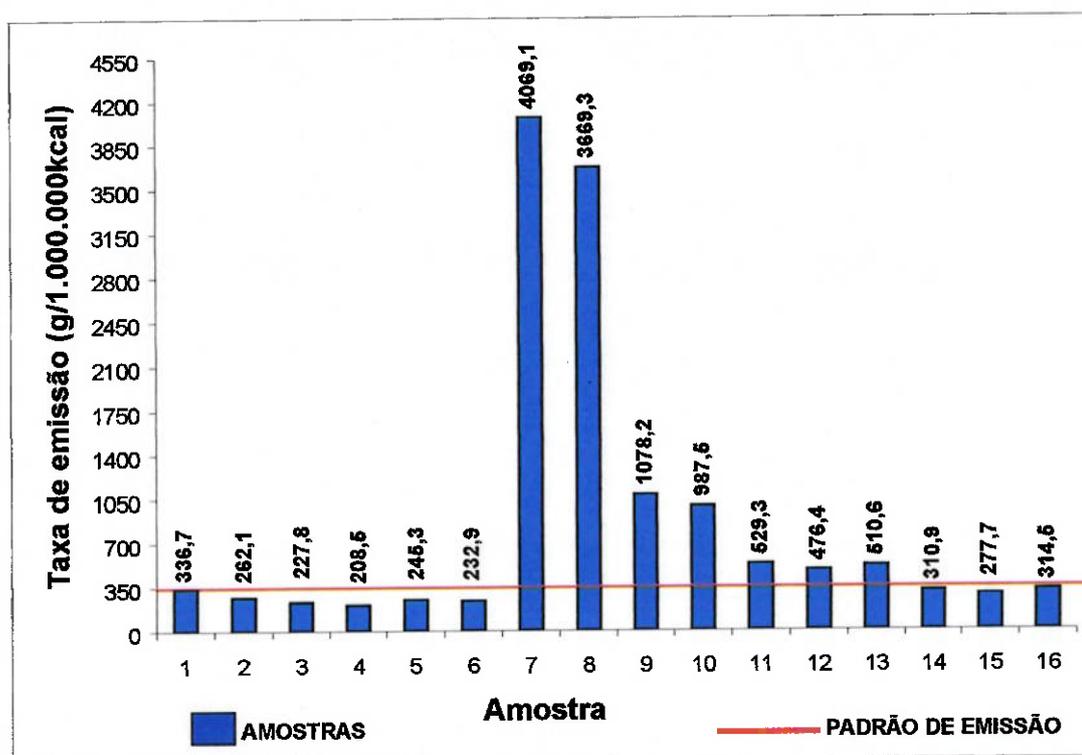


Fig. 5.1 – Comparação das taxas de emissão de MP com o padrão de emissão

5.1.2 Distribuição granulométrica

Na distribuição granulométrica do material particulado coletado na chaminé, foram consideradas três faixas de tamanho de partículas para análise. As definições para o tamanho de partículas são dadas pela International Organization for Standardization (ISO) 1991 apud Almeida (1999), que apresentam os diversos termos relacionados ao material particulado em suspensão, quanto aos efeitos adversos sobre o bem estar da população, provocada por essas partículas em certas faixas de tamanho.

São consideradas para este trabalho as seguintes faixas de tamanho:

- Partículas Totais em Suspensão (PTS), considerando as partículas $< 100 \mu\text{m}$;
- Partículas Inaláveis (PI), considerando as partículas $< 10,0 \mu\text{m}$;
- Partículas Respiráveis ($\text{PM}_{2,5}$), considerando as partículas $< 2,5 \mu\text{m}$.

A série nº 2 (média das amostras AM04, AM05 e AM06) apresentou os seguintes valores, conforme relatório de ensaio 466E213 do anexo G: 13,45 % das partículas abaixo $2,5 \mu\text{m}$, 48,09 % abaixo de $10,0 \mu\text{m}$ e 100 % abaixo de $100 \mu\text{m}$, apresentando um tamanho médio de partículas de $10,44 \mu\text{m}$.

A série nº 3 (média das amostras AM07 e AM08) apresentou os seguintes valores, conforme relatório de ensaio 0230E209 do anexo G: 14,48 % das partículas abaixo $2,5 \mu\text{m}$, 60,54 % abaixo de $10,0 \mu\text{m}$ e 100 % abaixo de $100 \mu\text{m}$, apresentando tamanho médio de partículas de $8,30 \mu\text{m}$.

A série nº 4 (média das amostras AM09 AM10) apresentou os seguintes valores, conforme relatório de ensaio 0230E210 do anexo G: 20,00% das partículas abaixo $2,5 \mu\text{m}$, 72,64% abaixo de $10,0 \mu\text{m}$ e 100 % abaixo de $100 \mu\text{m}$, apresentando tamanho médio de partículas de $6,44 \mu\text{m}$.

A série nº 5 (média das amostras AM11, AM12 e AM13) apresentou os seguintes valores, conforme relatório de ensaio 230E212 do anexo G: 24,70 % das

partículas abaixo 2,5 μm , 79,01 % abaixo de 10,0 μm e 100 % abaixo de 100 μm , apresentando tamanho médio de partículas de 5,62 μm .

Observa-se que na distribuição granulométrica das 4 séries, a média das amostras do material particulado apresentou os seguintes valores: 18,15 % das partículas do material particulado abaixo de 2,5 μm , 65,07 % abaixo de 10 μm e 100 % abaixo de 100 μm , apresentando um percentual maior abaixo de 10 μm , denominadas partículas inaláveis.

Nos relatórios de ensaio em anexo são apresentadas as curvas de distribuição de tamanho de partículas com os percentuais de valores acumulados das 4 séries.

Na série nº 1 e 6 não foi possível a coleta de amostra para determinar a distribuição granulométrica, pois na época das medições o objetivo foi apenas a determinação da taxa de emissão de MP na chaminé.

5.1.3 Análise química quantitativa do Material Particulado (MP)

As amostras de MP coletadas na chaminé foram submetidas a uma caracterização química quantitativa, conforme relatório de ensaio do anexo F, cujos resultados são apresentados a seguir na forma de tabela.

Tabela 5.2 – Resultados das análises químicas do MP coletado na chaminé.

| Composto | Composição em massa (%) |
|--------------------------------|-------------------------|
| Na ₂ O | 13,53 |
| K ₂ O | 8,41 |
| ZnO | 5,83 |
| CaO | 2,52 |
| Al ₂ O ₃ | 1,98 |
| MgO | 1,00 |
| PbO | 1,00 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,45 |

Na Tabela 5.2 são apresentados os resultados das análises dos compostos em forma de óxidos, obtidas por meio da técnica de espectrofotometria de absorção atômica por chama. As amostras analisadas referem-se à média das amostras AM04, AM05, AM06 da série nº 2. O objetivo da caracterização química desta série foi o de comparar a composição química do MP coletado na chaminé com às PTS coletadas em dois pontos localizados nas proximidades da fonte de emissão e em um outro ponto distante da referida fonte, considerado ponto neutro.

A escolha para a identificação dos elementos químicos deu-se em função da composição química do vidro (frita) e das matérias-primas utilizadas no processo de fabricação.

5.2 Concentração de Partículas Totais em Suspensão (PTS)

Foram determinadas as concentrações de 12 amostras de PTS, no ar ambiente, coletadas durante 02 séries de amostragem localizadas em dois pontos nas proximidades da fonte de emissão.

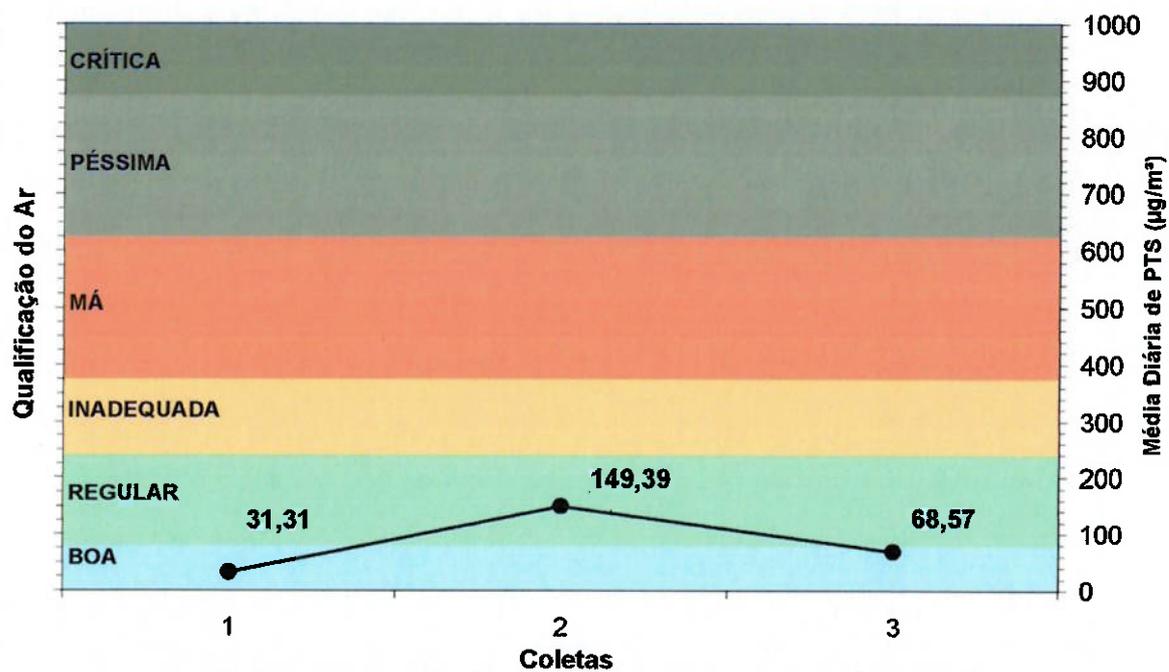
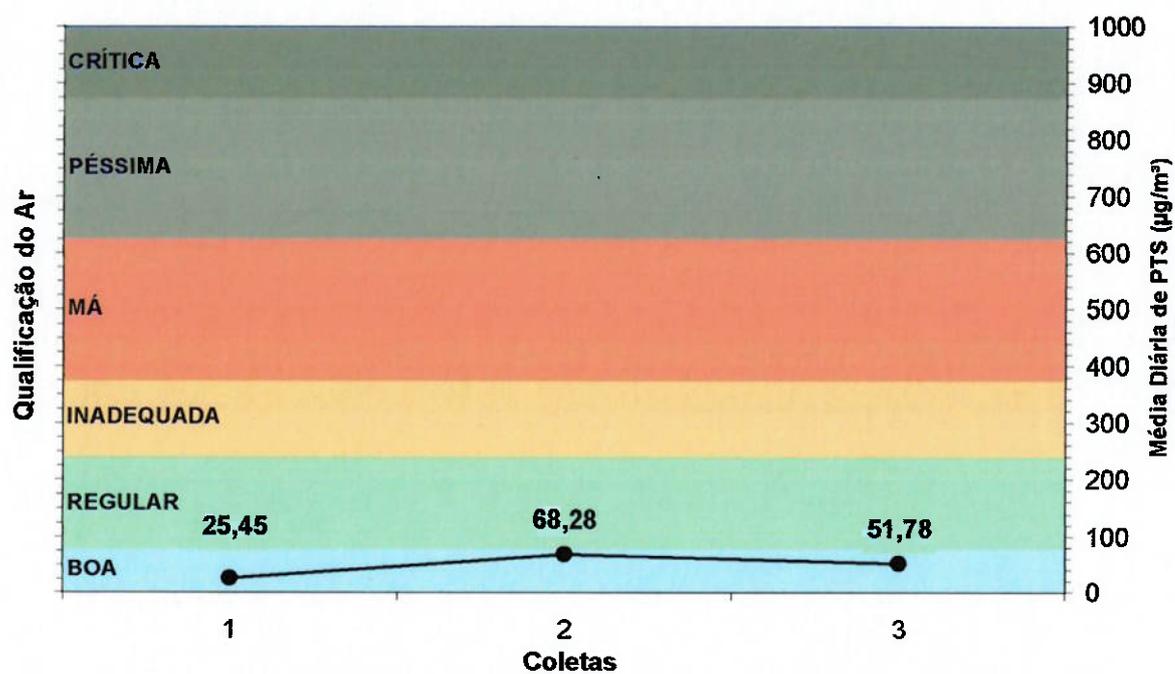
Na Tabela 5.3 são apresentadas as concentrações de PTS e os dados meteorológicos obtidos na primeira série de amostragem, conforme relatórios de ensaio do anexo H.

Tabela 5.3 – Concentração de PTS na 1ª série.

| Dados Meteorológicos (média das 24 h.) | | Coleta 01 07 à 08/07/98 | Coleta 02 13 à 14/07/98 | Coleta 03 15 à 16/07/98 |
|--|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Condições do tempo | | chuvoso | bom | bom |
| Direção do vento (quadrante) | | norte/sul | norte | sul |
| Velocidade do vento (m/s) | | 0,8 | 1,2 | 1,5 |
| Umidade relativa (%) | | 90 | 60 | 80 |
| Temperatura média (°C) | | 19 | 16 | 15 |
| Pressão atmosférica (mmHg) | | 761 | 762 | 762 |
| PTS (µg/m ³) | A leste da fonte de emissão | 25,45 | 68,28 | 51,78 |
| | A oeste da fonte de emissão | 31,31 | 149,39 | 68,57 |

Na Figura 5.2 são apresentadas as concentrações de PTS com as respectivas faixas de concentração dos padrões de qualidade do ar, relacionando com a qualificação e avaliando-se a qualidade do ar ambiente. Observou-se que em relação às concentrações de PTS todas as amostras permaneceram abaixo do padrão primário diário de $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sendo considerado para este trabalho, períodos curtos de exposição. Quanto a qualificação do ar nas 6 coletas, observou-se que foram atendidos os padrões de qualidade do ar utilizados pela CETESB.

Fig. 5.2 - Resultados de PTS (1ª Série) com as faixas de concentração dos padrões de qualidade do ar relacionados com a qualificação.



Na Tabela 5.4 são apresentadas as concentrações de PTS e os dados meteorológicos obtidos na segunda série de amostragem, conforme relatórios de ensaio do anexo H.

Tabela 5.4 – Concentração de PTS na 2ª série.

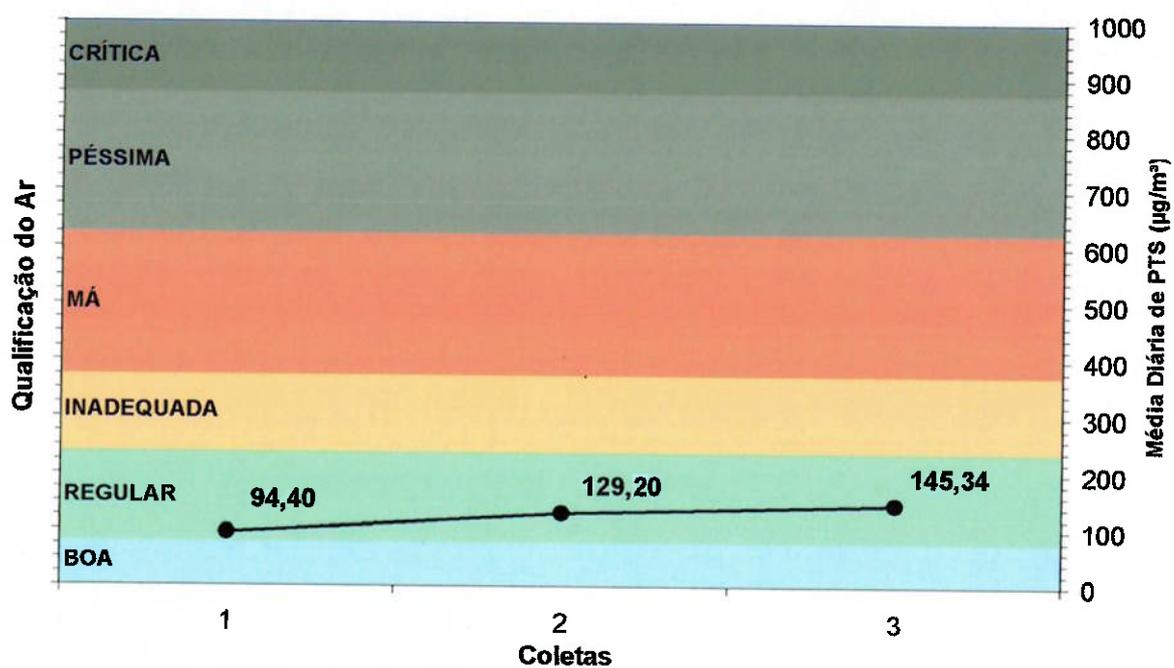
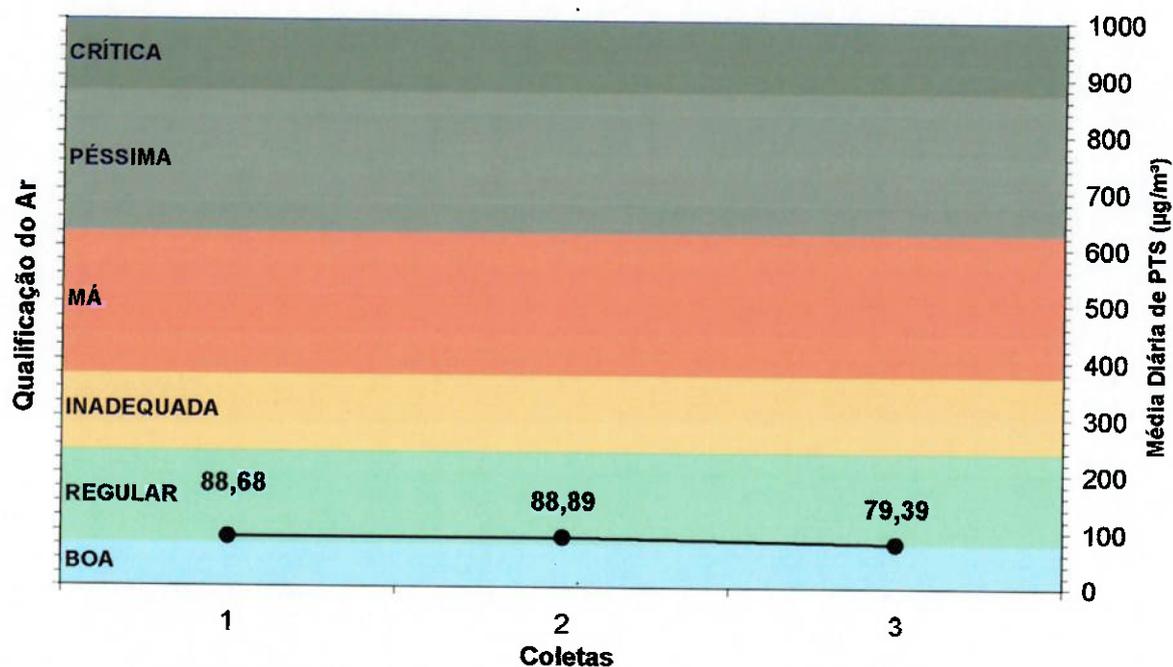
| Dados Meteorológicos (média das 24 h.) | | Coleta 01 27 à 28/05/99 | Coleta 02 14 à 15/06/99 | Coleta 03 13 à 14/07/99 |
|--|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Condições do tempo | | bom | nublado | bom |
| Direção do vento (quadrante) | | Sul | norte | norte |
| Velocidade do vento (m/s) | | 3,30 | 1,80 | 2,70 |
| Umidade relativa (%) | | 61 | 46 | 56 |
| Temperatura média (°C) | | 17 | 15 | 20 |
| Pressão atmosférica (mmHg) | | 763 | 765 | 764 |
| PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | A leste da fonte de emissão | 88,68 | 88,89 | 79,39 |
| | A oeste da fonte de emissão | 94,40 | 129,20 | 145,34 |

Na Figura 5.3 são apresentadas as concentrações de PTS com as respectivas faixas de concentração dos padrões de qualidade do ar, relacionando com a qualificação e avaliando-se a qualidade do ar ambiente. Observa-se também que em relação às concentrações de PTS, todas as amostras permaneceram abaixo do padrão primário diário de $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sendo considerado para este trabalho, períodos curtos de exposição. Quanto a qualificação do ar nas 6 coletas, observou-se que foram atendidos os padrões de qualidade do ar utilizados pela CETESB.

5.2.1 Análise química quantitativa das Partículas Totais em Suspensão (PTS)

Analisaram-se 6 amostras de PTS da 2ª série, sendo 3 amostras localizadas no sentido leste (PL 01, PL 03 e PL 05) e 3 amostras localizadas no sentido oeste (PO 02, PO 04 e PO 06) da fonte de emissão, com o objetivo de compará-las às análises do MP (AM 04, 05 e 06) coletado na chaminé no mesmo período das amostragens no ar ambiente.

Fig. 5.3 - Resultados de PTS (2ª Série) com as faixas de concentração dos padrões de qualidade do ar relacionados com a qualificação.



Na Tabela 5.5 são apresentados os resultados das análises obtidos por meio da técnica de espectrofotometria de absorção atômica por chama, conforme relatórios de ensaio do anexo I.

Na 1ª série de amostragem de PTS não foi realizado a caracterização química, pois na época das medições o objetivo foi somente a determinação da concentração das PTS coletadas no ar ambiente.

Tabela 5.5 – Resultados das análises químicas das PTS coletadas no ar ambiente nas proximidades da fonte de emissão.

| Composto (%) | PL 01 | PO 02 | PL 03 | PO 04 | PL 05 | PO 06 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Na ₂ O | 26,65 | 16,16 | 9,41 | 26,61 | 12,05 | 25,01 |
| K ₂ O | 9,41 | 4,82 | 3,10 | 8,80 | 3,86 | 7,82 |
| ZnO | 7,67 | 5,10 | 2,47 | 8,02 | 5,93 | 7,02 |
| CaO | 5,75 | 4,13 | 3,71 | 5,95 | 4,33 | 6,62 |
| Al ₂ O ₃ | 20,47 | 14,39 | 10,48 | 19,97 | 7,60 | 17,22 |
| MgO | 1,24 | 1,06 | 0,99 | 1,59 | 1,02 | 1,31 |
| PbO | 0,29 | 0,05 | 0,11 | 0,14 | 0,14 | 0,12 |
| Fe ₂ O ₃ | 3,23 | 4,06 | 3,35 | 3,65 | 3,06 | 3,83 |

Observa-se que em relação à caracterização química das PTS e do MP, as concentrações dos compostos em estudo nas PTS permaneceram na maioria superiores às do MP, evidenciando a influência e a contribuição de outras fontes de emissão, nas proximidades do empreendimento.

5.3 Análise química das PTS no ponto neutro

Analisaram-se 3 amostras de PTS coletadas no mesmo período, mas em uma localização, CEIC, bairro Boa Vista, distante da fonte de emissão em estudo, sendo considerado como ponto neutro.

O objetivo foi o de avaliar a influência e contribuição de outras fontes de poluição tais como: partículas em suspensão provenientes das atividades de mineração de carvão mineral e da emissão de partículas provenientes da combustão de veículos automotores que trafegam nas rodovias de acesso aos municípios vizinhos. Estas seriam as duas principais causas que teriam influenciado a presença dos elementos químicos em estudo.

Na Tabela 5.6 são apresentados os resultados das análises químicas, conforme relatórios de ensaio do anexo J, referentes às 3 amostras coletadas no ponto neutro. As coletas foram realizadas no mesmo período das amostragens de MP (AM04, AM05 e AM06) coletados na chaminé e das PTS (2ª série) coletadas no ar ambiente, próximos a fonte de emissão (chaminé).

Tabela 5.6 – Resultados das análises químicas das PTS coletadas no ar ambiente em um ponto neutro distante da fonte de emissão.

| Composto (%) | PN 01 | PN 02 | PN 03 |
|--------------------------------|-------|---------|-------|
| Na ₂ O | 13,25 | 4,27 | 6,74 |
| K ₂ O | 3,22 | 0,59 | 1,12 |
| ZnO | 2,49 | < 0,001 | 0,46 |
| CaO | 1,64 | 1,02 | 1,82 |
| Al ₂ O ₃ | 6,87 | 4,57 | 1,68 |
| MgO | 3,10 | 1,92 | 2,70 |
| PbO | 0,42 | 0,02 | 0,01 |
| Fe ₂ O ₃ | 3,67 | 3,79 | 4,10 |

Com relação aos resultados analíticos das PTS (ponto neutro), constatou-se a presença de todos os elementos químicos encontrados no MP (chaminé) e nas PTS (ar ambiente) nas áreas em estudo, comprovando a influência e contribuição de outras fontes de emissão.

5.4 Resumo dos resultados

Na Figura 5.4 são apresentadas as médias dos resultados da caracterização química das amostras referentes aos pontos de coleta. Os resultados estão representados em forma de curvas com a variação da composição dos compostos em estudo.

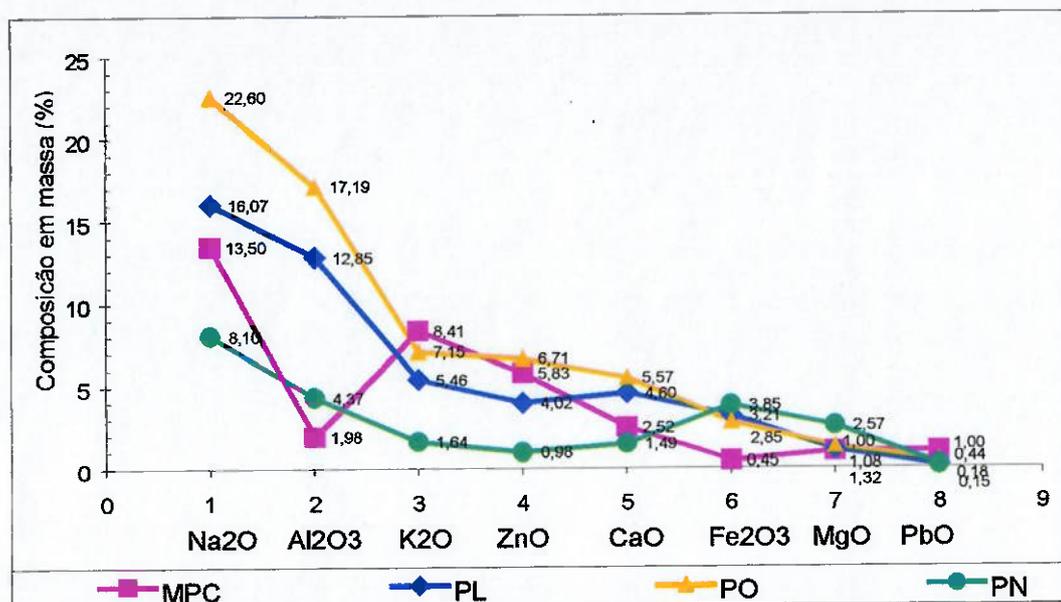


Fig. 5.4 – Médias dos resultados das análises químicas dos pontos de coleta.

Tabela 5.7 – Descrição dos pontos de coleta referente as médias dos resultados

| | |
|-----|--|
| MPC | Material particulado coletado na chaminé (fonte de emissão) |
| PL | PTS coletado a leste da fonte de emissão |
| PO | PTS coletado a oeste da fonte de emissão |
| PN | PTS coletado no ponto neutro localizado distante da fonte de emissão |

6. CONCLUSÕES

6.1 Emissões de MP

Os resultados apresentados mostram que em relação às emissões de MP encontradas na saída da chaminé pode-se concluir que:

- para as taxas de emissão, registrou-se um percentual de 43,75 % das amostras acima dos padrões fixados pelo CONAMA. A partir destes dados a empresa implantou programas de ações corretivas para atender aos padrões regulamentados de emissão de MP, que estabelecem 350 g/1.000.000 Kcal;
- as taxas de emissão dependem da quantidade de fornos em operação, da composição dos vidros (fritas) e das condições das mangas do filtro;
- nas amostragens referentes às amostras AM 07 à AM 13, constatou-se uma emissão acima do limite permitido pela Legislação, comprometendo a renovação da Licença Ambiental de Operação (LAO) perante o órgão ambiental estadual (FATMA);
- os resultados das emissões MP fornecem dados que podem ser usados para análise de aspectos econômicos do processo e das operações de controle de poluição. Estas informações podem ser úteis em programas para a redução das emissões.

6.2 Distribuição granulométrica do MP

Com relação à distribuição granulométrica do MP coletado na chaminé, concluiu-se que:

- considerando-se a média das 4 séries (nº 2,3,4 e 5), estas apresentaram os seguintes valores: 18,16% das partículas abaixo de 2,5 μm ; 65,07% das partículas abaixo de 10 μm ; e 100% das partículas abaixo de 100 μm .

6.3 Caracterização química do MP e das PTS

Com relação à caracterização do MP coletado na chaminé e das PTS coletadas no ar ambiente, a conclusão é a seguinte:

- o MP possui em sua composição elementos químicos encontrados nos vidros (fritas) e nos minerais utilizados como matérias-primas para sua fabricação, com exceção do elemento ferro que é um contaminante;
- a composição química do MP oscila em função da referência do vidro (frita) em produção;
- constatou-se que 72,92 % das amostras, as concentrações dos elementos químicos nas PTS permaneceram superiores ao do MP, o que evidencia a influência e a contribuição de outras fontes de emissão. As partículas em suspensão provenientes das atividades industriais de mineração de carvão mineral e do intenso tráfego de veículos automotores nas vias de acesso próximas ao empreendimento seriam as principais causas;
- a composição química das PTS oscilaram em função das emissões atmosféricas da chaminé, de outras fontes estacionárias, do fluxo de veículos e das condições meteorológicas;
- nas PTS do ponto neutro (branco), identificou-se a presença dos elementos químicos encontrados nas PTS próximas à fonte de emissão.

6.4 Ações corretivas sugeridas

- implantação de um programa de manutenção com ação preventiva no sistema de despoejamento do filtro de mangas;
- substituição das mangas do filtro, sendo este período determinado em função dos dados obtidos nas medições de MP coletado na chaminé;
- avaliação do projeto do filtro de mangas quanto a relação da concentração do MP pela área do meio filtrante (mangas);

- realização de testes com outros tipos de mangas, especialmente com aquelas que possuem maior número de fio por centímetro quadrado (gramaturas) e posterior medição para avaliar sua eficiência;
- implantação de um programa de medições para monitorar as emissões de poluentes na atmosfera e sua dispersão nas proximidades do empreendimento.

6.5 Estudos Futuros

Neste trabalho não foi possível abordar todos os assuntos de interesse, mas poderão ser realizados em futuros estudos tais como:

- estudar a validade de uma modelagem matemática para a dispersão dos poluentes da fonte de emissão, para que se possa avaliar a qualidade do ar nas proximidades do empreendimento, decorrentes das taxas de emissão em operação normal e acidental da referida fonte;
- estudo com o objetivo de caracterizar a distribuição granulométrica das PTS no ar ambiente, em frações consideradas inaláveis ($<10 \mu\text{m}$) e respiráveis ($<2,5 \mu\text{m}$).

ANEXOS

Anexo A

**MAPA DE ESPACIALIZAÇÃO DAS FONTES DE EMISSÃO E PONTOS DE
COLETA**

- ① Indústria de Colorfício / Fonte de Emissão
- ② Ponto a Leste da Fonte de Emissão
- ③ Ponto a Oeste da Fonte de Emissão
- ④ Unidade da White Martins (O₂)
- ⑤ Depósito a Céu Aberto de Matérias-Primas
- ⑥ Depósito Coberto
- ⑦ Vulcanização de Pneus
- ⑧ Indústria de Termoplásticos
- ⑨ Indústria de Artefatos de Cimento Amianto

- AMREC - Associação dos Municípios da Região Carbonífera de Santa Catarina
- Criciúma
- Limite Municipal
- Edificações relevantes
- Pontos de Coleta
- Fonte de Emissão
- ZIP - Zona Industrial Predominante
- ZM - Zona Mista
- ZR - Zona Residencial

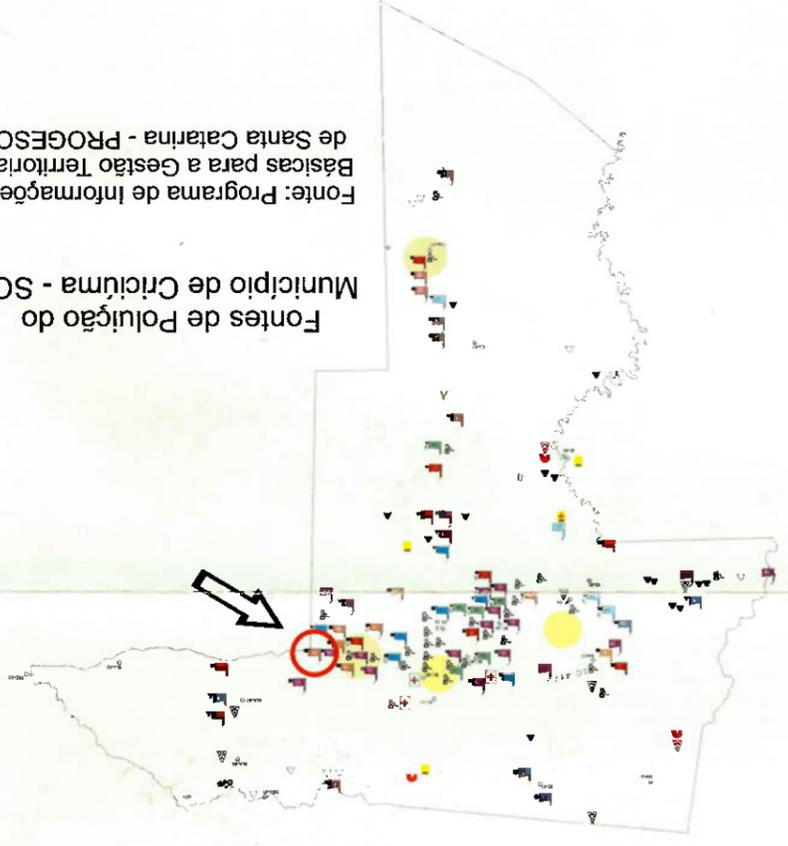
LEGENDA

Fonte: Programa de Informações Básicas para a Gestão Territorial de Santa Catarina - PROGESC



Fontes de Poluição do Município de Criciúma - SC.

Fonte: Programa de Informações Básicas para a Gestão Territorial de Santa Catarina - PROGESC



UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE
INSTITUTO DE PESQUISAS AMBIENTAIS E TECNOLÓGICAS
 CENTRO DE CARTOGRAFIA, GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO

Projeto

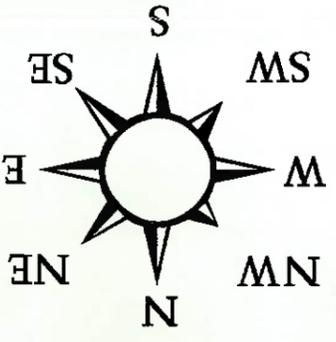
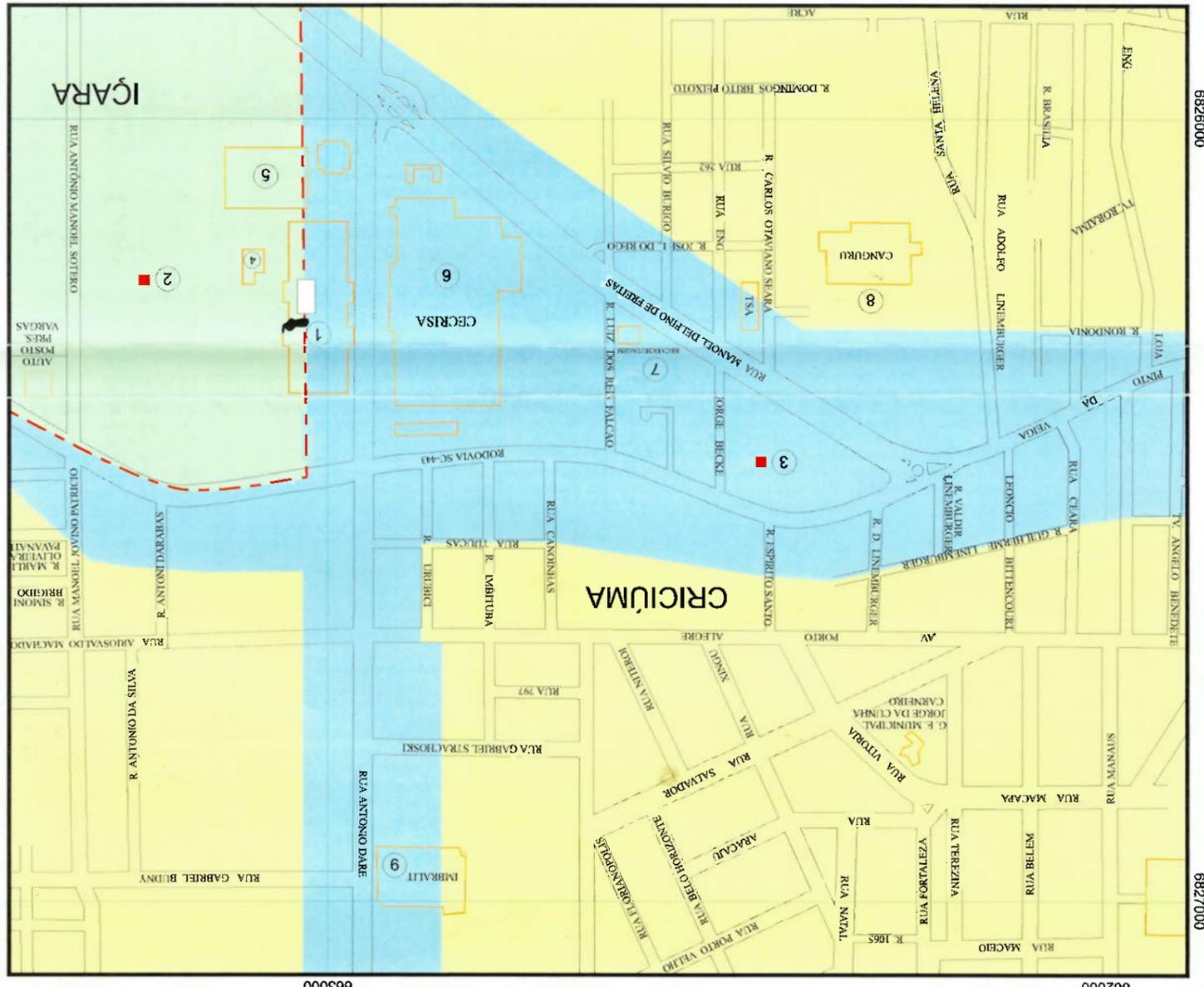
Curso
Mestrado Interinstitucional em Engenharia Mineral
Convênio USP / UNESC

Referência
Espacialização das Fontes de Poluição e Pontos de Coleta

Região
Limite Criciúma / Içara

Escala
1:7.500

Data
Ago / 2000



6627000
6626000

663000

Anexo B

FIGURAS DAS CHAMINÉS E DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM

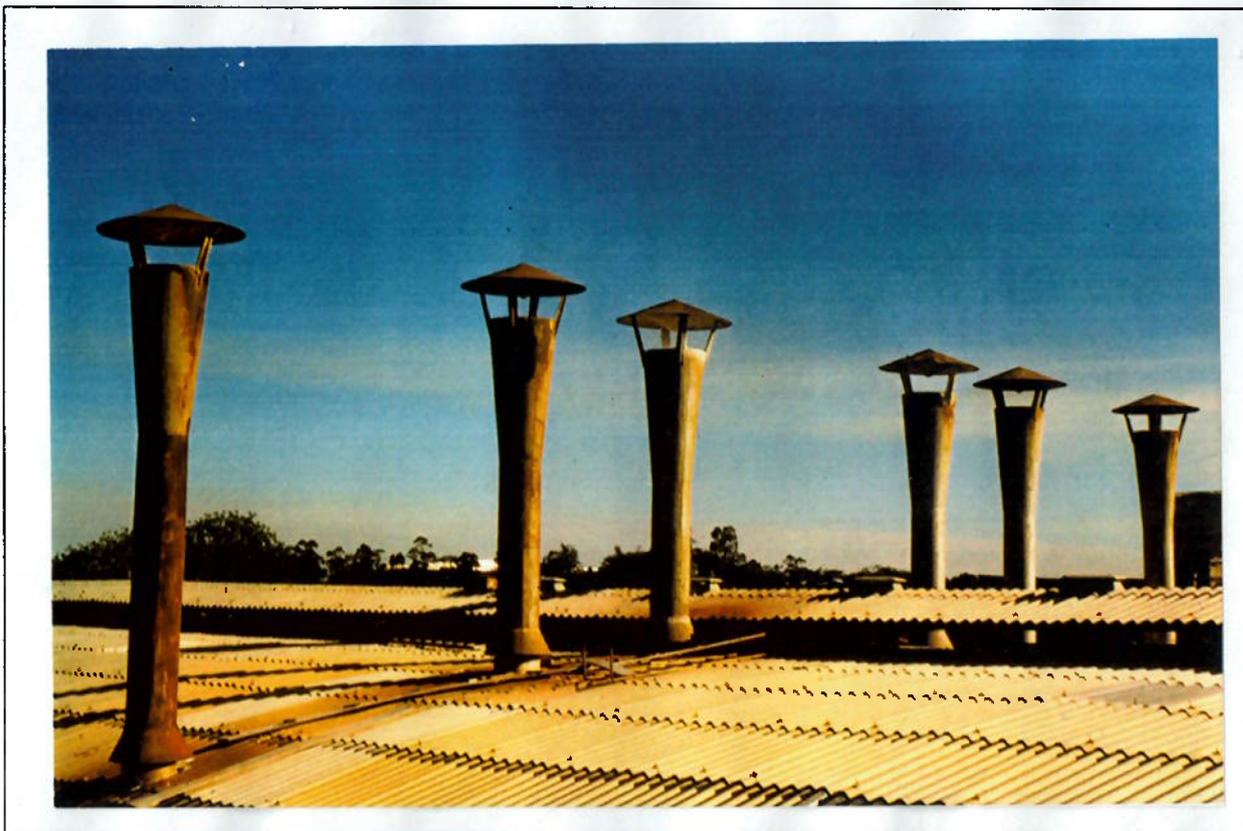


Fig. 2 – Chaminé dos fornos de fusão.

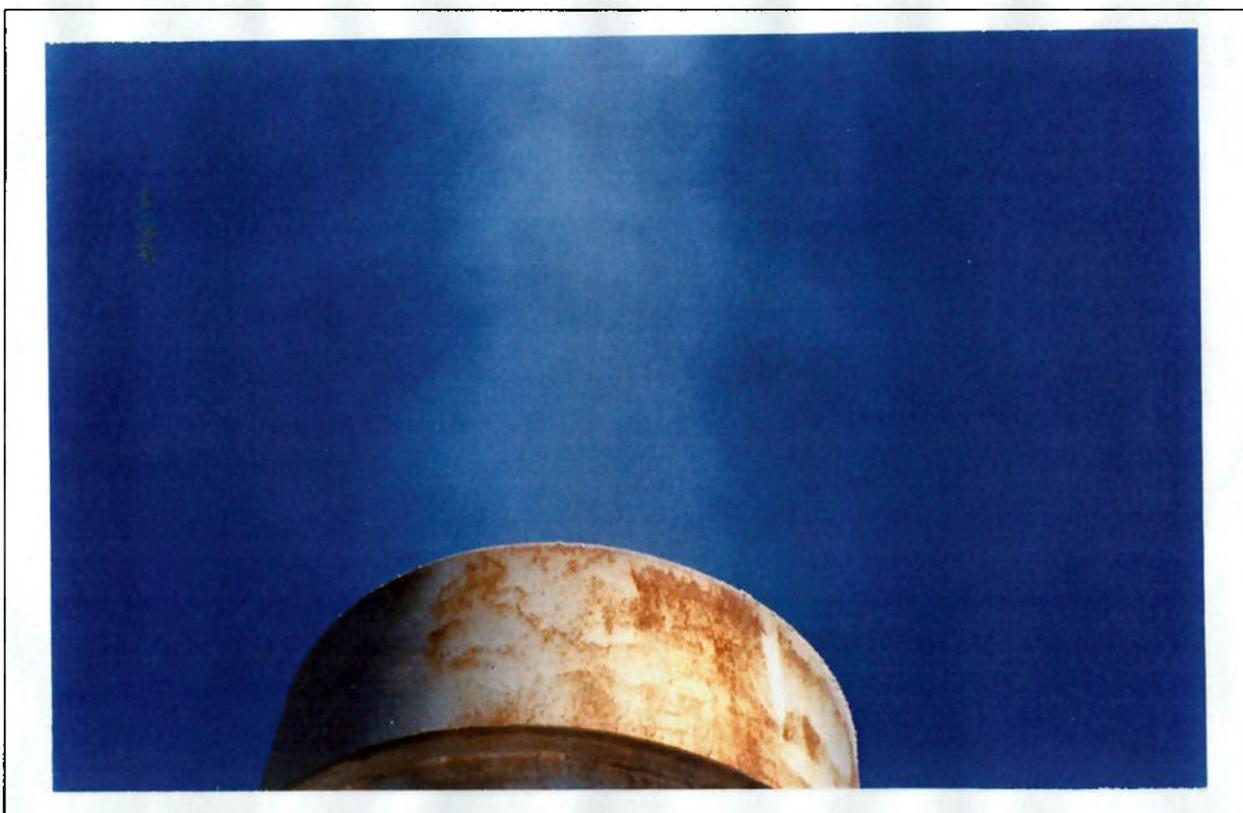


Fig. 3 – Detalhe da chaminé do filtro de mangas.



Fig. 4 – Coletor Isocinético de Poluentes Atmosféricos.



Fig. 5 – Coleta de material particulado na chaminé do filtro de mangas.

Anexo C

**FIGURAS DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM NAS PROXIMIDADES DA
FONTE DE EMISSÃO**



Fig. 6 – Calibração do amostrador de grande volume.



Fig. 7 – Coleta das partículas totais em suspensão no sentido oeste da fonte de emissão – Criciúma/SC.



Fig. 8 – Detalhe das partículas totais em suspensão após a coleta.



Fig. 9 – Coleta das partículas totais em suspensão no sentido leste da fonte de emissão com a fábrica ao fundo – Içara/SC.

Anexo D

RELATÓRIOS DE ENSAIO DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

RELATÓRIO N.º AM 04/95

1. **Empresa:** Colorminas Colorificio e Mineração S.A.
2. **Localização:** Rod. SC 443, Km 01, Getúlio Vargas – Içara – SC.
3. **Objetivo:** Amostragem em chaminé para a determinação da concentração e taxa de emissão de Material Particulado nas emissões atmosféricas provenientes dos fornos, após filtro de mangas.
4. **Processo:** Produção de vidros (fritas).
5. **Combustível:** Óleo Petroquímico Raro 1B – Shell do Brasil S/A.
6. **Consumo médio por forno (Kg/h):** 56.
7. **Fornos em operação:** 01 – 02 – 03.
8. **Referência do vidrado:** IB258 – MPT22 – IB28.
9. **Produção média (Kg/h):** 395 – 375 – 395.
10. **Sumário dos resultados:**

| FONTE DE EMISSÃO | | CHAMINÉ DO FILTRO DE MANGAS | | |
|---|---|-----------------------------|-------------------|-------------------|
| | | AM 01 07/11/95 | AM 02 08/11/95 | AM 03 09/11/95 |
| Resultados Obtidos | | Flange A/B | Flange A/B | Flange A/B |
| Temperatura média do Gás (°C) | | 410,75 | 411,33 | 420,33 |
| Umidade do Gás (% v/v) | | 4,16 | 4,72 | 5,35 |
| Volume medido normal (Nm ³) | | 0,9764 | 1,0149 | 0,9842 |
| Velocidade do Fluxo Gasoso (m/s) | | 8,17 | 8,43 | 8,53 |
| Vazão do Fluxo Gasoso (m ³ /h) | | 22622,60 | 23356,34 | 23651,50 |
| Vazão do Fluxo Gasoso - CNTP (Nm ³ /h) | | 14360,33 | 14763,55 | 14359,62 |
| Isocinética (%) | | 104,0 | 105,0 | 105,0 |
| MP | Massa de Mat. Particulado coletado (mg) | 38,0 | 30,0 | 26 |
| | Concentração de Mat. Particulado(mg/Nm ³) | 38,92 | 29,56 | 26,41 |
| | Taxa de Emissão de Mat. Particulado (kg/h) | 0,560 | 0,436 | 0,379 |



Responsável Técnico
 Engº Químico Marcos Bianchini
 CRQ n.º 13300176



Auxiliar Técnico
 Químico João Otto Schmitz Júnior
 CRQ n.º 13100288

RELATÓRIO N.º AM 02/99

1. **Empresa:** Colorminas Colorificio e Mineração S.A.
2. **Localização:** Rod. SC 443, Km 01, Getúlio Vargas – Içara – SC.
3. **Objetivo:** Amostragem em chaminé para a determinação da concentração e taxa de emissão de Material Particulado nas emissões atmosféricas provenientes dos fornos, após filtro de mangas.
4. **Processo:** Produção de vidros (fritas).
5. **Combustível:** Óleo Petroquímico Raro 1B – Shell do Brasil S/A.
6. **Consumo médio por forno (Kg/L):** 56
7. **Fornos em operação:** 04 – 05 – 06 – 07.
8. **Referência do vidro:** MPT34 – MPB212 – IB276 – IT106.
9. **Produção média (Kg/h):** 409 – 456 – 425 – 647.
10. **Sumário dos resultados:**

| FONTE DE EMISSÃO | | CHAMINÉ DO FILTRO DE MANGAS |
|---|--|-----------------------------------|
| | | AM 04 27/05/99 |
| Resultados Obtidos | | Flange A/B |
| Temperatura média do Gás (°C) | | 128,70 |
| Umidade do Gás (% v/v) | | 4,10 |
| Volume medido normal (Nm ³) | | 0,8253 |
| Velocidade do Fluxo Gasoso (m/s) | | 8,53 |
| Vazão do Fluxo Gasoso (m ³ /h) | | 23639,48 |
| Vazão do Fluxo Gasoso - CNTP (Nm ³ /h) | | 15470,85 |
| Isocinética (%) | | 102,20 |
| MP | Massa de Mat. Particulado coletado (mg) | 23,90 |
| | Concentração de Mat. Particulado(mg/Nm³) | 28,85 |
| | Taxa de Emissão de Mat. Particulado (kg/h) | 0,4464 |



Responsável Técnico
 Engº Químico Marcos Bianchini
 CRQ n.º 13300176



Auxiliar Técnico
 Químico João Otto Schmitz Júnior
 CRQ n.º 13100288

RELATÓRIO N.º AM 02/99

1. **Empresa:** Colorminas Colorificio e Mineração S.A.
2. **Localização:** Rod. SC 443, Km 01, Getúlio Vargas – Içara – SC.
3. **Objetivo:** Amostragem em chaminé para a determinação da concentração e taxa de emissão de Material Particulado nas emissões atmosféricas provenientes dos fornos, após filtro de mangas.
4. **Processo:** Produção de vidros (fritas).
5. **Combustível:** Óleo Petroquímico Raro 1B – Shell do Brasil S/A.
6. **Consumo médio por forno (Kg/h):** 56.
7. **Fornos em operação:** 03 – 04 – 05 – 06 – 07.
8. **Referência do vidrado:** IT104 – MPT22 – IB28 – IB276 – IB28.
9. **Produção média (Kg/h):** 443 – 420 – 420 – 425 – 430.
10. **Sumário dos resultados:**

| FONTE DE EMISSÃO | | CHAMINÉ DO FILTRO DE MANGAS |
|---|---|-----------------------------------|
| | | AM 05 14/06/99 |
| Resultados Obtidos | | Flange A/B |
| Temperatura média do Gás (°C) | | 117,10 |
| Umidade do Gás (% v/v) | | 3,87 |
| Volume medido normal (Nm ³) | | 1,3574 |
| Velocidade do Fluxo Gasoso (m/s) | | 11,39 |
| Vazão do Fluxo Gasoso (m ³ /h) | | 31559,87 |
| Vazão do Fluxo Gasoso – CNTP (Nm ³ /h) | | 21160,42 |
| Isocinética (%) | | 98,61 |
| MP | Massa de Mat. Particulado coletado (mg) | 42,40 |
| | Concentração de Mat. Particulado(mg/Nm ³) | 31,03 |
| | Taxa de Emissão de Mat. Particulado (kg/h) | 0,6566 |



Responsável Técnico
 Engº Químico Marcos Bianchini
 CRQ n.º 13300176



Auxiliar Técnico
 Químico João Otto Schmtz Júnior
 CRQ n.º 13100288

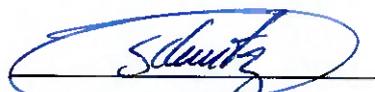
RELATÓRIO N.º AM 02/99

1. **Empresa:** Colorminas Colorificio e Mineração S.A.
2. **Localização:** Rod. SC 443, Km 01, Getúlio Vargas – Içara – SC.
3. **Objetivo:** Amostragem em chaminé para a determinação da concentração e taxa de emissão de Material Particulado nas emissões atmosféricas provenientes dos fornos, após filtro de mangas.
4. **Processo:** Produção de vidros (fritas).
5. **Combustível:** Óleo Petroquímico Raro 1B – Shell do Brasil S/A.
6. **Consumo médio por forno (Kg/L):** 56
7. **Fornos em operação:** 02 – 03 – 04 – 06 - 07.
8. **Referência do vidrado:** MPT34 – IB266 – IB28 – IM126 – IB28.
9. **Produção média (Kg/h):** 406 – 375 – 400 – 500 - 410.
10. **Sumário dos resultados:**

| FONTE DE EMISSÃO | | CHAMINÉ DO FILTRO DE MANGAS |
|---------------------------------------|---|-----------------------------------|
| | | AM 06 13/07/99 |
| Resultados Obtidos | | Flange A/B |
| Temperatura média do Gás (°C) | | 119,70 |
| Umidade do Gás (% v/v) | | 3,90 |
| Volume medido normal (Nm³) | | 1,2344 |
| Velocidade do Fluxo Gasoso (m/s) | | 10,39 |
| Vazão do Fluxo Gasoso (m³/h) | | 28818,89 |
| Vazão do Fluxo Gasoso - CNTP (Nm³ /h) | | 19291,91 |
| Isocinética (%) | | 98,26 |
| MP | Massa de Mat. Particulado coletado (mg) | 40,10 |
| | Concentração de Mat. Particulado(mg/Nm³) | 32,31 |
| | Taxa de Emissão de Mat. Particulado (kg/h) | 0,6233 |



Responsável Técnico
Engº Químico Marcos Bianchini
CRQ n.º 13300176



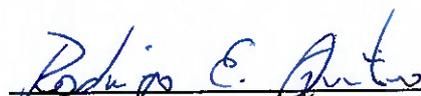
Auxiliar Técnico
Químico João Otto Schmitz Júnior
CRQ n.º 13100288

RELATÓRIO N.º AM 05/00

1. **Empresa:** Colorminas Colorificio e Mineração S.A.
2. **Localização:** Rod. SC 443, Km 01, Getúlio Vargas – Içara – SC.
3. **Objetivo:** Amostragem em chaminé para a determinação da concentração e taxa de emissão de Material Particulado nas emissões atmosféricas provenientes dos fornos de fusão, após filtro de mangas.
4. **Processo:** Produção de vidros (fritas).
5. **Combustível:** Óleo Petroquímico Raro 1B – Shell do Brasil S/A.
6. **Consumo médio por forno (Kg/h):** 56.
7. **Fornos em operação:** 01 – 02 – 03 – 05 – 06 – 07.
8. **Referência da fritas:** IB267 – IT118-1 – IB280-2 – MPT47-2 – IB37 – MPT49.
9. **Produção média (Kg/h):** 430 – 450 – 530 – 413 – 410 – 400.
10. **Sumário dos resultados:**

| FONTE DE EMISSÃO | | CHAMINÉ DO FILTRO DE MANGAS | |
|---------------------------------------|--|--------------------------------|-------------------|
| | | AM 07 21/09/00 | AM 08 21/09/00 |
| Resultados Obtidos | | Flange A/B | Flange A/B |
| Temperatura média do Gás(°C) | | 138,42 | 143,00 |
| Umidade do Gás (% v/v) | | 4,12 | 4,76 |
| Volume médio em condição normal (Nm³) | | 0,6550 | 0,6419 |
| Velocidade do Fluxo Gasoso (m/s) | | 12,58 | 12,73 |
| Vazão do Fluxo Gasoso (m³/h) | | 34862,35 | 35273,02 |
| Vazão do Fluxo Gasoso - CNTP (Nm³ /h) | | 22219,50 | 22059,05 |
| Isocinética (%) | | 100,04 | 98,72 |
| MP | Massa de Mat. Particulado coletado (mg) | 321,10 | 285,70 |
| | Concentração de Mat. Particulado (mg/Nm³) | 490,23 | 445,02 |
| | Taxa de Emissão de Mat. Particulado (kg/h) | 10,89 | 9,82 |

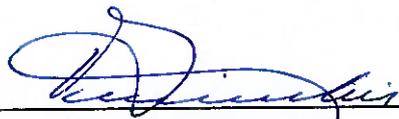

 Responsável Técnico
 Engº Químico Marcos Bianchini
 CRQ n.º 13300176


 Auxiliar Técnico
 Rodrigo Erotildes Quintino
 CRQ n.º 13401292

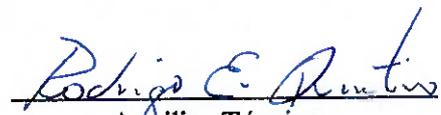
RELATÓRIO N.º AM 06/00

1. **Empresa:** Colorminas Colorificio e Mineração S.A.
2. **Localização:** Rod. SC 443, Km 01, Getúlio Vargas – Içara – SC.
3. **Objetivo:** Amostragem em chaminé para a determinação da concentração e taxa de emissão de Material Particulado nas emissões atmosféricas provenientes dos fornos de fusão, após filtro de mangas.
4. **Processo:** Produção de vidros (fritas).
5. **Combustível:** Óleo Petroquímico Raro 1B – Shell do Brasil S/A.
6. **Consumo médio por forno (Kg/h):** 56.
7. **Fornos em operação:** 01 – 02 – 03 – 04 – 05 – 06 – 07.
8. **Referência da frita:** IB268 – IT104B – IM138 – IB37 – MPT45 – MPT49 – MPB200A.
9. **Produção média (Kg/h):** 420 – 520 – 450 – 400 – 410 – 400 – 430.
10. **Sumário dos resultados:**

| FONTE DE EMISSÃO | | CHAMINÉ DO FILTRO DE MANGAS | |
|---------------------------------------|--|-----------------------------|-------------------|
| | | AM 09 08/11/00 | AM 10 08/11/00 |
| Resultados Obtidos | | Flange A/B | Flange A/B |
| Temperatura média do Gás(°C) | | 150,2 | 157,0 |
| Umidade do Gás (% v/v) | | 3,14 | 3,50 |
| Volume médio em condição normal (Nm³) | | 0,8448 | 0,7546 |
| Velocidade do Fluxo Gasoso (m/s) | | 9,52 | 8,82 |
| Vazão do Fluxo Gasoso (m³/h) | | 26393,34 | 24453,49 |
| Vazão do Fluxo Gasoso – CNTP (Nm³ /h) | | 16455,71 | 14948,38 |
| Isocinética (%) | | 98,48 | 96,41 |
| MP | Massa de Mat. Particulado coletado (mg) | 208,30 | 186,90 |
| | Concentração de Mat. Particulado (mg/Nm³) | 245,52 | 247,65 |
| | Taxa de Emissão de Mat. Particulado (kg/h) | 4,04 | 3,70 |



Responsável Técnico
 Engº Químico Marcos Bianchini
 CRQ n.º 13300176



Auxiliar Técnico
 Rodrigo Erotildes Quintino
 CRQ n.º 13401292

RELATÓRIO N.º AM 07/00

1. **Empresa:** Colorminas Colorificio e Mineração S.A.
2. **Localização:** Rod. SC 443, Km 01, Getúlio Vargas – Içara – SC.
3. **Objetivo:** Amostragem em chaminé para a determinação da concentração e taxa de emissão de Material Particulado nas emissões atmosféricas provenientes dos fornos de fusão, após filtro de mangas.
4. **Processo:** Produção de vidrados.
5. **Combustível:** Óleo Petroquímico Raro 1B – Shell do Brasil S/A.
6. **Consumo médio por forno (Kg/h):** 56.
7. **Fornos em operação:** 01 – 02 – 04 – 05 – 06 – 07.
8. **Referência da frita:** IB06 – IT119 – MPT47 – IM36 – MPT49 – IB268.
9. **Produção média (Kg/h):** 360 – 400 – 413 – 455 – 500 – 440.
10. **Sumário dos resultados:**

| FONTE DE EMISSÃO | | CHAMINÉ DO FILTRO DE MANGAS | | |
|---|--|-----------------------------|-------------------|-------------------|
| | | AM 11 22/11/00 | AM 12 22/11/00 | AM 13 22/11/00 |
| Resultados Obtidos | | Flange A/B | Flange A/B | Flange A/B |
| Temperatura média do Gás (°C) | | 155,75 | 160,83 | 159 |
| Umidade do Gás (% v/v) | | 4,34 | 4,90 | 4,75 |
| Volume medido normal (Nm ³) | | 0,9839 | 0,9506 | 0,9434 |
| Velocidade do Fluxo Gasoso (m/s) | | 11,34 | 11,25 | 11,23 |
| Vazão do Fluxo Gasoso (m ³ /h) | | 31429,53 | 31182,54 | 31128,53 |
| Vazão do Fluxo Gasoso - CNTP (Nm ³ /h) | | 19100,44 | 18617,23 | 18695,43 |
| Isocinética (%) | | 98,32 | 95,43 | 96,28 |
| MP | Massa de Mat. Particulado coletado (mg) | 87,60 | 77,60 | 82,60 |
| | Concentração de Mat. Particulado (mg/Nm ³) | 89,03 | 81,63 | 87,55 |
| | Taxa de Emissão de Mat. Particulado (kg/h) | 1,70 | 1,53 | 1,64 |



Responsável Técnico
 Engº Químico Marcos Bianchini
 CRQ n.º 13300176



Auxiliar Técnico
 Rodrigo Erotildes Quintino



Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC
Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - IPAT

RELATÓRIO N.º AM 08/00

1. **Empresa:** Colorminas Colorificio e Mineração S.A.
2. **Localização:** Rod. SC 443, Km 01, Getúlio Vargas – Içara – SC.
3. **Objetivo:** Amostragem em chaminé para a determinação da concentração e taxa de emissão de Material Particulado nas emissões atmosféricas provenientes dos fornos de fusão, após filtro de mangas.
4. **Processo:** Produção de vidros (fitras).
5. **Combustível:** Óleo Petroquímico Raro 1B – Shell do Brasil S/A.
6. **Consumo médio por forno (Kg/h):** 56.
7. **Fornos em operação:** 01 – 02 – 04 – 05 – 06 – 07.
8. **Referência da frita:** IB06 – IT119 – MPT47 – IB266 – IB37 – MPT49.
9. **Produção média (Kg/h):** 360 – 400 – 413 – 420 – 400 – 430.
10. **Sumário dos resultados:**

| FONTE DE EMISSÃO | | CHAMINÉ DO FILTRO DE MANGAS | | |
|---|---|-----------------------------|-------------------|-------------------|
| | | AM 14 05/12/00 | AM 15 05/12/00 | AM 16 05/12/00 |
| Resultados Obtidos | | Flange A/B | Flange A/B | Flange A/B |
| Temperatura média do Gás (°C) | | 156,42 | 157,33 | 157,42 |
| Umidade do Gás (% v/v) | | 5,00 | 4,93 | 5,15 |
| Volume medido normal (Nm ³) | | 0,9806 | 1,0470 | 0,9502 |
| Velocidade do Fluxo Gasoso (m/s) | | 11,21 | 11,26 | 11,29 |
| Vazão do Fluxo Gasoso (m ³ /h) | | 31085,06 | 31221,96 | 31305,89 |
| Vazão do Fluxo Gasoso - CNTP (Nm ³ /h) | | 18758,05 | 18790,14 | 18817,31 |
| Isocinética (%) | | 99,72 | 106,30 | 96,87 |
| MP | Massa de Mat. Particulado coletado (mg) | 52,20 | 49,70 | 51,20 |
| | Concentração de Mat. Particulado (mg/Nm³) | 53,23 | 47,46 | 53,57 |
| | Taxa de Emissão de Mat. Particulado (kg/h) | 0,9985 | 0,8919 | 1,01 |

Responsável Técnico
Eng^o Químico Marcos Bianchini
CRQ n.º 13300176

Auxiliar Técnico
Rodrigo Erotildes Quintino
CRQ n.º 13401292

Anexo E

**MEMORIAL DE CÁLCULO DA ENERGIA PRODUZIDA NOS FORNOS DE
FUSÃO**

MEMORIAL DE CÁLCULO DA ENERGIA PRODUZIDA

Dados:

Tipo do óleo combustível: Petroquímico raro 1 B;

Poder calorífico médio (Kcal/Kg) = 9.558;

Consumo médio por forno (Kg/h) = 56;

Energia produzida por forno (Kcal/h) = consumo de óleo x poder calorífico = 56 x 9.558 = 535.248.

Exemplo para 7 fornos em operação – AMO9 (capacidade máxima)

Energia produzida (Kcal/h) = 7 x 535.248 = 3.746.736

Taxa de emissão de material particulado (g/h) = 4.040

Taxa de emissão (g/1.000.000 Kcal) = 4.040 ÷ 3.746.736 = 1,078 x 10⁻³ g/Kcal = 1.078,20g/1.000.000 Kcal

Anexo F

**RELATÓRIOS DE ENSAIO DA CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO
MATERIAL PARTICULADO (MP)**



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 283/2000

Dados da Amostra

Empresa: Colorminas Colorifício e Mineradora S.A. Fone: 462-6622
Endereço: Rod. SC 443, Km 01, Getúlio Vargas – Içara – SC.
Atividade: Colorifício
Interessado: Marcos Bianchini
Descrição da Amostra: Material Particulado
Ponto de Coleta: Saída da Chaminé após Filtro de Mangas
Amostragem: Composta Período da Coleta: 27/05; 14/06 e 13/07/1999 Coletor: Interessado

Resultados

| Composto | (%) em massa | Mínimo Detectável (%) |
|--|--------------|-----------------------|
| Óxido Sódio (Na ₂ O) | 13,53 | 0,0001 |
| Óxido Alumínio (Al ₂ O ₃) | 1,98 | 0,001 |
| Óxido Cálcio (CaO) | 2,52 | 0,0001 |
| Óxido Potássio (K ₂ O) | 8,41 | 0,0001 |
| Óxido Ferro (Fe ₂ O ₃) | 0,45 | 0,0002 |
| Óxido Zinco (ZnO) | 5,83 | 0,0001 |
| Óxido Magnésio (MgO) | 1,0 | 0,0001 |
| Óxido Chumbo (PbO) | 1,0 | 0,0005 |

Obs: Método de Análise: Espectrofotometria de Absorção Atômica por Chama

Criciúma, 11 de maio de 2000.

Responsável Técnico
Engª Química Mª Glória S. Santos
CRQ nº 13300056

Executor dos Ensaios
Químico João Oto Schmitz Junior
CRQ nº 13100288

Os resultados apresentados no presente laudo se aplicam somente à amostra ensaiada.

Anexo G

**RELATÓRIOS DE ENSAIO DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO
MATERIAL PARTICULADO (MP)**



AMOSTRA: MPC Colorminas
EMPRESA: UNESC/IPAT
RELATÓRIO N°: 0466E213

PÁG. N°: 1 de 1
FORMA: Pó
DATA: 28/05/01

RELATÓRIO DE ENSAIO

DISTRIBUIÇÃO DE TAMANHO DE PARTÍCULAS À LASER

Amostra recebida em: 18/04/00
Finalizada em: 19/04/00

EQUIPAMENTO:

Granulômetro por Difração à laser CILAS 1064L

PARÂMETROS DE ENSAIO:

Meio suspensor: água destilada

Temperatura de realização dos ensaios: $23,0 \pm 1,0$ °C

RESULTADOS :

| | | |
|-----------------------------------|-------|----|
| 10,00 % das partículas abaixo de | 1,71 | µm |
| 13,45 % das partículas abaixo de | 2,50 | µm |
| 48,09 % das partículas abaixo de | 10,00 | µm |
| 50,00 % das partículas abaixo de | 10,44 | µm |
| 90,00 % das partículas abaixo de | 27,03 | µm |
| 100,00 % das partículas abaixo de | 56,00 | µm |

Obs.: A amostra apresenta tamanho médio de partícula de 10,44 µm.

Este relatório substitui e anula o de n°. 466E121.


Michael Peterson,
Laboratório de Reologia

CLÁUSULAS DE RESPONSABILIDADE

*Os resultados obtidos referem-se somente ao material submetido ao ensaio.

*Não se admite qualquer responsabilidade referente à exatidão da amostragem, a menos que esta tenha sido efetuada mediante nossa própria supervisão. Salvo menção expressa, as amostras foram livremente selecionadas pelo solicitante.

*A reprodução deste relatório só está autorizada em sua forma integral. A reprodução parcial só é permitida com a autorização expressa do CTC.

*O CTC não se torna responsável pelo uso que o solicitante, outra pessoa ou entidade venham a dar aos dados ou indicações contidas no presente relatório, em prejuízo ou benefício das marcas comerciais que o solicitante tenha podido citar como identificação das amostras submetidas a estudo.

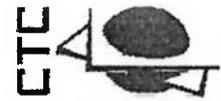
*O CTC poderá incluir em seus relatórios, análises, resultados, etc., qualquer outra avaliação que julgue necessária, ainda que esta não houvesse sido expressamente solicitada.

*O CTC garante a confiabilidade dos resultados contidos no presente relatório de ensaio.



PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

CILAS 1064 Liquid



CTC
CENTRO TECNOLÓGICO
DE CERÁMICA

Range : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Sample Ref : 466/2000-1
 Type produit : MPC Colorminas
 Client : UNESCO/IPAT
 Comments :
 Liquid : Água
 Dispersing agent : Nenhum
 Operator : Juliane
 Company : CTC
 Location : Criciúma
 Date : 19/04/2000 Time : 09:27:15
 Measurement number 910

Ultrasounds : 60 s (+during)
 Concentration : 154
 Diameter at 10% : 1.71 mu
 Diameter at 50% : 10.44 mu
 Diameter at 90% : 27.03 mu
 Fraunhofer
 Density/Factor : -----
 Specific surface : -----
 Auto. dilution/top up : No / No
 Nb Measur./Rins. : 20 / 4

Standards classes in volume / undersize

| | | | | | | | | | | |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| x | 0.04 | 0.07 | 0.10 | 0.20 | 0.30 | 0.40 | 0.50 | 0.60 | 0.70 | 0.80 |
| Q3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.12 | 0.36 | 0.49 | 0.65 | 0.99 | 1.54 | 2.37 |
| q3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.04 | 0.03 | 0.05 | 0.13 | 0.25 | 0.44 |
| x | 0.90 | 1.00 | 1.10 | 1.20 | 1.30 | 1.40 | 1.60 | 1.80 | 2.00 | 2.20 |
| Q3 | 3.30 | 4.26 | 5.22 | 6.15 | 7.03 | 7.85 | 9.30 | 10.52 | 11.55 | 12.38 |
| q3 | 0.56 | 0.65 | 0.72 | 0.76 | 0.78 | 0.79 | 0.78 | 0.74 | 0.69 | 0.62 |
| x | 2.40 | 2.60 | 2.80 | 3.00 | 3.20 | 3.40 | 3.60 | 3.80 | 4.00 | 4.30 |
| Q3 | 13.11 | 13.80 | 14.48 | 15.17 | 15.90 | 16.67 | 17.49 | 18.34 | 19.24 | 20.68 |
| q3 | 0.60 | 0.61 | 0.65 | 0.71 | 0.81 | 0.91 | 1.02 | 1.13 | 1.25 | 1.42 |
| x | 4.60 | 5.00 | 5.30 | 5.60 | 6.00 | 6.50 | 7.00 | 7.50 | 8.00 | 8.50 |
| Q3 | 22.19 | 24.24 | 25.80 | 27.36 | 29.42 | 31.94 | 34.40 | 36.81 | 39.16 | 41.46 |
| q3 | 1.59 | 1.76 | 1.91 | 2.02 | 2.13 | 2.25 | 2.37 | 2.49 | 2.60 | 2.71 |
| x | 9.00 | 10.00 | 11.00 | 12.00 | 13.00 | 14.00 | 15.00 | 16.00 | 17.00 | 18.00 |
| Q3 | 43.72 | 48.09 | 52.27 | 56.27 | 60.06 | 63.63 | 66.96 | 70.03 | 72.84 | 75.39 |
| q3 | 2.82 | 2.96 | 3.14 | 3.28 | 3.39 | 3.44 | 3.44 | 3.40 | 3.31 | 3.19 |
| x | 19.00 | 20.00 | 21.00 | 22.00 | 23.00 | 25.00 | 28.00 | 30.00 | 32.00 | 34.00 |
| Q3 | 77.69 | 79.77 | 81.65 | 83.37 | 84.93 | 87.68 | 91.04 | 92.86 | 94.40 | 95.69 |
| q3 | 3.04 | 2.89 | 2.76 | 2.63 | 2.51 | 2.36 | 2.11 | 1.88 | 1.71 | 1.52 |
| x | 36.00 | 38.00 | 40.00 | 43.00 | 45.00 | 50.00 | 53.00 | 56.00 | 60.00 | 63.00 |
| Q3 | 96.76 | 97.61 | 98.28 | 99.02 | 99.37 | 99.82 | 99.94 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| q3 | 1.33 | 1.12 | 0.94 | 0.73 | 0.54 | 0.31 | 0.15 | 0.08 | 0.00 | 0.00 |
| x | 66.00 | 71.00 | 75.00 | 80.00 | 85.00 | 90.00 | 95.00 | 100.0 | 112.0 | 125.0 |
| Q3 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| q3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| x | 130.0 | 140.0 | 150.0 | 160.0 | 170.0 | 180.0 | 190.0 | 200.0 | 212.0 | 224.0 |
| Q3 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| q3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| x | 240.0 | 250.0 | 280.0 | 300.0 | 315.0 | 355.0 | 400.0 | 425.0 | 450.0 | 500.0 |
| Q3 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| q3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

x : diameter / mu Q3 : cumulative value / % q3 : population density / %



PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

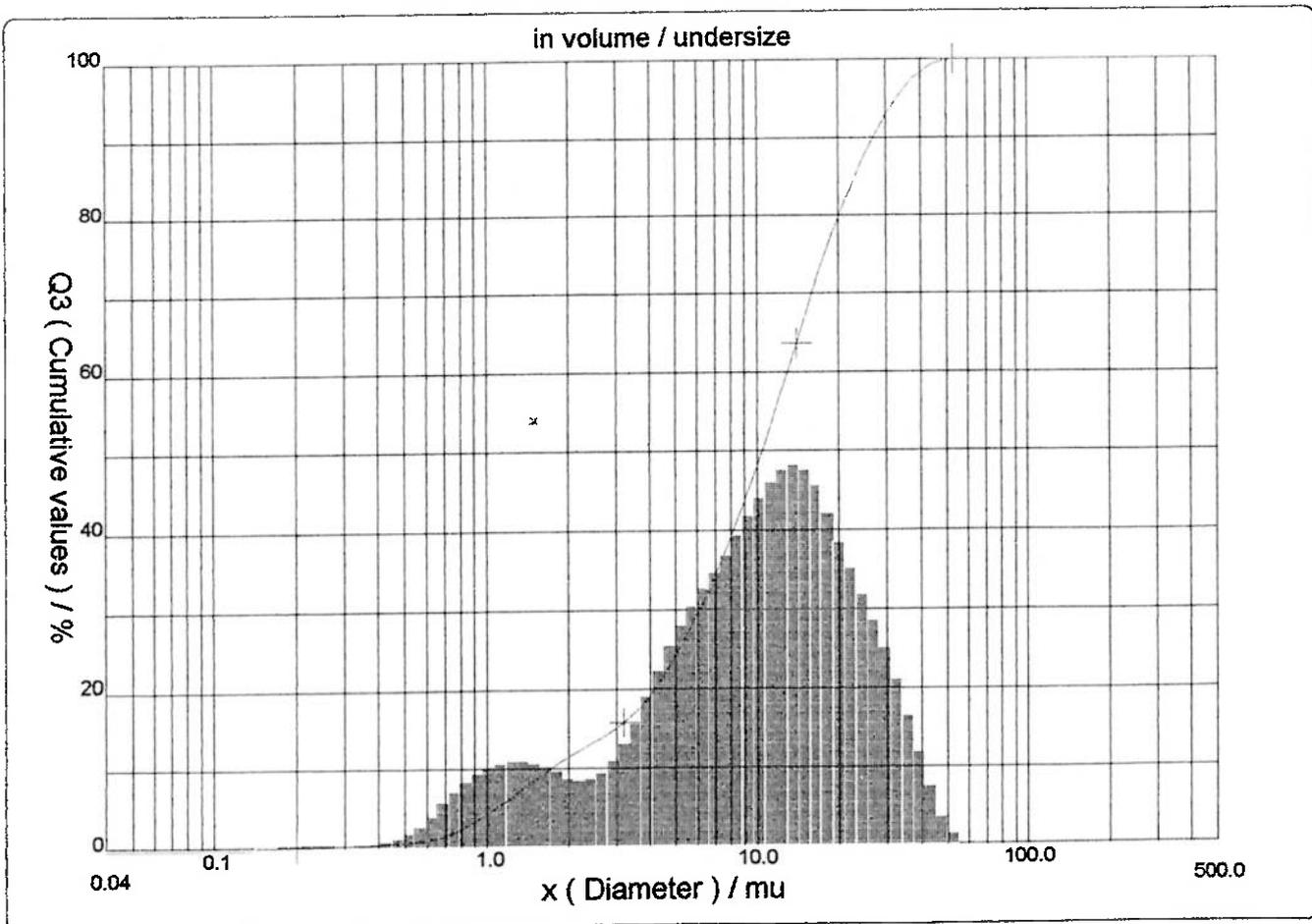
CILAS 1064 Liquid

Range : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes



Sample Ref : 466/2000-1
Type produit : MPC Colorminas
Client : UNESC/IPAT
Comments :
Liquid : Água
Dispersing agent : Nenhum
Operator : Juliane
Company : CTC
Location : Criciúma
Date : 19/04/2000 Time : 09:27:15
Measurement number 910

Ultrasounds : 60 s (+during)
Concentration : 154
Diameter at 10% : 1.71 mu
Diameter at 50% : 10.44 mu
Diameter at 90% : 27.03 mu
Fraunhofer
Density/Factor : -----
Specific surface : -----
Auto. dilution/top up : No / No
Nb Measur./Rins. : 20 / 4





AMOSTRA: Chaminé - Após Filtro Manga - PÁG. Nº: 1 de 2
Colorminas - 21/09/00
EMPRESA: Universidade do Extremo Sul FORMA: Pó
Catarinense - UNESC (IPAT)
RELATÓRIO Nº: 0230E209 DATA: 28/05/01

RELATÓRIO DE ENSAIO

DISTRIBUIÇÃO DE TAMANHO DE PARTÍCULAS À LASER

Amostra recebida em: 06/02/01
Finalizada em: 07/02/01

EQUIPAMENTO:

Analisador de tamanho de partícula por difração à laser CILAS 1064L

PARÂMETROS DE ENSAIO:

Meio suspensor: água destilada

Temperatura de realização dos ensaios: $23,0 \pm 1,0$ °C

RESULTADOS :

| | | |
|-----------------------------------|-------|----|
| 10,00 % das partículas abaixo de | 1,68 | µm |
| 14,48 % das partículas abaixo de | 2,50 | µm |
| 50,00 % das partículas abaixo de | 8,30 | µm |
| 60,54 % das partículas abaixo de | 10,00 | µm |
| 90,00 % das partículas abaixo de | 16,55 | µm |
| 100,00 % das partículas abaixo de | 30,00 | µm |

Obs.: A amostra apresenta tamanho médio de partícula de 8,30 µm.

Este relatório substitui e anula o de nº. 0230E073.

Michael Peterson,

Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais - LDCM


CLÁUSULAS DE RESPONSABILIDADE

*Os resultados obtidos referem-se somente ao material submetido ao ensaio.

*Não se admite qualquer responsabilidade referente à exatidão da amostragem, a menos que esta tenha sido efetuada mediante nossa própria supervisão. Salvo menção expressa, as amostras foram livremente selecionadas pelo solicitante.

*A reprodução deste relatório só está autorizada em sua forma integral. A reprodução parcial só é permitida com a autorização expressa do CTC.

*O CTC não se torna responsável pelo uso que o solicitante, outra pessoa ou entidade venham a dar aos dados ou indicações contidas no presente relatório, em prejuízo ou benefício das marcas comerciais que o solicitante tenha podido citar como identificação das amostras submetidas a estudo.

*O CTC poderá incluir em seus relatórios, análises, resultados, etc., qualquer outra avaliação que julgue necessária, ainda que esta não houvesse sido expressamente solicitada.

*O CTC garante a confiabilidade dos resultados contidos no presente relatório de ensaio.

Sample Ref : 230/2001-1
 Type produit : Chaminé - Após Filtro Manga
 Client : UNESC (IPAT)
 Comments : Colorminas - 21/09/00
 Liquid : Água
 Dispersing agent : Nenhum
 Operator : Agenor
 Company : CTC
 Location : Criciúma
 Date : 07/02/2001 Time : 09:49:12
 Measurement number 1418

Ultrasounds : 60 s (+during)
 Concentration : 41
 Diameter at 10% : 1.68 mu
 Diameter at 50% : 8.30 mu
 Diameter at 90% : 16.55 mu
 Fraunhofer
 Density/Factor : _____
 Specific surface : _____
 Auto. dilution/top up : No / No
 Nb Measur./Rins. : 20 / 4

Standards classes in volume / undersize

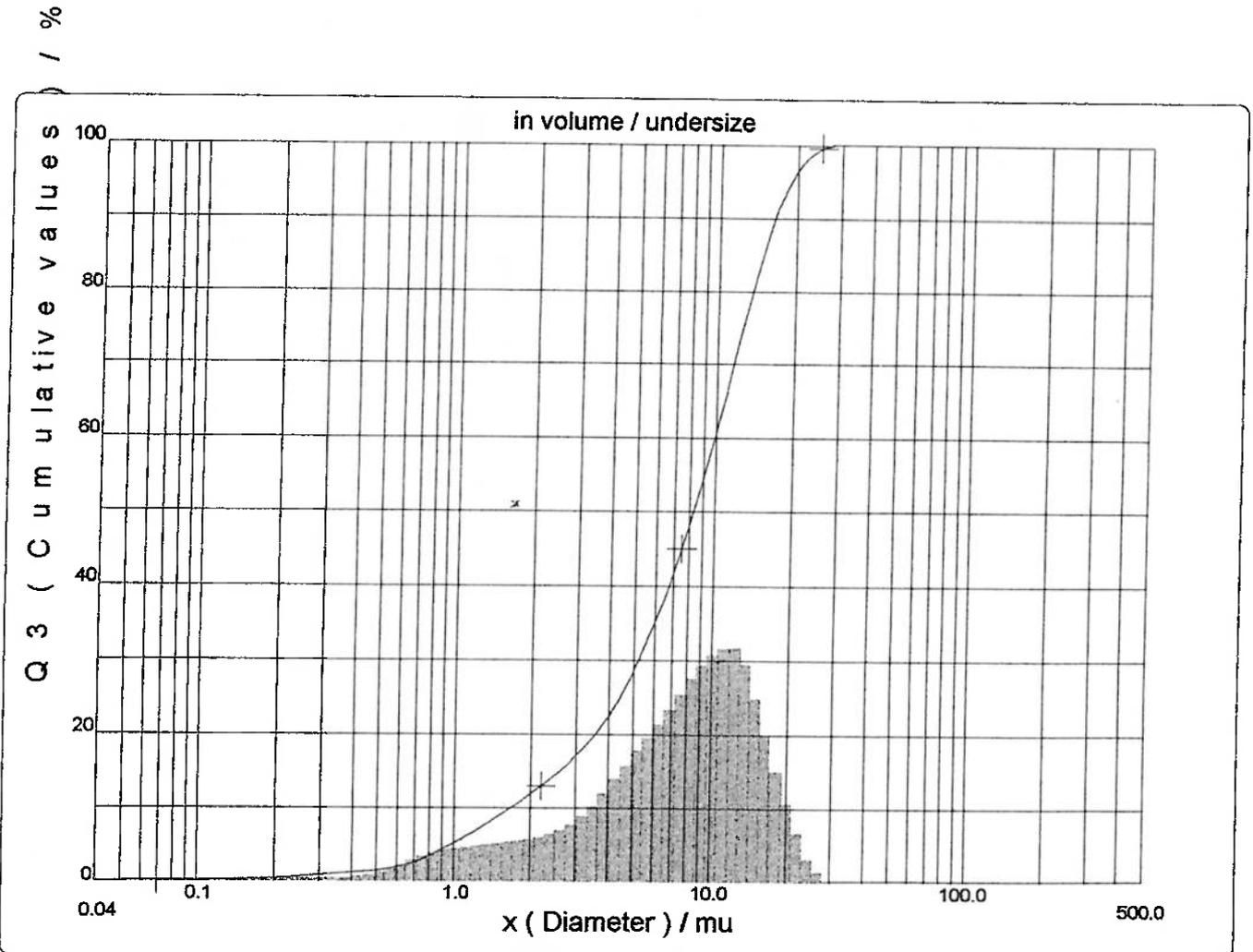
| | | | | | | | | | | |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| x | 0.04 | 0.07 | 0.10 | 0.20 | 0.30 | 0.40 | 0.50 | 0.60 | 0.70 | 0.80 |
| Q3 | 0.04 | 0.13 | 0.18 | 0.46 | 0.88 | 1.19 | 1.49 | 1.93 | 2.55 | 3.37 |
| q3 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.03 | 0.08 | 0.08 | 0.10 | 0.18 | 0.30 | 0.46 |
| x | 0.90 | 1.00 | 1.10 | 1.20 | 1.30 | 1.40 | 1.60 | 1.80 | 2.00 | 2.20 |
| Q3 | 4.25 | 5.11 | 5.92 | 6.70 | 7.44 | 8.15 | 9.48 | 10.72 | 11.87 | 12.95 |
| q3 | 0.55 | 0.60 | 0.63 | 0.66 | 0.68 | 0.71 | 0.74 | 0.77 | 0.81 | 0.83 |
| x | 2.40 | 2.60 | 2.80 | 3.00 | 3.20 | 3.40 | 3.60 | 3.80 | 4.00 | 4.30 |
| Q3 | 13.98 | 14.99 | 15.98 | 16.98 | 17.99 | 19.02 | 20.09 | 21.19 | 22.32 | 24.12 |
| q3 | 0.88 | 0.93 | 0.99 | 1.07 | 1.16 | 1.26 | 1.38 | 1.50 | 1.64 | 1.83 |
| x | 4.60 | 5.00 | 5.30 | 5.60 | 6.00 | 6.50 | 7.00 | 7.50 | 8.00 | 8.50 |
| Q3 | 25.98 | 28.53 | 30.48 | 32.45 | 35.08 | 38.35 | 41.60 | 44.83 | 48.04 | 51.24 |
| q3 | 2.04 | 2.26 | 2.48 | 2.64 | 2.82 | 3.02 | 3.24 | 3.46 | 3.68 | 3.90 |
| x | 9.00 | 10.00 | 11.00 | 12.00 | 13.00 | 14.00 | 15.00 | 16.00 | 17.00 | 18.00 |
| Q3 | 54.40 | 60.54 | 66.38 | 71.86 | 76.96 | 81.50 | 85.38 | 88.56 | 91.16 | 93.28 |
| q3 | 4.08 | 4.30 | 4.53 | 4.65 | 4.71 | 4.52 | 4.15 | 3.64 | 3.17 | 2.73 |
| x | 19.00 | 20.00 | 21.00 | 22.00 | 23.00 | 25.00 | 28.00 | 30.00 | 32.00 | 34.00 |
| Q3 | 94.95 | 96.29 | 97.34 | 98.15 | 98.77 | 99.47 | 99.91 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| q3 | 2.29 | 1.92 | 1.59 | 1.29 | 1.03 | 0.62 | 0.28 | 0.10 | 0.00 | 0.00 |
| x | 36.00 | 38.00 | 40.00 | 43.00 | 45.00 | 50.00 | 53.00 | 56.00 | 60.00 | 63.00 |
| Q3 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| q3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| x | 66.00 | 71.00 | 75.00 | 80.00 | 85.00 | 90.00 | 95.00 | 100.0 | 112.0 | 125.0 |
| Q3 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| q3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| x | 130.0 | 140.0 | 150.0 | 160.0 | 170.0 | 180.0 | 190.0 | 200.0 | 212.0 | 224.0 |
| Q3 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| q3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| x | 240.0 | 250.0 | 280.0 | 300.0 | 315.0 | 355.0 | 400.0 | 425.0 | 450.0 | 500.0 |
| Q3 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| q3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

x : diameter / mu Q3 : cumulative value / % q3 : population density / %



Sample Ref : 230/2001-1
 Type produit : Chaminé - Após Filtro Manga
 Client : UNESC (IPAT)
 Comments : Colorminas - 21/09/00
 Liquid : Água
 Dispersing agent : Nenhum
 Operator : Agenor
 Company : CTC
 Location : Criciúma
 Date : 07/02/2001 Time : 09:49:12
 Measurement number 1418

Ultrasounds : 60 s (+during)
 Concentration : 41
 Diameter at 10% : 1.68 μ m
 Diameter at 50% : 8.30 μ m
 Diameter at 90% : 16.55 μ m
 Fraunhofer
 Density/Factor : _____
 Specific surface : _____
 Auto. dilution/top up : No / No
 Nb Measur./Rins. : 20 / 4






AMOSTRA: Chaminé - Após Filtro Manga - PÁG. Nº: 1 de 1
Colorminas - 08/11/00
EMPRESA: Universidade do Extremo Sul FORMA: Pó
Catarinense - UNESC (IPAT)
RELATÓRIO Nº: 0230E210 DATA: 28/05/01

RELATÓRIO DE ENSAIO

DISTRIBUIÇÃO DE TAMANHO DE PARTÍCULAS À LASER

Amostra recebida em: 06/02/01

Finalizada em: 07/02/01

EQUIPAMENTO:

Analizador de tamanho de partícula por difração à laser CILAS 1064L

PARÂMETROS DE ENSAIO:

Meio suspensor: água destilada

Temperatura de realização dos ensaios: $23,0 \pm 1,0$ °C

RESULTADOS :

| | | |
|-----------------------------------|-------|----|
| 10,00 % das partículas abaixo de | 1,24 | µm |
| 20,00 % das partículas abaixo de | 2,50 | µm |
| 50,00 % das partículas abaixo de | 6,44 | µm |
| 72,64 % das partículas abaixo de | 10,00 | µm |
| 90,00 % das partículas abaixo de | 14,23 | µm |
| 100,00 % das partículas abaixo de | 30,00 | µm |

Obs.: A amostra apresenta tamanho médio de partícula de 6,44 µm.

Este relatório substitui e anula o de nº. 230E074.

Michael Peterson,

Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais - LDCM

CLÁUSULAS DE RESPONSABILIDADE

*Os resultados obtidos referem-se somente ao material submetido ao ensaio.

*Não se admite qualquer responsabilidade referente à exatidão da amostragem, a menos que esta tenha sido efetuada mediante nossa própria supervisão. Salvo menção expressa, as amostras foram livremente selecionadas pelo solicitante.

*A reprodução deste relatório só está autorizada em sua forma integral. A reprodução parcial só é permitida com a autorização expressa do CTC.

*O CTC não se torna responsável pelo uso que o solicitante, outra pessoa ou entidade venham a dar aos dados ou indicações contidas no presente relatório, em prejuízo ou benefício das marcas comerciais que o solicitante tenha podido citar como identificação das amostras submetidas a estudo.

*O CTC poderá incluir em seus relatórios, análises, resultados, etc., qualquer outra avaliação que julgue necessária, ainda que esta não houvesse sido expressamente solicitada.

*O CTC garante a confiabilidade dos resultados contidos no presente relatório de ensaio.



Sample Ref : 230/2001-2
 Type produit : Chaminé - Após Filtro Manga
 Client : UNESC (IPAT)
 Comments : Colorminas - 08/11/00
 Liquid : Água
 Dispersing agent : Nenhum
 Operator : Agenor
 Company : CTC
 Location : Criciúma
 Date : 07/02/2001 Time : 10:04:10
 Measurement number 1419

Ultrasounds : 60 s (+during)
 Concentration : 156
 Diameter at 10% : 1.24 mu
 Diameter at 50% : 6.44 mu
 Diameter at 90% : 14.23 mu
 Fraunhofer
 Density/Factor : _____
 Specific surface : _____
 Auto. dilution/top up : No / No
 Nb Measur./Rins. : 20 / 4

Standards classes in volume / undersize

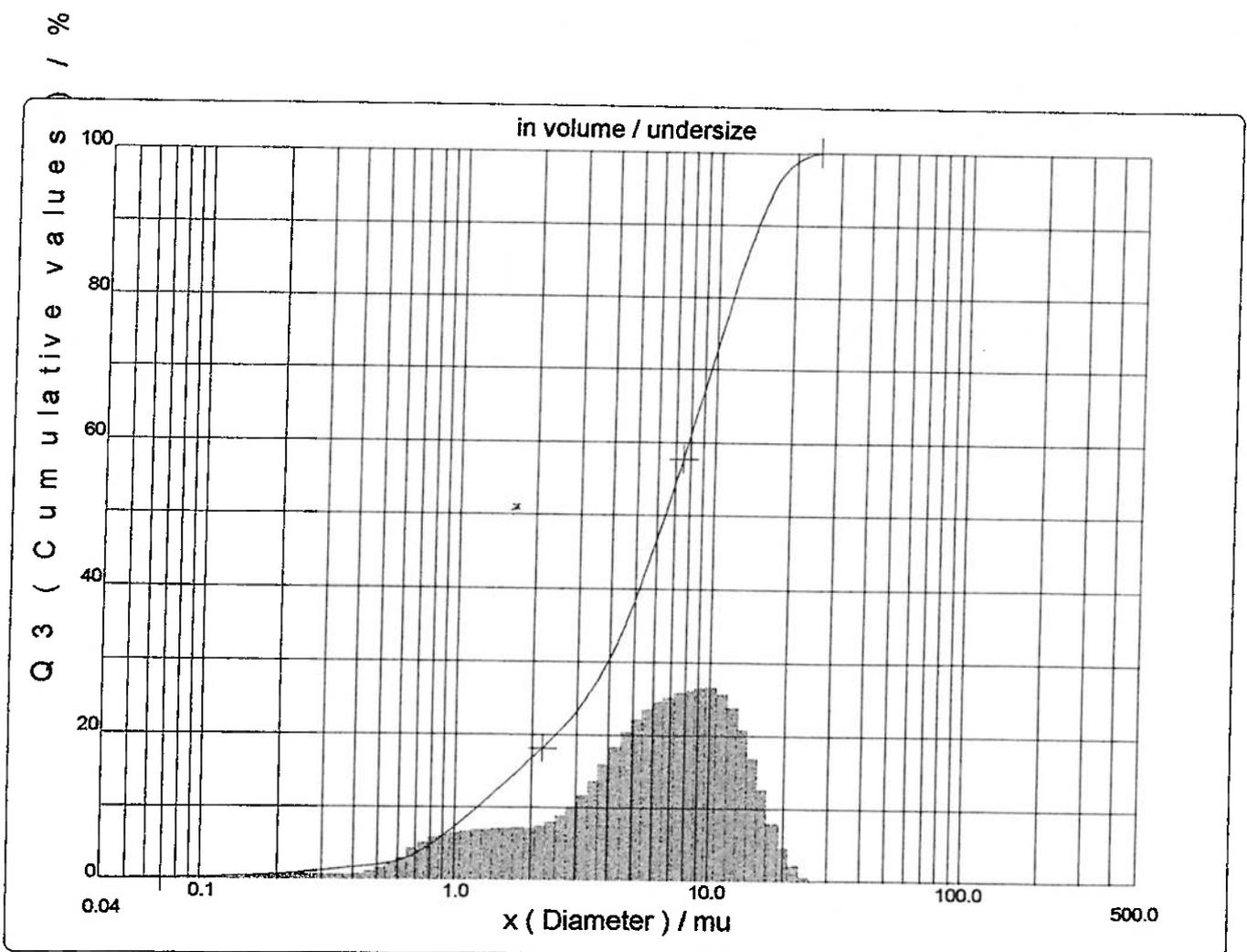
| | | | | | | | | | | |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| x | 0.04 | 0.07 | 0.10 | 0.20 | 0.30 | 0.40 | 0.50 | 0.60 | 0.70 | 0.80 |
| Q3 | 0.06 | 0.18 | 0.24 | 0.62 | 1.21 | 1.61 | 1.98 | 2.57 | 3.44 | 4.64 |
| q3 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.03 | 0.08 | 0.08 | 0.10 | 0.18 | 0.30 | 0.46 |
| x | 0.90 | 1.00 | 1.10 | 1.20 | 1.30 | 1.40 | 1.60 | 1.80 | 2.00 | 2.20 |
| Q3 | 5.92 | 7.19 | 8.40 | 9.55 | 10.63 | 11.65 | 13.52 | 15.20 | 16.71 | 18.08 |
| q3 | 0.55 | 0.60 | 0.63 | 0.66 | 0.68 | 0.71 | 0.74 | 0.77 | 0.81 | 0.83 |
| x | 2.40 | 2.60 | 2.80 | 3.00 | 3.20 | 3.40 | 3.60 | 3.80 | 4.00 | 4.30 |
| Q3 | 19.37 | 20.63 | 21.89 | 23.17 | 24.51 | 25.88 | 27.31 | 28.78 | 30.31 | 32.70 |
| q3 | 0.88 | 0.93 | 0.99 | 1.07 | 1.16 | 1.26 | 1.38 | 1.50 | 1.64 | 1.83 |
| x | 4.60 | 5.00 | 5.30 | 5.60 | 6.00 | 6.50 | 7.00 | 7.50 | 8.00 | 8.50 |
| Q3 | 35.15 | 38.46 | 40.94 | 43.39 | 46.59 | 50.44 | 54.11 | 57.60 | 60.92 | 64.06 |
| q3 | 2.04 | 2.26 | 2.48 | 2.64 | 2.82 | 3.02 | 3.24 | 3.46 | 3.68 | 3.90 |
| x | 9.00 | 10.00 | 11.00 | 12.00 | 13.00 | 14.00 | 15.00 | 16.00 | 17.00 | 18.00 |
| Q3 | 67.05 | 72.64 | 77.72 | 82.21 | 86.10 | 89.37 | 92.06 | 94.22 | 95.91 | 97.20 |
| q3 | 4.08 | 4.30 | 4.53 | 4.65 | 4.71 | 4.52 | 4.15 | 3.64 | 3.17 | 2.73 |
| x | 19.00 | 20.00 | 21.00 | 22.00 | 23.00 | 25.00 | 28.00 | 30.00 | 32.00 | 34.00 |
| Q3 | 98.10 | 98.75 | 99.20 | 99.52 | 99.73 | 99.91 | 99.99 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| q3 | 2.29 | 1.92 | 1.59 | 1.29 | 1.03 | 0.62 | 0.28 | 0.10 | 0.00 | 0.00 |
| x | 36.00 | 38.00 | 40.00 | 43.00 | 45.00 | 50.00 | 53.00 | 56.00 | 60.00 | 63.00 |
| Q3 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| q3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| x | 66.00 | 71.00 | 75.00 | 80.00 | 85.00 | 90.00 | 95.00 | 100.0 | 112.0 | 125.0 |
| Q3 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| q3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| x | 130.0 | 140.0 | 150.0 | 160.0 | 170.0 | 180.0 | 190.0 | 200.0 | 212.0 | 224.0 |
| Q3 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| q3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| x | 240.0 | 250.0 | 280.0 | 300.0 | 315.0 | 355.0 | 400.0 | 425.0 | 450.0 | 500.0 |
| Q3 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| q3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

x : diameter / mu Q3 : cumulative value / % q3 : population density / %



Sample Ref : 230/2001-2
 Type produit : Chaminé - Após Filtro Manga
 Client : UNESC (IPAT)
 Comments : Colorminas - 08/11/00
 Liquid : Água
 Dispersing agent : Nenhum
 Operator : Agenor
 Company : CTC
 Location : Criciúma
 Date : 07/02/2001 Time : 10:04:10
 Measurement number 1419

Ultrasounds : 60 s (+during)
 Concentration : 156
 Diameter at 10% : 1.24 μ m
 Diameter at 50% : 6.44 μ m
 Diameter at 90% : 14.23 μ m
 Fraunhofer
 Density/Factor : _____
 Specific surface : _____
 Auto. dilution/top up : No / No
 Nb Measur./Rins. : 20 / 4






AMOSTRA: Chaminé - Após Filtro Manga - PÁG. Nº: 1 de 1
Colorminas - 22/11/00
EMPRESA: Universidade do Extremo Sul FORMA: Pó
Catarinense - UNESC (IPAT)
RELATÓRIO Nº: 0230E212 DATA: 28/05/01

RELATÓRIO DE ENSAIO

DISTRIBUIÇÃO DE TAMANHO DE PARTÍCULAS À LASER

Amostra recebida em: 06/02/01

Finalizada em: 07/02/01

EQUIPAMENTO:

Analizador de tamanho de partícula por difração à laser CILAS 1064L

PARÂMETROS DE ENSAIO:

Meio suspensor: água destilada

Temperatura de realização dos ensaios: $23,0 \pm 1,0$ °C

RESULTADOS :

| | | |
|-----------------------------------|-------|----|
| 10,00 % das partículas abaixo de | 1,30 | µm |
| 24,70 % das partículas abaixo de | 2,50 | µm |
| 50,00 % das partículas abaixo de | 5,62 | µm |
| 79,01 % das partículas abaixo de | 10,00 | µm |
| 90,00 % das partículas abaixo de | 12,81 | µm |
| 100,00 % das partículas abaixo de | 23,00 | µm |

Obs.: A amostra apresenta tamanho médio de partícula de 5,62 µm.

Este relatório substitui e anula o de nº. 230E075.

Michael Peterson,

Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais - LDCM

CLÁUSULAS DE RESPONSABILIDADE

*Os resultados obtidos referem-se somente ao material submetido ao ensaio.

*Não se admite qualquer responsabilidade referente à exatidão da amostragem, a menos que esta tenha sido efetuada mediante nossa própria supervisão. Salvo menção expressa, as amostras foram livremente selecionadas pelo solicitante.

*A reprodução deste relatório só está autorizada em sua forma integral. A reprodução parcial só é permitida com a autorização expressa do CTC.

*O CTC não se torna responsável pelo uso que o solicitante, outra pessoa ou entidade venham a dar aos dados ou indicações contidas no presente relatório, em prejuízo ou benefício das marcas comerciais que o solicitante tenha podido citar como identificação das amostras submetidas a estudo.

*O CTC poderá incluir em seus relatórios, análises, resultados, etc., qualquer outra avaliação que julgue necessária, ainda que esta não houvesse sido expressamente solicitada.

*O CTC garante a confiabilidade dos resultados contidos no presente relatório de ensaio.



Sample Ref : 230/2001-3
 Type produit : Chaminé - Após Filtro Manga
 Client : UNESCO (IPAT)
 Comments : Colorminas - 22/11/00
 Liquid : Água
 Dispersing agent : Nenhum
 Operator : Agenor
 Company : CTC
 Location : Criciúma
 Date : 07/02/2001 Time : 10:32:07
 Measurement number 1420

Ultrasounds : 60 s (+during)
 Concentration : 154
 Diameter at 10% : 1.03 mu
 Diameter at 50% : 5.62 mu
 Diameter at 90% : 12.81 mu
 Fraunhofer
 Density/Factor : -----
 Specific surface : -----
 Auto. dilution/top up : No / No
 Nb Measur./Rins. : 20 / 4

Standards classes in volume / undersize

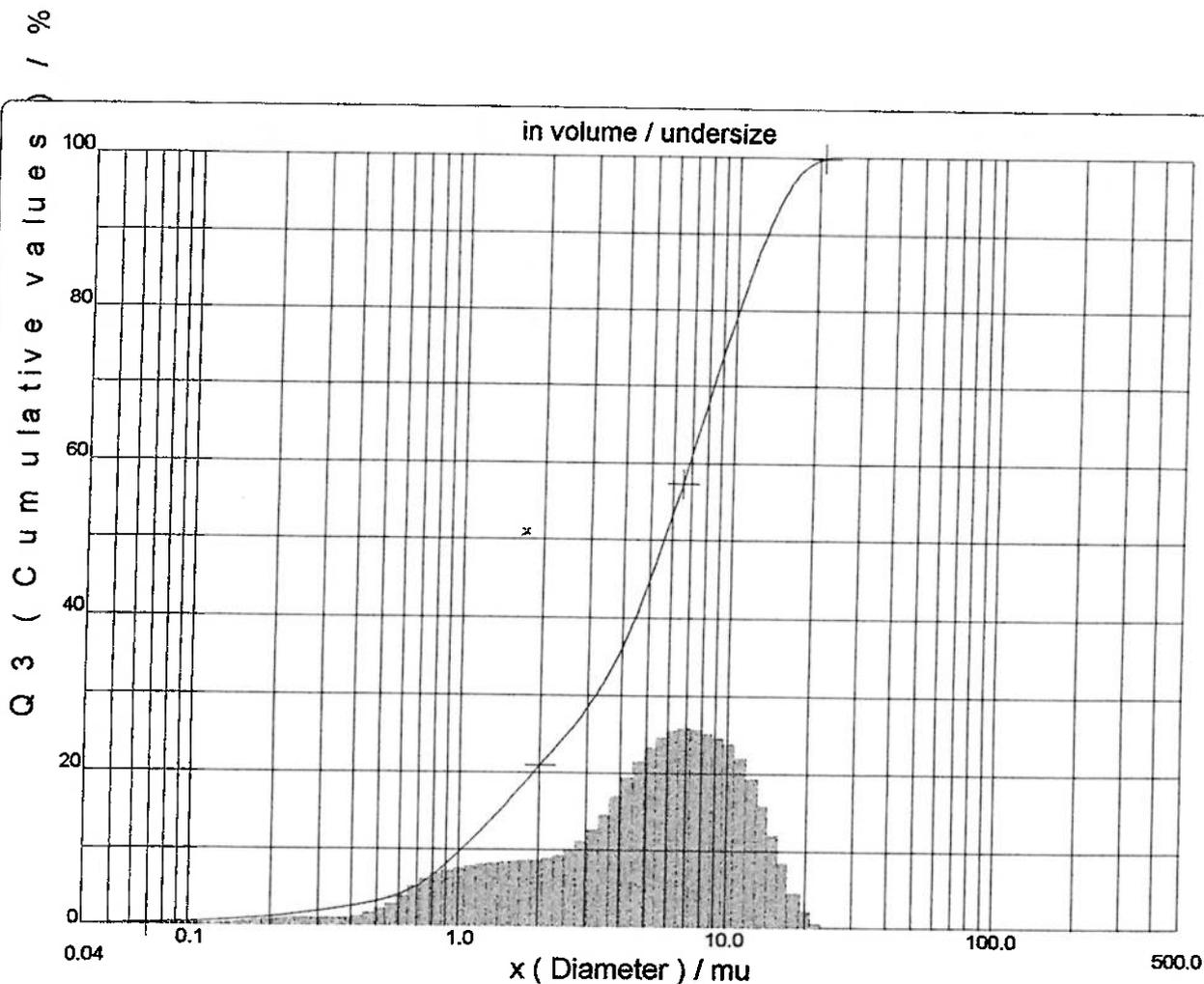
| | | | | | | | | | | |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| x | 0.04 | 0.07 | 0.10 | 0.20 | 0.30 | 0.40 | 0.50 | 0.60 | 0.70 | 0.80 |
| Q3 | 0.10 | 0.31 | 0.44 | 1.06 | 1.89 | 2.52 | 3.10 | 3.92 | 5.03 | 6.48 |
| q3 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.03 | 0.08 | 0.08 | 0.10 | 0.18 | 0.30 | 0.46 |
| x | 0.90 | 1.00 | 1.10 | 1.20 | 1.30 | 1.40 | 1.60 | 1.80 | 2.00 | 2.20 |
| Q3 | 8.01 | 9.52 | 10.95 | 12.30 | 13.57 | 14.78 | 16.99 | 18.98 | 20.79 | 22.42 |
| q3 | 0.55 | 0.60 | 0.63 | 0.66 | 0.68 | 0.71 | 0.74 | 0.77 | 0.81 | 0.83 |
| x | 2.40 | 2.60 | 2.80 | 3.00 | 3.20 | 3.40 | 3.60 | 3.80 | 4.00 | 4.30 |
| Q3 | 23.96 | 25.44 | 26.90 | 28.34 | 29.81 | 31.31 | 32.84 | 34.42 | 36.04 | 38.57 |
| q3 | 0.88 | 0.93 | 0.99 | 1.07 | 1.16 | 1.26 | 1.38 | 1.50 | 1.64 | 1.83 |
| x | 4.60 | 5.00 | 5.30 | 5.60 | 6.00 | 6.50 | 7.00 | 7.50 | 8.00 | 8.50 |
| Q3 | 41.16 | 44.64 | 47.25 | 49.82 | 53.16 | 57.18 | 60.98 | 64.54 | 67.86 | 70.94 |
| q3 | 2.04 | 2.26 | 2.48 | 2.64 | 2.82 | 3.02 | 3.24 | 3.46 | 3.68 | 3.90 |
| x | 9.00 | 10.00 | 11.00 | 12.00 | 13.00 | 14.00 | 15.00 | 16.00 | 17.00 | 18.00 |
| Q3 | 73.81 | 79.01 | 83.54 | 87.39 | 90.58 | 93.15 | 95.17 | 96.71 | 97.86 | 98.69 |
| q3 | 4.08 | 4.30 | 4.53 | 4.65 | 4.71 | 4.52 | 4.15 | 3.64 | 3.17 | 2.73 |
| x | 19.00 | 20.00 | 21.00 | 22.00 | 23.00 | 25.00 | 28.00 | 30.00 | 32.00 | 34.00 |
| Q3 | 99.21 | 99.56 | 99.79 | 99.92 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| q3 | 2.29 | 1.92 | 1.59 | 1.29 | 1.03 | 0.62 | 0.28 | 0.10 | 0.00 | 0.00 |
| x | 36.00 | 38.00 | 40.00 | 43.00 | 45.00 | 50.00 | 53.00 | 56.00 | 60.00 | 63.00 |
| Q3 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| q3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| x | 66.00 | 71.00 | 75.00 | 80.00 | 85.00 | 90.00 | 95.00 | 100.0 | 112.0 | 125.0 |
| Q3 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| q3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| x | 130.0 | 140.0 | 150.0 | 160.0 | 170.0 | 180.0 | 190.0 | 200.0 | 212.0 | 224.0 |
| Q3 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| q3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| x | 240.0 | 250.0 | 280.0 | 300.0 | 315.0 | 355.0 | 400.0 | 425.0 | 450.0 | 500.0 |
| Q3 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| q3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

x : diameter / mu Q3 : cumulative value / % q3 : population density / %



Sample Ref : 230/2001-3
 Type produit : Chaminé - Após Filtro Manga
 Client : UNESC (IPAT)
 Comments : Colorminas - 22/11/00
 Liquid : Água
 Dispersing agent : Nenhum
 Operator : Agenor
 Company : CTC
 Location : Criciúma
 Date : 07/02/2001 Time : 10:32:07
 Measurement number 1420

Ultrasounds : 60 s (+during)
 Concentration : 154
 Diameter at 10% : 1.03 μ m
 Diameter at 50% : 5.62 μ m
 Diameter at 90% : 12.81 μ m
 Fraunhofer
 Density/Factor : _____
 Specific surface : _____
 Auto. dilution/top up : No / No
 Nb Measur./Rins. : 20 / 4



Anexo H

**RELATÓRIOS DE ENSAIO DAS CONCENTRAÇÕES DAS PARTÍCULAS
TOTAIS EM SUSPENSÃO (PTS) NO AR AMBIENTE COLETADAS NAS
PROXIMIDADES DA FONTE DE EMISSÃO**

RELATÓRIO DE ENSAIO N.º 06/98

- 1. Empresa :** Colorminas Colorificio e Mineração S.A.
- 2. Endereço :** Rod. SC 443, Km 01, Getúlio Vargas – Içara – SC.
- 3. Objetivo :** Amostragem de material particulado em suspensão no ar ambiente.
- 4. Método de Ensaio :** Determinação das partículas totais em suspensão (PTS) pelo método do amostrador de grande volume (AGV) – NBR 9547.
- 5. Local das Coletas :**
 - a - A leste da fonte de emissão**
Residência: Sr. Almiro Vitorino
Rua Antônio Lutero, n.º 172, Içara – SC.
 - b - A oeste da fonte de emissão**
Residência: Sr. Augusto Bergamo
Rua Jorge Becker, n.º 85, Criciúma – SC

6. Resultados das Coletas :

| Dados Meteorológicos (média das 24 horas) | | Coleta 01 07 à 08/07/98 | Coleta 02 13 à 14/07/98 | Coleta 03 15 à 16/07/98 |
|---|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Condições do tempo | | chuvoso | bom | bom |
| Direção do vento (quadrante) | | norte/sul | norte | sul |
| Velocidade do vento (m/s) | | 0,8 | 1,2 | 1,5 |
| Umidade relativa (%) | | 90 | 60 | 80 |
| Temperatura média (°C) | | 19 | 16 | 15 |
| Pressão atmosférica (mmHg) | | 761 | 762 | 762 |
| PTS (µg/m ³) | A leste da fonte de emissão | 25,45 | 68,28 | 51,78 |
| | A oeste da fonte de emissão | 31,31 | 149,39 | 68,57 |


Responsável Técnico
Eng.º Químico Marcos Bianchini
CRQ n.º 13300176

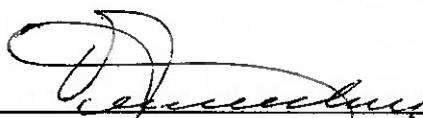

Auxiliar Técnico
Químico João Otto Schmitz Júnior
CRQ n.º 13100288

RELATÓRIO DE ENSAIO N.º 02/99

- 5. Empresa :** Colorminas Colorificio e Mineração S.A.
- 6. Endereço :** Rod. SC 443, Km 01, Getúlio Vargas – Içara – SC.
- 7. Objetivo :** Amostragem de material particulado em suspensão no ar ambiente.
- 8. Método de Ensaio :** Determinação das partículas totais em suspensão (PTS) pelo método do amostrador de grande volume (AGV) – NBR 9547.
- 5. Local das Coletas :**
- a - A leste da fonte de emissão
Residência: Sr. Almiro Vitorino
Rua Antônio Lutero, n.º 172, Içara – SC.
- b - A oeste da fonte de emissão
Residência: Sr. Augusto Bergamo
Rua Jorge Becker, n.º 85, Criciúma – SC

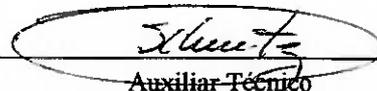
6. Resultados das Coletas :

| Dados Meteorológicos (média das 24 horas) | | Coleta 01 27 à 28/05/99 | Coleta 02 14 à 15/06/99 | Coleta 03 13 à 14/07/99 |
|---|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Condições do tempo | | bom | nublado | bom |
| Direção do vento (quadrante) | | Sul | norte | norte |
| Velocidade do vento (m/s) | | 3,30 | 1,80 | 2,70 |
| Umidade relativa (%) | | 61 | 46 | 56 |
| Temperatura média (°C) | | 17 | 15 | 20 |
| Pressão atmosférica (mmHg) | | 763 | 765 | 764 |
| PTS (µg/m ³) | A leste da fonte de emissão | 88,68 | 88,89 | 79,39 |
| | A oeste da fonte de emissão | 94,40 | 129,20 | 145,34 |



Responsável Técnico

Engº Químico Marcos Bianchini
CRQ n.º 13300176



Auxiliar Técnico

Químico João Otto Schmitz Júnior
CRQ n.º 13100288

Anexo I

**RELATÓRIOS DE ENSAIO DA CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DAS
PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO (PTS) COLETADAS NAS
PROXIMIDADES DA FONTE DE EMISSÃO**



RELATÓRIO DE ENSAIO N°: 562/2000

Dados da Amostra

Empresa: Colorminas Colorifício e Mineradora S.A. Fone: 462-6622
Endereço: Rod. SC 443, Km 01, Getúlio Vargas - Içara - SC.
Atividade: Colorifício
Interessado: Marcos Bianchini
Descrição da Amostra: Partículas Totais em Suspensão (PTS)
Ponto de Coleta: PL 01 - Ponto a Leste da Fonte de Emissão - Içara
Amostragem: Composta Data da Coleta: 27/05/1999 Coletor: Interessado

Resultados

| Composto | (%) em massa | Mínimo Detectável (%) |
|--|--------------|-----------------------|
| Óxido Sódio (Na ₂ O) | 26,65 | 0,0001 |
| Óxido Alumínio (Al ₂ O ₃) | 20,47 | 0,001 |
| Óxido Cálcio (CaO) | 5,75 | 0,0001 |
| Óxido Potássio (K ₂ O) | 9,41 | 0,0001 |
| Óxido Ferro (Fe ₂ O ₃) | 3,23 | 0,0002 |
| Óxido Zinco (ZnO) | 7,67 | 0,0001 |
| Óxido Magnésio (MgO) | 1,24 | 0,0001 |
| Óxido Chumbo (PbO) | 0,29 | 0,0005 |

Obs: Método de Análise: Espectrofotometria de Absorção Atômica por Chama.

Criciúma, 11 de maio de 2000.


Responsável Técnico
Engª Química Mª Glória S. Santos
CRQ n° 13300056


Executor dos Ensaios
Químico João Oto Schmitz Junior
CRQ n° 13100288

Os resultados apresentados no presente laudo se aplicam somente à amostra ensaiada.



RELATÓRIO DE ENSAIO N°: 563/2000

Dados da Amostra

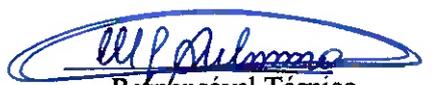
Empresa: Colorminas Colorifício e Mineradora S.A. | Fone: 462-6622
Endereço: Rod. SC 443, Km 01, Getúlio Vargas - Içara - SC.
Atividade: Colorifício
Interessado: Marcos Bianchini
Descrição da Amostra: Partículas Totais em Suspensão (PTS)
Ponto de Coleta: PO 02 - Ponto a Oeste da Fonte de Emissão - Criciúma
Amostragem: Composta | Data da Coleta: 27/05/1999 | Coletor: Interessado

Resultados

| Composto | (%) em massa | Mínimo Detectável (%) |
|--|--------------|-----------------------|
| Óxido Sódio (Na ₂ O) | 16,17 | 0,0001 |
| Óxido Alumínio (Al ₂ O ₃) | 14,39 | 0,001 |
| Óxido Cálcio (CaO) | 4,13 | 0,0001 |
| Óxido Potássio (K ₂ O) | 4,82 | 0,0001 |
| Óxido Ferro (Fe ₂ O ₃) | 4,06 | 0,0002 |
| Óxido Zinco (ZnO) | 5,09 | 0,0001 |
| Óxido Magnésio (MgO) | 1,06 | 0,0001 |
| Óxido Chumbo (PbO) | 0,05 | 0,0005 |

Obs: Método de Análise: Espectrofotometria de Absorção Atômica por Chama

Criciúma, 11 de maio de 2000.


Responsável Técnico
Engª Química Mª Glória S. Santos
CRQ n° 13300056


Executor dos Ensaios
Químico João Oto Schmitz Junior
CRQ n° 13100288

Os resultados apresentados no presente laudo se aplicam somente à amostra ensaiada.



RELATÓRIO DE ENSAIO N°: 564/2000

Dados da Amostra

Empresa: Colorminas Colorifício e Mineradora S.A. Fone: 462-6622
Endereço: Rod. SC 443, Km 01, Getúlio Vargas – Içara – SC.
Atividade: Colorifício
Interessado: Marcos Bianchini
Descrição da Amostra: Partículas Totais em Suspensão (PTS)
Ponto de Coleta: PL 03 – Ponto a Leste da Fonte de Emissão - Içara
Amostragem: Composta Data da Coleta: 14/06/1999 Coletor: Interessado

Resultados

| Composto | (%) em massa | Mínimo Detectável (%) |
|--|--------------|-----------------------|
| Óxido Sódio (Na ₂ O) | 9,41 | 0,0001 |
| Óxido Alumínio (Al ₂ O ₃) | 10,48 | 0,001 |
| Óxido Cálcio (CaO) | 3,72 | 0,0001 |
| Óxido Potássio (K ₂ O) | 3,11 | 0,0001 |
| Óxido Ferro (Fe ₂ O ₃) | 3,35 | 0,0002 |
| Óxido Zinco (ZnO) | 2,47 | 0,0001 |
| Óxido Magnésio (MgO) | 0,99 | 0,0001 |
| Óxido Chumbo (PbO) | 0,11 | 0,0005 |

Obs: Método de Análise: Espectrofotometria de Absorção Atômica por Chama

Criciúma, 11 de maio de 2000.

Responsável Técnico
Engª Química Mª Glória S. Santos
CRQ n° 13300056

Executor dos Ensaios
Químico João Oto Schmitz Junior
CRQ n° 13100288

Os resultados apresentados no presente laudo se aplicam somente à amostra ensaiada.

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 565/2000

Dados da Amostra

Empresa: Colorminas Colorifício e Mineradora S.A. Fone: 462-6622
 Endereço: Rod. SC 443, Km 01, Getúlio Vargas - Içara - SC.
 Atividade: Colorifício
 Interessado: Marcos Bianchini
 Descrição da Amostra: Partículas Totais em Suspensão (PTS)
 Ponto de Coleta: PO 04 - Ponto a Oeste da Fonte de Emissão - Criciúma
 Amostragem: Composta Data da Coleta: 14/06/1999 Coletor: Interessado

Resultados

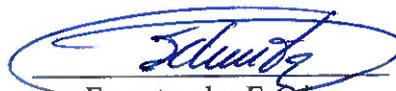
| Composto | (%) em massa | Mínimo Detectável (%) |
|--|--------------|-----------------------|
| Óxido Sódio (Na ₂ O) | 26,62 | 0,0001 |
| Óxido Alumínio (Al ₂ O ₃) | 19,97 | 0,001 |
| Óxido Cálcio (CaO) | 5,95 | 0,0001 |
| Óxido Potássio (K ₂ O) | 8,80 | 0,0001 |
| Óxido Ferro (Fe ₂ O ₃) | 3,65 | 0,0002 |
| Óxido Zinco (ZnO) | 8,02 | 0,0001 |
| Óxido Magnésio (MgO) | 1,59 | 0,0001 |
| Óxido Chumbo (PbO) | 0,14 | 0,0005 |

Obs: Método de Análise: Espectrofotometria de Absorção Atômica por Chama

Criciúma, 11 de maio de 2000.



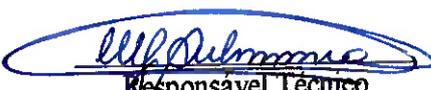
Responsável Técnico
 Eng.ª Química M.ª Glória S. Santos
 CRQ nº 13300056



Executor dos Ensaios
 Químico João Oto Schmitz Junior
 CRQ nº 13100288

Os resultados apresentados no presente laudo se aplicam somente à amostra ensaiada.



| RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 566/2000 | | |
|---|--|-----------------------|
| Dados da Amostra | | |
| Empresa: Colorminas Colorifício e Mineradora S.A. | | Fone: 462-6622 |
| Endereço: Rod. SC 443, Km 01, Getúlio Vargas - Içara - SC. | | |
| Atividade: Colorifício | | |
| Interessado: Marcos Bianchini | | |
| Descrição da Amostra: Partículas Totais em Suspensão (PTS) | | |
| Ponto de Coleta: PL 05 - Ponto a Leste da Fonte de Emissão - Içara | | |
| Amostragem: Composta | Data da Coleta: 13/07/1999 | Coletor: Interessado |
| Resultados | | |
| Composto | (%) em massa | Mínimo Detectável (%) |
| Óxido Sódio (Na ₂ O) | 12,05 | 0,0001 |
| Óxido Alumínio (Al ₂ O ₃) | 7,60 | 0,001 |
| Óxido Cálcio (CaO) | 4,33 | 0,0001 |
| Óxido Potássio (K ₂ O) | 3,86 | 0,0001 |
| Óxido Ferro (Fe ₂ O ₃) | 3,06 | 0,0002 |
| Óxido Zinco (ZnO) | 5,93 | 0,0001 |
| Óxido Magnésio (MgO) | 1,02 | 0,0001 |
| Óxido Chumbo (PbO) | 0,14 | 0,0005 |
| Obs: Método de Análise: Espectrofotometria de Absorção Atômica por Chama. | | |
| ***** | | |
| Criciúma, 11 de maio de 2000. | | |
|  Responsável Técnico Engª Química Mª Glória S. Santos CRQ nº 13300056 |  Executor dos Ensaíos Químico João Oto Schmitz Junior CRQ nº 13100288 | |
| Os resultados apresentados no presente laudo se aplicam somente à amostra ensaiada. | | |



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 567/2000

Dados da Amostra

Empresa: Colorminas Colorifício e Mineradora S.A. Fone: 462-6622
Endereço: Rod. SC 443, Km 01, Getúlio Vargas – Içara – SC.
Atividade: Colorifício
Interessado: Marcos Bianchini
Descrição da Amostra: Partículas Totais em Suspensão (PTS)
Ponto de Coleta: PO 06 – Ponto a Oeste da Fonte de Emissão - Criciúma
Amostragem: Composta Data da Coleta: 13/07/1999 Coletor: Interessado

Resultados

| Composto | (%) em massa | Mínimo Detectável (%) |
|--|--------------|-----------------------|
| Óxido Sódio (Na ₂ O) | 25,01 | 0,0001 |
| Óxido Alumínio (Al ₂ O ₃) | 17,22 | 0,0001 |
| Óxido Cálcio (CaO) | 6,62 | 0,0001 |
| Óxido Potássio (K ₂ O) | 7,82 | 0,0001 |
| Óxido Ferro (Fe ₂ O ₃) | 3,83 | 0,0002 |
| Óxido Zinco (ZnO) | 7,02 | 0,0001 |
| Óxido Magnésio (MgO) | 1,31 | 0,0001 |
| Óxido Chumbo (PbO) | 0,12 | 0,0005 |

Obs: Método de Análise: Espectrofotometria de Absorção Atômica por Chama

Criciúma, 11 de maio de 2000.

Responsável Técnico
Eng.ª Química M.ª Glória S. Santos
CRQ nº 13300056

Executor dos Ensaios
Químico João Otto Schmitz Junior
CRQ nº 13100288

Os resultados apresentados no presente laudo se aplicam somente à amostra ensaiada.

Anexo J

**RELATÓRIOS DE ENSAIO DA CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DAS
PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO (PTS) COLETADA EM UM
PONTO NEUTRO, DISTANTE DA FONTE DE EMISSÃO**



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 978/2000

Dados da Amostra

Empresa: **CEIC – Centro Educacional Infantil da Criança** Fone: 4380946
Endereço: Rua Tangará SN, Bairro: Boa Vista – Criciúma - SC
Atividade: **Educação**
Interessado: **Marcos Bianchini**
Descrição da Amostra: **Partículas Totais em Suspensão (PTS)**
Ponto de Coleta: **PN 01 – Ponto Neutro (Estação de monitoramento – IPAT)**
Amostragem: **Composta** Data da Coleta: **27/05/1999** Coletor: **Interessado**

Resultados

| Composto | (%) em massa | Mínimo Detectável (%) |
|--|--------------|-----------------------|
| Óxido Sódio (Na ₂ O) | 13,25 | 0,0001 |
| Óxido Alumínio (Al ₂ O ₃) | 6,87 | 0,001 |
| Óxido Cálcio (CaO) | 1,64 | 0,0001 |
| Óxido Potássio (K ₂ O) | 3,22 | 0,0001 |
| Óxido Ferro (Fe ₂ O ₃) | 3,67 | 0,0002 |
| Óxido Zinco (ZnO) | 2,49 | 0,0001 |
| Óxido Magnésio (MgO) | 3,10 | 0,0001 |
| Óxido Chumbo (PbO) | 0,42 | 0,0005 |

Obs: Método de Análise: Espectrofotometria de Absorção Atômica por Chama

Criciúma, 11 de maio de 2000.

Responsável Técnico
Engª Química Mª Glória S. Santos
CRQ nº 13300056

Executor dos Ensaíos
Químico João Oto Schmitz Junior
CRQ nº 13100288

Os resultados apresentados no presente laudo se aplicam somente à amostra ensaiada.

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 979/2000

Dados da Amostra

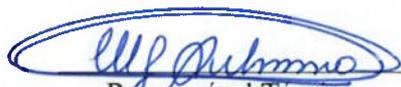
Empresa: CEIC – Centro Educacional da Criança Fone: 4380946
 Endereço: Rua Tangará SN, Bairro: Boa Vista – Criciúma - SC
 Atividade: Educação
 Interessado: Marcos Bianchini
 Descrição da Amostra: Partículas Totais em Suspensão (PTS)
 Ponto de Coleta: PN 02 – Ponto Neutro (Estação de monitoramento – IPAT)
 Amostragem: Composta Data da Coleta: 14/06/1999 Coletor: Interessado

Resultados

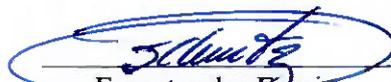
| Composto | (%) em massa | Mínimo Detectável (%) |
|--|--------------|-----------------------|
| Óxido Sódio (Na ₂ O) | 4,27 | 0,0001 |
| Óxido Alumínio (Al ₂ O ₃) | 4,57 | 0,001 |
| Óxido Cálcio (CaO) | 1,02 | 0,0001 |
| Óxido Potássio (K ₂ O) | 0,59 | 0,0001 |
| Óxido Ferro (Fe ₂ O ₃) | 3,79 | 0,0002 |
| Óxido Zinco (ZnO) | < 0,0001 | 0,0001 |
| Óxido Magnésio (MgO) | 1,92 | 0,0001 |
| Óxido Chumbo (PbO) | 0,02 | 0,0005 |

Obs: Método de Análise: Espectrofotometria de Absorção Atômica por Chama

Criciúma, 11 de maio de 2000.



Responsável Técnico
 Engª Química Mª Glória S. Santos
 CRQ nº 13300056



Executor dos Ensaios
 Químico João Oto Schmitz Junior
 CRQ nº 13100288

Os resultados apresentados no presente laudo se aplicam somente à amostra ensaiada.



RELATÓRIO DE ENSAIO N°: 980/2000

Dados da Amostra

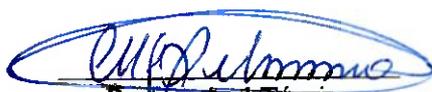
Empresa: CEIC - Centro Educacional da Criança Fone: 4380946
Endereço: Rua Tangará SN, Bairro: Boa Vista - Criciúma - SC
Atividade: Educação
Interessado: Marcos Bianchini
Descrição da Amostra: Partículas Totais em Suspensão (PTS)
Ponto de Coleta: PN 03 - Ponto Neutro (Estação de monitoramento - IPAT)
Amostragem: Composta Data da Coleta: 13/07/1999 Coletor: Interessado

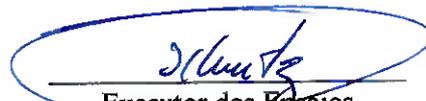
Resultados

| Composto | (%) em massa | Mínimo Detectável (%) |
|--|--------------|-----------------------|
| Óxido Sódio (Na ₂ O) | 6,74 | 0,0001 |
| Óxido Alumínio (Al ₂ O ₃) | 1,68 | 0,001 |
| Óxido Cálcio (CaO) | 1,82 | 0,0001 |
| Óxido Potássio (K ₂ O) | 1,12 | 0,0001 |
| Óxido Ferro (Fe ₂ O ₃) | 4,10 | 0,0002 |
| Óxido Zinco (ZnO) | 0,46 | 0,0001 |
| Óxido Magnésio (MgO) | 2,70 | 0,0001 |
| Óxido Chumbo (PbO) | 0,01 | 0,0005 |

Obs: Método de Análise: Espectrofotometria de Absorção Atômica por Chama

Criciúma, 11 de maio de 2000.


Responsável Técnico
Engª Química Mª Glória S. Santos
CRQ n° 13300056


Executor dos Ensaios
Químico João Oto Schmitz Junior
CRQ n° 13100288

Os resultados apresentados no presente laudo se aplicam somente à amostra ensaiada.

BIBLIOGRAFIA

LISTA DE REFERÊNCIAS

ALEXANDRE, N. Z. et al. **Fontes de poluição no município de Criciúma, SC.** Programa de Informações Básicas para a Gestão Territorial do Estado de Santa Catarina, PROGESC. Porto Alegre: CPRM, 1995. v.1, p.42-53.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Material particulado em suspensão no ar ambiente – determinação da concentração total pelo método do amostrador de grande volume – NBR 9547.** Rio de Janeiro, 1997.

BACK, A. J. Análise dos dados de vento. **Revista de Tecnologia e Ambiente, Criciúma**, v. 5, n. 2, p. 7-17, 1999.

BRAGA, B. et al. **Introdução à engenharia ambiental: o meio atmosférico.** São Paulo: Prentice Hall, 2002. p. 168-205.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Mapa de fontes de poluição do município de Criciúma.** Porto Alegre: CPRM, 1995. (Série Degradação Ambiental). Escala 1: 100.000. [1 mapa].

CLESCERI, L. S.; GREENBERG, A. E.; EATON, A. D. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 20. ed. Washington: WEF/APHA/AWWA, 1998. Cap. 3, p. 13-21.

CLEZAR, C. A.; NONEGUEIRA, A. C. R. **Ventilação industrial.** Florianópolis: UFSC, 1999. 298 p.

CILAS. **Laser particle size analyzer: history & principle.** CILAS, 1992. Disponível em: <http://www.cilas.com/anglais3/html/anraul/theory/histo.htm>. Acesso em: 01 out. 2002.

COLBECK, I. Particle emission from outdoor and indoor sources. In: KOUIMTZIS, T.; SAMARA, C. **Airbone particulate matter.** Berlin: Springer, 1995. p. 01-33.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Legislação federal: controle da poluição ambiental (atualizada até julho de 1995).** São Paulo: CETESB, 1995. p. 59-68. (Série Documentos. Secretaria do Meio Ambiente).

_____. **Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo 1995**. São Paulo: CETESB, 1996. 78 p. (Série Relatórios).

_____. **Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo 2001**. São Paulo: CETESB, 2002. Disponível em: [http://www.cetesb.sp.gov.br/-Ar/ar índice padrões.htm](http://www.cetesb.sp.gov.br/-Ar/ar_indice_padrões.htm). Acesso em: 9 set. 2002.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 3 de 28 de junho de 1990. In: COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Legislação federal: controle de poluição ambiental** (atualizada até julho de 1995). São Paulo: CETESB, 1995. p. 59-64. (Série Documentos).

_____. Resolução CONAMA nº 5 de 15 de junho de 1989. In: COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Legislação federal: controle de poluição ambiental** (atualizada até junho de 1995). São Paulo: CETESB, 1995. p.49-52 (Série Documentos).

_____. Resolução CONAMA nº 8 de 06 de Dezembro de 1990. In: COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Legislação federal: controle de poluição ambiental** (atualizada até julho de 1995). São Paulo: CETESB, 1995. p. 66-68. (Série Documentos).

DIAS, J. W. C. **Amostrador de grande volume para partículas totais e suspensão AGV/PTS: manual de operação**. Rio de Janeiro: Energética, 1994. 101 p.

DIAS, J. W. C. **Coletor isocinético de poluentes atmosférico/CIPA: manual de operação**. Rio de Janeiro: Energética, 1997. 32 p.

FRONDIZI, C. A. **Manual de amostragem em chaminé**. Rio de Janeiro: Energética, 1984. Cap. 01-07.

FRONDIZI, C. A. **Manual do software de processamento dos dados da amostragem em chaminé com o CIPA: manual de operação**. Rio de Janeiro: Energética, 1998. 8 p.

FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE. **Legislação ambiental básica do estado de Santa Catarina**. Florianópolis: FATMA, 1995. 49 p.

HESKETH, H.; SCHIFFTNER, K. Wet scrubbers. In: BUONICORE, A. J.; DAVIS, W. T. **Air pollution engineering manual**. New York: Van Nostrand, 1992. p. 78-88.

MACINTYRE, A. J. **Ventilação industrial e controle da poluição**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1990. 395 p.

PANDIS, S. N.; PILINIS, C. In situ particle formation – reaction mechanisms. In: KOUIMTZIS, T.; SAMARA, C. **Airbone particulate matter**. Berlin: Springer, 1995. p. 35-37.

SÁNCHEZ, J. C. D. et al. Evaluation of the air quality in two of the coal regions in Rio Grande do Sul, Brazil, 1995. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEAVY METALS IN THE ENVIRONMENT, 10., Hamburg, 1995. /**Proceedings**/. [s.L.: s.n.], [1995]. n. p.

SÁNCHEZ, L. E. Control de la contaminación del aire. In: REPETO, F. L.; KAREZ, C. S. [Ed.]. **Aspectos geológicos de protección ambiental**. Montevideo: UNESCO, 1995. v. 1, p. 197-204.

SANTOS, J. C. **Manual de programação e cálculos de parâmetros de campo usados em amostragem em chaminé: manual de operação**. Rio de Janeiro: Energética, 1990. 29 p.

SCHMITZ, J. O. J. **Concentração de elementos metálicos associados ao material particulado em suspensão no ar no município de Criciúma**. 1999. 16 p. Dissertação (Especialização) - Universidade do Extremo Sul Catarinense. Criciúma.

TUNER, J. H. et al. Electrostatic precipitators. In: BUONICORE, A. J.; DAVIS, W. T. **Air pollution engineering manual**. New York: Van Nostrand, 1992. p. 89-113.

TRINDADE, H. A. et al. Atmospheric concentration of metals and total suspended particulates in Rio de Janeiro. **Environmental Science & Technology**, Easton, v. 15, n. 1, p. 84-86, Jan. 1981.

UNITED STATES. Environmental Protection Agency. **Reference method for the determination of suspended particulate matter in the atmosphere: high volume method**. [s.L.]: EPA, 1983.

_____. Environmental Protection Agency. **Protection of environment: reference methods**. [s.L.]: EPA, [1985]. Pt. 60, Appendix A, p. 396-454.

YUAN, M. C. (Coord.). **Monitoramento ambiental: campanha de campo - ar**. Criciúma: Engenheiros Consultores Projetistas, 1982. v. 2C, p. 35-39.

REFERÊNCIAS CONSULTADAS

ASHBEE, E.; DAVIS, W. T. Cyclones and inertial separators. In: BUONICORE, A. J.; DAVIS, W. T. **Air pollution engineering manual**. New York: Van Nostrand, 1992. p. 71-78.

BAISCH, P.; MIRLEAN, N.; VANZ, A. Níveis e origem da acidificação das chuvas na região do Rio Grande, RS. **Revista Química Nova**, [s.L.], n. 23, p. 90-92, maio 2000

BAUMBACH, G. **Air quality control: measuring techniques for recording air pollutants**. Berlin: Springer, 1996. p. 261-283.

BOUCHER, D. F. Mecânica dos fluídos e das partículas. In: PERRY, R. H.; CHILTON, C. H. **Manual de engenharia química**. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1986. Cap. 5, p. 3-16.

BUENO, J. L. El aerosol atmosférico: captación y caracterización física. In: BUENO, J. L.; SASTRE, H.; LAVÍN, A. G. **Contaminación e ingeniería ambiental**. Oviedo: Ficyt, 1997. p. 197-221.

CARTON, A. A. Dispersión de efluentes en la atmósfera: diseño de chimeneas. In: BUENO, J. L.; SASTRE, H.; LAVÍN, A. G. **Contaminación e ingeniería ambiental**. Oviedo: Ficyt, 1997. p. 499-506.

CORNILLAUT, J. Medições industriais através de laser. In: MAILLET, H. et al. **O laser – princípios e técnicas de aplicação**. São Paulo: Manole, 1987. p. 329-337.

DANIELSON, J. A. **Air pollution engineering manual**. 2 ed. Washington: Environmental Protection Agency. Office of Air Quality Planning and Standards, 1973. (N.C. Publication n. AP-40).

DOWN, C. G.; STOCKS, J. **Environmental impact of mining**. London: Applied Science, 1997. p. 57-87.

FULLER, F. H. Psicometria. In: PERRY, R. H.; CHILTON, C. H. **Manual de engenharia química**. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1986. Cap. 12, p. 1-18.

FURLONG, D. A.; MCKENNA, J. D. Fabric filters. In: BUONICORE, A. J.; DAVIS, W. T. **Air pollution engineering manual**. New York: Van Nostrand, 1992. p. 113-132.

GALLOWAY, J. N. et al. **Trace metals in atmospheric depositon**: a review and assessment. Oxford: Pergamon Press, 1982. v. 16, n. 7, p. 1677-1700.

GOMIDE, R. **Operações unitárias**: separações mecânicas. São Paulo: O Autor, 1980. v. 3, p. 151-187.

HOLLANDER, W. Sampling of airborne particulate matter. In: KOUIMTZIS, T.; SAMARA, C. **Airbone particulate matter**. Berlin: Springer, 1995. p. 143-173.

KOUTRAKIS, P.; SIOUTAS, C. Methods for measuring atmospheric acidic particles and gases. In: KOUIMTZIS, T.; SAMARA, C. **Airbone particulate matter**. Berlin: Springer, 1995. p. 201-231.

LUCA, C. P. (Coord.) **Estudo de impacto ambiental**: mina do trevo. Criciúma: V.C.S. Engenharia e Consultoria, 1997. p. 84-91.

MESQUITA, A. L. S. et al. **Amostragem em chaminé**. São Paulo: CETESB, 1997. 78 p.

ORTOLANDO, L. **Environmental regulation and impact assessment**: estimating air quality impacts. New York: Wiley, 1997. Cap. 15, p. 357-385.

PACYNA, J. M. Sources, particle size distribution and transport of aerosols. In: KOUIMTZIS, T.; SAMARA, C. **Airbone particulate matter**. Berlin: Springer, 1995. p. 69-97.

PEREZ, J. A. V. Caracterización de la contaminación atmosférica: procedimiento de caracterización y muestreo. In: BUENO, J. L.; SASTRE, H.; LAVÍN, A. G. **Contaminación e ingeniería ambiental**. Oviedo: Ficyt, 1997. p. 175-196.

PORTER, H. F. et al. Sistema gás-sólido. In: PERRY, R. H., CHILTON, C. H. **Manual de engenharia química**. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1986. Cap. 20, p. 73-116.

RENAU, R. G. **Pastas y vidrados**: en la fabricación de pavimentos y revestimientos cerâmicos. Castellón: Faenza Editrice Ibérica, 1994. p. 123-200.

ROQUE, J. L. C. La atmósfera como receptor y difusor de la contaminación. In: BUENO, J. L.; SASTRE, H.; LAVÍN, A. G. **Contaminación e ingeniería ambiental**. Oviedo: Ficyt, 1997. p. 23-43.

SHIGEYAMA, R. T. et al. Validating orsat analysis data from fossil fuel-fired units. **Stack Sampling News**, St. Louis, v. 4, n. 2; p. 21-26, Aug. 1976.

TOMMASI, L. R. **A degradação do meio ambiente: efeitos da poluição do ar sobre o homem, poluição e inversão técnica do ar, os aerossóis, a poluição do ar pelo enxofre, a monitorização do meio ambiente.** 4. ed. São Paulo: Nobel, 1979. p. 59-82.

UNITED STATES. Environmental Protection Agency. **Selecting sites for monitoring total suspended particulates.** [s.L]: EPA, 1997. v.3., Appendix A, p. 77-83. (EPA/450/R-77/18a-a).

_____. **Compilation of air pollutant emission factors.** 4. ed. Washington: USEPA, 1985.

VOLLARO, R. F. **A type s pitot tube calibration study.** Research Triangle Park: U.S.E.P.A., 1974.

YAMANE, E.; SAITO, H. **Tecnologia do condicionamento de ar.** São Paulo: Edgard Blucher, 1986. p. 1-27.

ZURITA, M. L. L.; TOLFO, A. M. **A qualidade do ar em Porto Alegre.** Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2000. 92 p.