

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
QUÍMICA

**MONITORAMENTO E CONTROLE DE EMISSÃO DE
MATERIAL PARTICULADO EM UMA FONTE
ESTACIONÁRIA**

Francisco de Almeida Filho

SÃO CARLOS
2008

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
QUÍMICA

**MONITORAMENTO E CONTROLE DE EMISSÃO DE
MATERIAL PARTICULADO EM UMA FONTE
ESTACIONÁRIA**

Francisco de Almeida Filho

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de São Carlos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Química.

Orientador:

Prof.^a Dr.^a Mônica Lopes Aguiar

SÃO CARLOS
2008

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

A447mc

Almeida Filho, Francisco de.

Monitoramento e controle de emissão de material particulado em uma fonte estacionária / Francisco de Almeida Filho. -- São Carlos : UFSCar, 2009.
131 f.

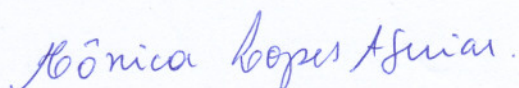
Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2008.

1. Material particulado. 2. Controle de poluição. 3. Ferro-liga. 4. Ar – poluição. I. Título.

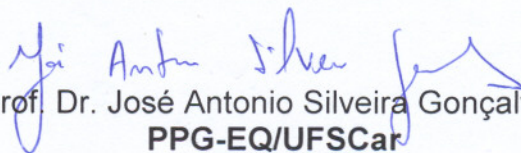
CDD: 660.281 (20ª)

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE FRANCISCO DE ALMEIDA FILHO APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, EM 19 DE NOVEMBRO DE 2008.

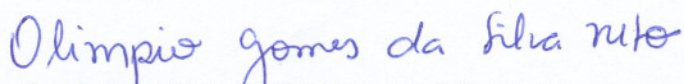
BANCA EXAMINADORA:



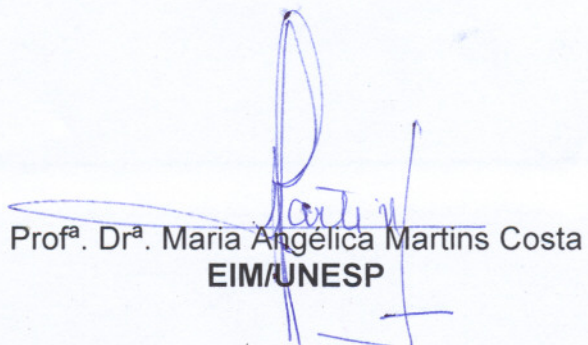
Prof^a. Dr^a. Mônica Lopes Aguiar
Orientador, PPG-EQ/UFSCar



Prof. Dr. José Antonio Silveira Gonçalves
PPG-EQ/UFSCar



Prof. Dr. Olímpio Gomes da Silva Neto
UNIFAE



Prof^a. Dr^a. Maria Angélica Martins Costa
EIM/UNESP

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela beleza e simplicidade das coisas.

Agradeço a meus pais Chico e Mira, por terem me concebido à vida e me dirigirem por ela sempre valorizando o trabalho, o conhecimento e a honestidade como princípios intocáveis.

A minha orientadora Professora Mônica pela paciência, discernimento, conhecimento e disponibilidade, tão importantes para desenvolvimento e maturação deste trabalho.

Aos professores Demerval, Dílson, Freire e José Renato pela minha recondução as atividades acadêmicas, um grande desafio.

Ao Professor Marcos e Ana Beatriz pelo auxílio nos testes de granulometria.

A minha equipe de trabalho na indústria, os amigos Amarildo, Fernando, Robson, Gushi e Marcão, pelo apoio, dedicação e companhia nas horas difíceis e pesadas pelas chaminés, tornando as tarefas mais fáceis e alegres.

A UNESP, Campus Experimental de Itapeva, representada pelo Professor Marcos Tadeu, e a todos seus servidores e docentes.

A Companhia Melhoramentos do Norte do Paraná, Engº Ivo e Sandro, sempre solícitos e companheiros.

A minha amiga e co-orientadora Professora Maria Angélica pelo apoio e direcionamento no sentido de desenvolvimento de um trabalho honesto, focado no conhecimento e respeito ao ser humano.

Aos meus colegas de pós. Agradeço a todos pela ajuda. Apesar de pouco poder ajudá-los saibam que podem sempre contar comigo.

Aos meus filhos Daniel, André Luiz, Marta e Maria Carolina pelo amor e carinho e por cada dia de suas vidas.

A minha esposa Ana, por sua presença constante e seu amor, suportando minhas oscilações com carinho, amor e dedicação, imprescindível a minha vida.

Ao meu neto Gabriel, pela alegria das descobertas e carinho.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi realizar o monitoramento de emissões em fontes fixas, em Baixo Forno de Produção de Ferro-liga e Geradores de Vapor de Indústria de Produção de Álcool e Cana de Açúcar. Este monitoramento de emissões de poluentes foi realizado após os equipamentos de Controle de Emissão realizado por Filtros de Mangas (Bag House) nas Indústrias de Ferro-liga e por Lavadores de Gás nas Indústrias de Álcool. A amostragem de material particulado foi realizada através de coleta isocinética, utilizando um Coletor Isocinético de Poluentes Atmosféricos (CIPA), que permite a amostragem de volume representativo do fluxo gasoso e retenção do material particulado em filtro absoluto. A amostragem e análise de gás foi realizada simultaneamente a coleta isocinética, utilizando um Analizador Eletroquímico de gases para a determinação dos teores de Monóxido de Carbono, Dióxido de Carbono, Óxidos de Nitrogênio e Oxigênio presentes no efluente gasoso. Na Indústria de Ferro-liga constatou-se a eficácia do controle de material particulado em Filtro de Mangas, mantendo a emissão em níveis seguros e atendendo as especificações das Normas Ambientais. Outros fatores relevantes para a manutenção de bom nível de controle foram a eficiência do Sistema de Resfriamento dos Gases, que permite o trabalho seguro do Filtro de Mangas sem flutuações de temperatura que poderiam comprometer o material constituinte das mangas, e a existência de um Programa de Manutenção Preventiva do Sistema de Controle de Emissões que o mantém em perfeitas condições de funcionamento, evitando defeitos e falhas no controle das emissões. Na Indústria de Álcool e Açúcar pode-se observar que o Sistema de Controle de Emissão, com sistema de Lavadores de Gás, atendem aos limites impostos pelos Órgãos Controladores Regionais, através de Normas de Controle de Emissões que praticam valores de emissão ainda passíveis de melhorias para diminuir as emissões, dentro do conceito de Produção Mais Limpa. Finalmente, concluiu-se que os efluentes gasosos se apresentaram com valores de emissão medidos dentro dos limites permitidos pelo Órgão Ambiental. Seu monitoramento sistematizado permitiu a manutenção dos resultados dentro dos parâmetros ambientais estabelecidos, sendo possível atingir melhores níveis de controle ambiental através de medidas preventivas.

PALAVRAS-CHAVE: material particulado, controle de poluição, ferro-liga, poluição atmosférica.

ABSTRACT

The goal of this study was the monitoring of emissions by sources in Lower Furnace Production of Iron-alloy and Steam Generators of Industry Production of Alcohol. This tracking emission of pollutants was conducted after the equipment of Control Issue performed by Filters in a Bag House in the Iron-alloy Industries Washers and in a Scrubber in Alcohol Industries. The sampling of material was accomplished through Isokinetic Collector Sample using the Isokinetic Collector of Atmospheric Pollutants (CIPA) which allows the sampling of representative quantity of gas flow and retention this material in absolute Particulate filter. Sampling and analysis of gas was made at same time using an Electrochemical Gas Analyzer for determining the levels of carbon monoxide, carbon dioxide, oxides of nitrogen and oxygen present in the effluent gas. In the Iron-alloy Industry the effectiveness of the control of particulate matter inside of the Bag House was at safe levels and given the specifications of Environmental Quality. Other relevant factor to the maintenance of good level of control was the efficiency of the Gases Cooling System which allowed the safe working of the Bag House without fluctuations in temperature that could put at risk the constituent material of the fabric filters and also using a Program for Preventive Maintenance System for Control of the Emissions keeps it was in perfect conditions of operation and avoiding defects or failures in controllers environmental. In the Sugar and Alcohol Industry you can see the System Control that must meet the limits imposed by regional bodies through control of emissions standards and limits still needs of improvements to decrease emissions within the new concept of cleaner production. Finally it finds that the emissions are presented with the values of issuing measured within the limits allowed by the Environmental Bodies. Its systematic monitoring will allow the maintenance of results within the environmental parameters which one can achieve higher levels of environmental control through preventive measures and monitoring.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

	p
FIGURA 1. Mecanismo de Formação de Fuligem em Queima de Combustível Líquido	22
FIGURA 2. Micrografia das Cenosferas. Microscópio Eletrônico de Varredura.....	23
FIGURA 3. Esquema Geral de um separador de partículas (Licht, 1988)	31
FIGURA 4. Mecanismo de filtração no conjunto meio filtrante e torta	34
FIGURA 5. Desenho Esquemático de um Filtro de Mangas	37
FIGURA 6. Desenho Esquemático de um Lavador de Bandejas	38
FIGURA 7. Gráfico do número mínimo de pontos para amostragem de material particulado	40
FIGURA 8. Gráfico do número mínimo de pontos para determinação de velocidade de fluxo	41
FIGURA 9. Corte Transversal de um Duto de Seção Circular com a Localização dos Pontos de Amostragem.....	42
FIGURA 10. Pontos de amostragem em Duto de Seção Quadrada-Corte Transversal.....	43
FIGURA 11. Excesso de Material Coletado devido a alta velocidade de coleta	51
FIGURA 12. Perda de Material coletado devido à baixa velocidade de coleta.....	51
FIGURA 13. Mecanismo de Coleta Isocinética.....	52
FIGURA 14. Foto Geral de Equipamento CIPA.....	54
FIGURA 15. Esquema do Trem de Amostragem	55
FIGURA 16. Unidade de Controle.....	58
FIGURA 17. Bomba de Vácuo acoplada a Unidade de Controle.....	58
FIGURA 18. Caixas Quente e Fria, contendo vidraria.....	59
FIGURA 19. Detalhe da Caixa Quente e Acessórios.....	60
FIGURA 20. Detalhe da Porta Filtro.....	61

FIGURA 21.	Detalhe da Sonda sem extensão.....	61
FIGURA 22.	Detalhe da Sonda com extensão.....	62
FIGURA 23.	Detalhe da Sonda sem extensão - 2.....	63
FIGURA 24.	Detalhe do Cordão Umbilical	64
FIGURA 25.	Foto de uma plataforma segura para amostragem de Gases.....	68
FIGURA 26.	Definição do número de pontos de amostragem	69
FIGURA 27.	Posicionamento da Sonda em uma Chaminé	71
FIGURA 28.	Fluxograma Simplificado do Processo de Ferro-Liga e Tratamento do Efluente Gasoso	76
FIGURA 29.	Fluxograma Simplificado do Processo de Ferro-Liga e Tratamento dos Efluentes Gasosos.....	76
FIGURA 30.	Concentração de CO e NO _x no efluente gasoso.....	84
FIGURA 31.	Massa Molares Obtidas nas Amostragens.....	85
FIGURA 32.	Volume de Gases Coletado.....	86
FIGURA 33.	Comparação da Velocidade do Fluxo x Limites Operacionais	87
FIGURA 34.	Isocinética Obtida nas Amostragens em Fornos de Ferro-liga.....	87
FIGURA 35.	Concentração de Material Particulado no Fluxo Gasoso	89
FIGURA 36.	Taxa de Emissão de Material Particulado no Fluxo Gasoso.....	90
FIGURA 37.	Principais substâncias contidas no material particulado	92
FIGURA 38.	Distribuição Granulométrica do Material Particulado	93
FIGURA 39.	Concentração de O ₂ nos Gases Analisados.....	97
FIGURA 40.	Concentração de CO nos Gases de Combustão.....	97
FIGURA 41.	Concentração de NO _x nos gases analisados.....	99
FIGURA 42.	Teor de Umidade nos Gases Amostrados.....	100
FIGURA 43.	Massas Molares dos Gases Amostrados.....	101

FIGURA 44. Isocinética das Amostragens.....	102
FIGURA 45. Comparação das Velocidades de Fluxo com os Limites do Equipamento	102
FIGURA 46. Concentração de Material Particulado nos Gases Amostrados.....	103
FIGURA 47. Taxa de Emissão de Particulados nos Gases Amostrados.....	104
FIGURA 48. Distribuição Granulométrica do Material Particulado.....	105

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1.	Dados Técnicos Gerais do CIPA.....	56
QUADRO 2.	Dados Técnicos da Bomba de Vácuo.....	58
QUADRO 3.	Características do Analisador Portátil UNIGAS 3000 MKIII	65
QUADRO 4.	Dados Iniciais de Amostragem.....	81
QUADRO 5.	Dados de Análise Prévia.....	95

LISTA DE TABELAS

	p
TABELA 1. Análise Elementar e Poder Calorífico de Alguns Combustíveis.....	21
TABELA 2. Limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de geração de calor a partir da combustão externa de bagaço de cana-de-açúcar.	27
TABELA 3. Limites de Emissão de Poluentes Atmosféricos Gerados em Indústrias Siderúrgicas Integradas e Semi Integradas.....	28
TABELA 4. Limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de geração de calor a partir da combustão externa de bagaço de cana-de-açúcar	29
TABELA 5. Eficiência dos Equipamentos de Controle de Emissão de Particulados.....	33
TABELA 6. Distribuição dos Pontos de Amostragem em Relação às Áreas Equivalentes.....	42
TABELA 7. Princípios de Detecção de Compostos Gasosos.....	46
TABELA 8. Sistemas e Métodos de Coleta de Amostras	47
TABELA 9. Dados Técnicos da Extensão.....	63
TABELA 10. Posicionamento dos pontos de amostragem no eixo de medição no Forno 03	70
TABELA 11. Planilha de Coleta de Dados Preliminares.....	72
TABELA 12. Valores Especificados para Amostragem.....	73
TABELA 13. Dados Coletados na Amostragem.....	74
TABELA 14. Elementos e Substâncias possíveis de serem Determinadas pelo Espectrômetro de Raio X.....	77
TABELA 15. Determinação do Número de Pontos de Amostragem – Fluxo a Montante	80
TABELA 16. Determinação do Número de Pontos de Amostragem Fluxo a Jusante	80
TABELA 17. Determinação do Posicionamento dos Pontos de Amostragem	82
TABELA 18. Determinação Real do Posicionamento dos Pontos de Amostragem	82

TABELA 19.	Resultados Obtidos na Análise dos Gases em Fornos de Ferro-Liga.....	83
TABELA 20.	Resultado da Análise Química de Material Particulado	91
TABELA 21.	Limites de Emissão em Função da Potência Térmica Nominal	94
TABELA 22.	Localização dos Pontos de Amostragem	95
TABELA 23.	Análise dos Gases de Combustão dos Geradores de Vapor	96

Sumário

	p
1. Introdução.....	15
1.1. Objetivos Gerais e Específicos	17
2. Revisão Bibliográfica.....	18
2.1. Processo de Produção	18
2.1.1. O Processo de Produção de Ferro-Liga.....	18
2.1.2. O processo de Geração de Vapor na Produção de Álcool.....	20
2.2. Combustão Industrial.....	21
2.3. Poluição e Poluentes Atmosféricos.....	23
2.4. O Material Particulado.....	24
2.5. Doenças Respiratórias Provocadas pela Inalação de Poluentes atmosféricos.....	25
2.6. Órgãos Legisladores e Fiscalizadores.....	26
2.6.1. Legislação e Normas Aplicáveis.....	29
2.7. Equipamentos para Limpeza dos Gases.....	30
2.7.1. Eficiência de um Equipamento Separador de Partículas.....	31
2.7.2. Filtro de Mangas	33
2.7.3. Lavador de Gases.....	37
2.8. Medição do Fluxo de Gás.....	39
2.9. Medição da Composição Química do Gás.....	45
2.10. Cálculo da Umidade Contida no Gás.....	47
2.10.1. Cálculos Utilizando a Psicrometria.....	48
2.10.2. Análise Prévia nas Condições da Chaminé.....	48
2.11. Mecanismos de Coleta de Material Particulado.....	50
3. Materiais e Métodos.....	53
3.1. Coletor Isocinético de Poluentes Atmosféricos (CIPA)	53
3.1.1. Aplicações Gerais do Equipamento CIPA.....	53
3.1.2. Componentes do Equipamento.....	54
3.1.2.1. Unidade de Controle	56
3.1.2.2. Caixa da Bomba.....	57
3.1.2.3. Unidade de Amostragem.....	59
3.1.2.4. Unidade de Coleta - Sonda.....	61

3.2.	Analizador Eletroquímico Portátil.....	64
3.3.	Determinação da Massa Molar do Gás.....	65
3.3.1.	Determinação da Massa Molar do Gás Seco.....	66
3.3.2.	Determinação da Massa Molar do Gás Úmido.....	66
3.4.	Premissas para Amostragem e Coleta.....	67
3.4.1.	Escolha dos Pontos de Amostragem.....	67
3.5.	Amostragem e Determinação de Material Particulado.....	72
3.6.	Composição do Material Coletado.....	75
3.6.1.	Composição Química Esperada.....	77
3.6.2.	Composição Granulométrica Esperada	78
4.	Resultados e Discussões	79
4.1.	Dados Obtidos na Amostragem em Fornos de Ferro-liga.....	79
4.1.1.	Análise Prévia nas Condições da Chaminé.....	79
4.1.2.	Localização dos Pontos de Amostragem.....	81
4.1.3.	Cálculo da Umidade Contida no Gás.....	83
4.1.3.1.	Medição da Composição Química do Gás.....	83
4.1.3.2.	Determinação das Massas Molares do Gás.....	85
4.1.4.	Medição do Fluxo de Gás e Validação das Amostras	85
4.1.5.	Concentração de Material Particulado	88
4.1.6.	Taxa de Emissão de Material Particulado.....	89
4.1.7.	Composição do Material Coletado	90
4.1.7.1.	Composição Química Determinada do Material Particulado.....	90
4.1.7.2.	Composição Granulométrica Determinada.....	92
4.2.	Dados Obtidos em Geradores de Vapor na Indústria de Álcool.....	93
4.2.1.	Análise Prévia nas Condições da Chaminé.....	94
4.2.2.	Escolha dos Pontos de Amostragem.....	95
4.2.3.	Medição da Composição Química do Gás.....	96
4.2.3.1.	Cálculo da Umidade Contida no Gás.....	99
4.2.3.2.	Determinação da Massa Molar do gás.....	100
4.2.4.	Medição do Fluxo de Gás.....	101
4.2.5.	Concentração de Material Particulado.....	103
4.2.6.	Taxa de Emissão de Material Particulado.....	104
4.2.7.	Composição Granulométrica do Material Coletado.....	105

5.	Conclusão.....	106
6.	Comentários finais.....	107
6.1.	Sugestões para Trabalhos Futuros	107
7.	Referências Bibliográficas.....	108
8.	Anexos.....	112

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de remover partículas presentes no efluente gasoso de uma indústria é fundamentada em interesses econômico e social. Do ponto de vista econômico a indústria se depara com a possibilidade de reavaliar suas emissões, fazendo a recuperação do material particulado através de equipamentos de retenção destes materiais e, estudando a possibilidade de reuso no processo industrial ou em outras aplicações dentro ou fora da indústria. Por outro lado, a condição de operação de alguns equipamentos industriais, que sofrem uma deterioração expressiva quando processam um efluente gasoso carregado com partículas em suspensão, provocando desgaste mecânico por abrasão ou desgaste químico por corrosão, diminuindo a vida útil do equipamento e causando paradas indesejadas.

O lado social está ligado à atenuação dos efeitos de contaminação dos ambientes interno e externo a indústria, que comprometem a saúde da população envolvida e da imagem da empresa frente à sociedade local. Os efeitos da poluição são extremamente debatidos atualmente nos meios acadêmico e científico.

Atualmente os meios de comunicação veiculam informações cada vez mais debatidas a respeito da poluição, seus efeitos maléficos à população e ao ecossistema como um todo, enfatizando a necessidade de se objetivar cada vez mais o conceito de “produção mais limpa”. O aquecimento global, os elevados níveis de poluição localizada, os lixões e outras notícias relativas ao meio ambiente são objeto de debate constante. Este fato leva as instituições a buscarem o caminho ideal para esta nova modalidade de trabalho, seja através de alteração na planta produtiva ou pela concepção de novos projetos de reutilização, seguindo estas novas premissas.

Outro fato relevante é a ação dos órgãos ambientais que exigem melhores condições ambientais através da legislação ambiental e fiscalização, provocando a busca de melhorias no processo produtivo para diminuir a emissão de poluentes, a criação de planos de adequação à legislação atual e impondo sanções administrativas e financeiras. Muitas vezes, por desconhecimento de suas próprias fontes de emissão de poluentes, uma empresa corre o risco de assumir um passivo ambiental ou de programar um conjunto de ações, desconhecendo a forma a melhorar o quadro apresentado e adaptar-se às alterações sugeridas para mudanças na planta industrial.

Para o estudo destas melhorias e de adequações ao processo foi definido e proposto este trabalho, que tem como objetivo realizar um monitoramento das emissões em

fontes fixas, em chaminés de Processos Industriais de Produção de Ferro-liga e de Usinas de Produção de Álcool. Através deste monitoramento, buscou-se conhecer melhor o processo, caracterizou seus resíduos e proporcionou à indústria um equilíbrio operacional para estabelecer novos limites técnicos se necessário, visando atender às ações recomendadas pelo órgão ambiental, através da legislação ambiental vigente. Uma vez atingido o objetivo iniciou a implantação de melhorias contínuas e a implantação do monitoramento contínuo, visando atingir uma melhor Qualidade Ambiental.

1.1. OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

- Fazer medições em chaminés de processos de produção de ferro-liga e de caldeiras de geradores de vapor em usinas de produção de álcool;
- Determinar a concentração de Material Particulado descarregados no ar ambiente pelos dois processos;
- Determinar a composição química dos gases de descarga;
- Caracterização química e granulométrica do Material Particulado coletado na chaminé do processo de ferro-liga;
- Caracterização granulométrica do Material Particulado coletado na chaminé do gerador de vapor em usinas de álcool;
- Verificar a eficácia do sistema de tratamento de efluentes gasosos nos dois processos;
- Comparar os resultados obtidos com os limites de emissão estabelecidos pelas Normas Ambientais Nacionais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O monitoramento de emissões gasosas em fontes fixas, contendo gases nocivos e material particulado, e sua inserção como parte integrante do gerenciamento ambiental de uma empresa será o objetivo do desenvolvimento deste trabalho

Para conhecer o Processo Produtivo, qualificar e quantificar seus potenciais materiais poluentes emitidos tornou-se necessário descrever este processo, conhecer suas matérias primas, seu mecanismo de geração de efluentes gasosos e os seus efeitos poluentes no meio ambiente.

Desta forma, se iniciou a descrição do Processo Produtivo.

2.1. Processos de Produção

Descreveu-se a seguir os dois processos: o processo de Produção de Ferro-liga e o processo de Geração de Vapor para Indústrias de Álcool e Açúcar. Estes processos foram detalhados por serem os utilizados neste estudo.

2.1.1. O Processo de Produção de Ferro-Liga

O processo de produção de Ferro-Liga em Baixo Forno Elétrico à Arco faz parte de uma usina siderúrgica não integrada. Esta usina produz dois tipos de Ferro-Liga que são usados como matéria prima na produção de aços ligados, como fonte de elementos metálicos ligantes, o Ferro-Manganês e o Ferro-Silício-Manganês. Um Ferro-Liga de Manganês Alto Carbono, por exemplo, é uma mistura de Ferro e Manganês de fácil absorção pelo aço por se tratar de uma liga a base de Ferro, semelhante ao aço, que além de adicionar o Manganês ainda promove o aumento de Carbono ao aço, melhorando suas propriedades físicas e químicas finais. Para a produção desta liga metálica utiliza-se uma mistura de minérios, escorificantes, fundentes e redutores (fontes de Carbono) que são preparados para alimentar os fornos, podendo gerar materiais particulados provenientes da degradação física do material em processos mecânicos e particulados finos gerados pelo meio em reação, no interior do Forno.

A matéria prima e combustíveis que constituem a carga do Forno é composta de:

- a) Minério de Ferro – minério responsável pelo balanço do teor de ferro na liga metálica, o minério de ferro adicionado é a Hematita (Fe_2O_3);
- b) Minério de Manganês (Mn_2O_3) – é o principal minério e sua função é adicionar manganês as ligas de Ferro-Manganês, sua parte mineral é uma mistura de óxidos de manganês;
- c) Sinter – aglomerado de finos de minério proveniente de um processo de aglomeração térmica, a Sinterização, constituídos de uma mistura de finos de minérios e fundentes, gerados no tratamento físico;
- d) Calcário (CaCO_3) – é o mineral responsável pela formação de Óxido de Cálcio (CaO), que ajudará na purificação química da liga na formação da escória;
- e) Quartzo ou Quartzito (SiO_2) – reage com o CaO formando a escória e adiciona Silício metálico a liga;
- f) Carvão Mineral – é utilizado como combustível no aquecimento da carga e principalmente como redutor, ou seja, ajuda os eletrodos a gerar calor e promovem a redução do Minério, formando a Liga Metálica, e gerar energia na forma de calor para fundir a carga e promover as reações de Metalurgia;
- g) Biomassa – é composta por uma mistura de cavacos de madeira, subproduto da indústria madeireira, material com dimensões em torno de 0 a 100 mm, utilizada como fonte alternativa de calor, substituindo parcialmente o carvão mineral;
- h) Carvão Vegetal – pode ser usado substituindo total ou parcialmente o carvão mineral e a biomassa.

Devido ao tratamento físico na preparação destes materiais, tais como britagem, peneiramento e transporte, ocorre a degradação destes materiais e a geração de material fino que ficará aderido a sua superfície. Após a secagem no processo e devido às operações internas de Baixos Fornos Elétricos, ocorre o desprendimento da poeira fina mineral e as emissões de poluentes atmosféricos provenientes da evolução da combustão em leito misto. Esta mistura de materiais finos e dos gases do processo é coletada pelo sistema de exaustão e, complementada pelo ar ambiente, compõem o fluxo gasoso.

A operação dos fornos é feita através da formação de um leito constituído por uma mistura de matérias prima, em proporções previamente calculadas e que é alimentada ao forno. Após a carga do forno, os eletrodos são aproximados à superfície da carga provocando o arco voltaico entre as três fases, fenômeno de transformação de energia elétrica em energia

térmica, desenvolvendo calor, para fundir a carga e promover as reações metalúrgicas de redução.

No processo têm-se grandes variações de pressão provocadas pela instabilidade da parte superior do forno, onde a carga é movimentada para a formação de uma falsa abóbada, acontecendo grandes emanações de poeiras que são arrastadas junto aos gases de combustão e vapores gerados no processo, sendo aspirados por um exaustor e lançados à atmosfera, diluídos em parte pelo ar ambiente em decorrência da abertura superior do forno.

Gioda (2004) estudou a qualidade do ar de Volta Redonda - RJ e constatou que a maior fonte de poluição da região estudada é proveniente de tratamento de minérios e queima de carvão, para os processos de produção de aço e cimento. Também demonstraram que o nível de poluição a barlavento das Indústrias é menor que a sotavento, ou seja, que a dispersão dos poluentes tem como veículo principal de transporte o fluxo de ar provocado pelas correntes de ar em movimento. Sendo “barlavento” o posicionamento do ponto estudado antes da indústria em relação à direção do vento predominante e “sotavento” o posicionamento do ponto referenciado após a indústria.

2.1.2. O Processo de Geração de Vapor na Produção de Álcool

O processo industrial de produção de álcool e açúcar utiliza o vapor como veículo de transporte de energia. Ele serve para o desenvolvimento de diversas reações, operações de secagem e de aquecimento e, também, para a conversão de energia em trabalho através de equipamentos eletromecânicos, que é feito pelo acionamento de turbinas a vapor gerando eletricidade e equipamentos tais como: moendas, bombas e ventiladores. A demanda térmica do processo é atendida pelo vapor das turbinas após a conversão. Os novos projetos de expansão ou de novas plantas produtivas já estão sendo concebidos visando a cogeração de energia elétrica, com o excesso de energia térmica gerada pela queima do resíduo do processo de moagem da cana, o bagaço de cana.

Leme (2004) constatou que atualmente, todas as usinas e destilarias brasileiras possuem sistemas de geração de vapor, que operam em cogeração, queimando bagaço. A grande maioria delas é auto-suficiente em suas demandas térmica e eletromecânica, podendo se tornar usinas co-geradoras de energia elétrica, comercializando a sua energia excedente.

O bagaço de cana é o combustível utilizado para alimentação as fornalhas e possui características peculiares por se tratar de um produto resultante da extração do caldo,

através da moagem e da lavagem. O bagaço de cana gerado tem alta umidade e produz um gás de combustão rico em vapor de água, com aparência de uma fumaça densa com baixa dispersão na corrente aérea. Como é gerado diretamente do processo, sem tratamento de secagem ou preparação, o bagaço apresenta umidade em torno de 50% e baixo poder calorífico. Sua utilização se torna viável em virtude de sua produção estar ao lado de seu local de consumo e por isto não apresentar custo de transporte.

A Tabela 01 apresenta os valores de análise elementar de alguns combustíveis, entre eles o Bagaço de Cana, e seus respectivos poderes caloríficos, em base seca. Nota-se que os valores para bagaço são em base seca e se considerar 50% de umidade, que é o teor de umidade do bagaço na Indústria, o seu Poder Calorífico cai para a metade. Em casos onde a produção do bagaço é maior que o consumo ou em paradas da caldeira, o bagaço é armazenado e pode variar sua composição, perdendo umidade ou iniciando um processo de fermentação e degradação.

Tabela 01 - Análise Elementar e Poder Calorífico de Alguns Combustíveis

Combustível	Análise Elementar (% em massa, base seca)					Poder Calorífico (MJ/Kg, base seca)	
	C	H	O	S	N	Superior	Inferior
Bagaço de Cana	46,3	6,4	43,3	<0,1	-	18,9	17,5
Cavacos de Eucalipto	48,3	5,8	44,6	<0,10	0,6	19,6	18,3
Casca de Eucalipto	43,3	5,0	46,8	<0,10	0,8	16,8	15,7
Carvão Vegetal	77 a 92	5,8 a 3,5		<0,1	1,3 a 2,5	20,9 a 23,5	20,3 a 22

Fonte: Material Didático do Curso de Combustão do Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT.

2.2. Combustão Industrial

Combustão é uma reação química de oxidação entre duas substâncias, combustível e comburente, exotérmica, gerando gases a altas temperaturas e com altas velocidades de reação devido ao elevado nível de energia liberado.

Combustão Industrial são os diversos processos de combustão, utilizados na indústria para conversão de energia, aquecimento ou fornecimento de energia em reatores de processos químicos, tais como fornalhas e fornos.

A combustão pode ser um dos principais geradores de materiais particulados. Mesmo em perfeitas condições de processo, os combustíveis sólidos ou líquidos podem, devido à alta velocidade de passagem pelo reator, gerar partículas incombustas de pequenas dimensões e constituídas basicamente de um composto de alta relação Carbono/ Hidrogênio, normalmente chamado de fuligem, como mostra a Figura 01.

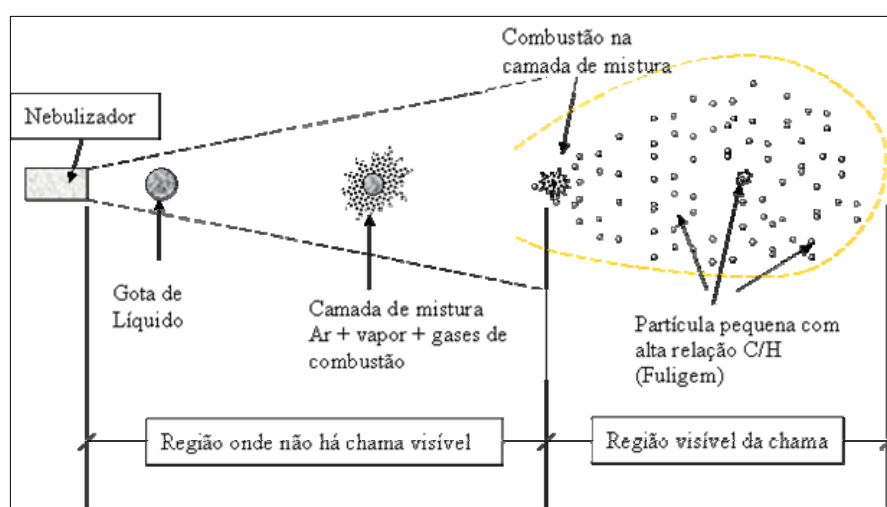


Figura 01 - Mecanismo de Formação de Fuligem em Queima de Combustível Líquido

Fonte de referência: Material Didático do Curso de Combustão do Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT.

Esta fuligem, por suas dimensões, pode ser arrastada no fluxo de gás de saída e constituir, junto com os pós e névoas produzidos no processo, o Material Particulado. Na combustão de hidrocarbonetos, sólidos e líquidos, é comum se ter partículas esféricas e geralmente ocas, constituídas por material não oxidado durante a combustão, que são caracterizadas como Cenosferas, como mostra a Figura 02.

Bertran (2004) analisou o material particulado formado na queima de óleo residual e pela sua requeima usando gás natural como auxiliar de combustão, em forno piloto. Utilizando Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) observou que o mesmo tipo de partículas se formava, apesar da requeima. O material particulado era composto essencialmente por partículas em forma esférica, com diâmetros variáveis e grande presença de poros, como se observou na Figura 02.

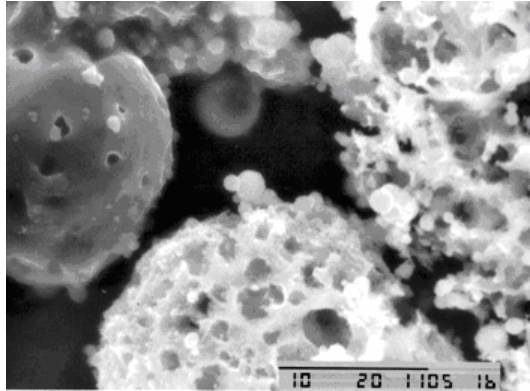


Figura 02 - Micrografia das Cenosferas. Microscópio Eletrônico de Varredura (aumento 3500x, barra de referência = 10 μ m).

Fonte: “Study of the particulate matter emitted from residual oil combustion and natural gas reburning”

Estes materiais são carregados pelo fluxo de gases de combustão e serão caracterizados como poluentes se forem lançados diretamente na atmosfera, como foi descrito a seguir.

2.3. Poluição e Poluentes Atmosféricos

Segundo a Lei Federal Nº. 6.938 DE 31 DE AGOSTO DE 1981, art. 3º, III, já alterada pela Lei nº. 7804 de 18 de julho de 1989, a poluição é definida como “a degradação da qualidade ambiental, resultante de atividade que direta ou indiretamente”:

- a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
- c) afetem desfavoravelmente a biota;
- d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente”.

Pela norma ABNT-NBR 8969, de julho de 1985, Poluição do Ar significa “a presença de um ou mais poluentes atmosféricos” e Poluente Atmosférico é definido como “toda e qualquer forma de matéria e/ou energia que, segundo suas características, concentração e tempo de permanência no ar, possam causar ou venha a causar danos à saúde, aos materiais, à fauna e a flora e seja prejudicial à segurança, ao uso e ao gozo da propriedade, à economia e ao bem-estar da comunidade. O mesmo significado que contaminante atmosférico”.

Segundo Lora (2002), a poluição do ar pode ser de origem natural (vulcões, processos microbiológicos, etc.) e de origem antropogênica (combustão industrial, transportes, geração de energia, etc.).

De acordo com Magrini et al (2001) os poluentes atmosféricos são classificados em dois tipos: poluentes primários e poluentes secundários. Os poluentes primários são emitidos diretamente da fonte poluidora para a atmosfera. Entre os principais poluentes primários destacam-se:

- Monóxido de Carbono (CO);
- Material Particulado (fumo, poeira, névoa);
- Óxidos de Nitrogênio (NO_x);
- Óxidos de Enxofre (SO_x);
- Hidrocarbonetos;
- Dióxido de Carbono (CO₂);
- Metano (CH₄);
- Óxido Nitroso (N₂O).

Os poluentes secundários são formados na atmosfera a partir de reações químicas entre poluentes (primários). Entre os principais poluentes secundários tem-se:

- Ozônio Troposférico (O₃);
- Peróxido de Hidrogênio (H₂O₂);
- Aldeídos;
- Peroxiacetilnitrato (PAN);
- Ácido Sulfúrico (H₂SO₄);
- Ácido Nítrico (HNO₃)

A seguir, este estudo investigou a emissão de poluentes primários, dentre estes contaminantes possíveis de se encontrar no fluxo gasoso, coletados em Chaminés na saída do processo, sendo eles o material particulado e os gasosos, o Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrogênio (NO_x), Óxidos de Enxofre (SO_x) e o Dióxido de Carbono (CO₂).

2.4. O Material Particulado

Arbitrariamente pode-se classificar Material Particulado como partículas com diâmetro médio entre 0,1 µm e 100 µm.

Lora (2002) define Material Particulado (MP) como qualquer substância, à exceção da água pura, que existe como líquido ou sólido na atmosfera e que tem dimensões microscópicas ou sub-microscópicas, porém maiores que as dimensões moleculares.

Segundo Nevers (1999), os materiais particulados são classificados como Particulados Suspensos Totais (PST ou PTS) e podem permanecer no ar por um tempo que pode variar de segundos a até minutos, dependendo de seu tamanho.

Os materiais particulados de diâmetro médio menor que 10 μm e 2,5 μm são chamados de PM_{10} e $\text{PM}_{2,5}$, respectivamente, e são denominados particulados “respiráveis”, pois podem ser absorvidos pelo ser humano na respiração, indo se alojar no sistema respiratório inferior, comprometendo o funcionamento dos alvéolos e provocando perdas respiratórias irreversíveis, podendo levar até a morte do indivíduo, como será abordado no tópico a seguir.

2.5. Doenças Respiratórias Provocadas pela Inalação de Poluentes Atmosféricos

O sistema respiratório humano processa de 10 a 20 m^3 de ar por dia, para promover as reações de troca de Oxigênio (O_2) e Dióxido de Carbono (CO_2), na circulação. Pelas suas características os Materiais Particulados são conduzidos pelo ar, até as vias aéreas internas, podendo atingir, em função de seu pequeno diâmetro (PM_{10} e $\text{PM}_{2,5}$), as vias mais profundas do sistema respiratório, os bronquíolos. Por sua constituição, os bronquíolos tendem a reter estes materiais, dificultando sua eliminação, e provocando doenças respiratórias graves.

No caso específico do Material Particulado, deve-se atentar para algumas doenças específicas que podem ser geradas no ambiente de fábrica estudado, através da respiração, tais como:

- a) Silicose – doença causada pela aspiração de pós contendo Sílica (SiO_2), com ação químico-mecânica, que ao atingir os alvéolos provocam a defesa orgânica do organismo que dispara uma proliferação celular, formando as fibroses e diminuindo a capacidade respiratória gradativa, até causar obstrução crônica, provocando a morte. O processo é irreversível e não tem cura, podendo atingir estágio crônico após dois anos, de acordo com o grau de exposição ao meio agressivo;

- b) Siderose – Ocorre quando há inalação de Ferro através da respiração, dificultando a respiração à medida que a doença evolui, não causando fibrose. Pode ser reversível quando não associada à Sílica e o afastamento do indivíduo do local de trabalho pode promover a melhora gradativa.

Capitani (2006) descreveu a Siderose como uma doença de difícil diagnóstico devido ao fato de se encontrar associada à Sílica, podendo ser considerada como uma siderossilicose, em casos de minerações, indústrias siderúrgicas e de transformação.

Peres (2005), ao estudar o mecanismo de interação do Monóxido de Carbono na respiração humana, durante atividade física em ambiente poluído, concluiu que fica evidente que o CO influencia adversamente ao desempenho físico, já que possui propriedades que alteram aspectos fisiológicos. Ressalta o mecanismo de ação do monóxido de carbono (CO) que tem a capacidade de alterar a habilidade dos eritrócitos de carregar oxigênio para o músculo esquelético e outros tecidos.

Preutthipan et al (2004) mostrou que quando os níveis de PM₁₀ ultrapassaram os níveis do padrão nacional de emissão, em Bangkok, mais crianças asmáticas apresentaram coriza, espirros e congestão nasal e mais crianças não asmáticas relataram algum dos sintomas, associando assim à poluição com material particulado PM₁₀ com irritação em crianças com asma e sintomática em crianças não asmáticas.

Salthammer (2008) comenta que “um corredor de provas de resistência respira cerca de duas a três vezes mais que o normal, com volumes totais cerca de quatro a seis vezes maiores. Respirando pela boca sem o filtro nasal os poluentes podem penetrar mais profundamente nas regiões do pulmão”. Este fato entre outros levou o Governo Chinês a propor uma trégua de emissão de poluição atmosférica durante a realização dos jogos olímpicos.

Em função dos fatores negativos envolvidos torna-se necessário o estabelecimento de limites de emissão. Estes limites são especificados pelos órgãos controladores a nível municipal, estadual e nacional, como mostrado a seguir.

2.6. Órgãos Legisladores e Fiscalizadores

O CONAMA, Conselho Nacional de Meio Ambiente, é o órgão que legisla sobre a qualidade do ar no Brasil e estabelece limites de qualidade do ar. Neste caso, tem-se a Resolução N°. 382, de 26 de Dezembro de 2006 que estabelece padrões de emissão para

processos de geração de calor e conversão de energia térmica, entre eles está a combustão externa de bagaço de cana-de-açúcar, como mostra a Tabela 02.

Tabela 02 – Limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de geração de calor a partir da combustão externa de bagaço de cana-de-açúcar.

Potência Térmica Nominal (MW)	Material Particulado ⁽¹⁾ (mg/Nm³)	CO⁽¹⁾ (mg/Nm³)	NOx⁽¹⁾ (mg/Nm³)
Menor que 10	280	N. A.	N. A.
Entre 10 e 75	230	N. A.	350
Maior que 75	200	N. A.	350

Sendo: ⁽¹⁾ os resultados devem ser expressos na unidade de concentração (mg/Nm³), em base seca e 8% de excesso de oxigênio (O₂ ref.).

Fonte: CONAMA RESOLUÇÃO Nº. 382, DE 26 DE DEZEMBRO DE 2006, Anexo III.

Para as fontes fixas do processo de produção de Ferro-Liga em forno elétrico se aplicam os limites de emissão de poluentes do processo de produção de Aço em forno elétrico, pois ambos são similares. Os limites que se referem ao processo de produção de Ferro-Liga estão em tópico específico como “(c.1) sistema de despoeiramento secundário da aciaria elétrica: sistema destinado à captação e tratamento para remoção do material particulado, tanto aquele gerado na operação de carregamento de sucata quanto o contido nas emissões fugitivas originadas nos processos de fundição da sucata, refino e vazamento do aço”, de acordo com a Tabela 03.

Toda medida de gases deverá ter conversão às condições referenciais de oxigênio, de acordo com a Equação 01, da Resolução Nº 382/2006 do CONAMA.

$$C_r = \frac{(21 - O_R)}{(21 - O_M)} * C_M \quad (01)$$

Sendo:

C_r- Concentração do poluente corrigida para a condição estabelecida na Resolução (mg/Nm³);

O_R - Percentagem de oxigênio de Referência, conforme a Resolução, estabelecida para cada fonte fixa de emissão, neste caso igual a 8%;

O_M - Percentagem de oxigênio medido durante a amostragem (%);

C_M - Concentração do poluente determinada na amostra (mg/Nm³);

Tabela 03 – Limites Máximos de Emissão de Poluentes Atmosféricos Gerados em Indústrias Siderúrgicas Integradas e Semi-Integradas

Unidade de Produção	Fonte de Emissão Pontual	Material Particulado⁽¹⁾ (MP)	SO₂	NOx ⁽¹⁾ (como NO₂)	% O₂ ⁽¹⁾
Aciaria Elétrica ⁽²⁾	Sistemas Primário e Secundário de Despoeiramento	≤ 50 t/c: 50 > 50 t/c: 40	N.A.	N.A.	N.A.
<p>Sendo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ⁽¹⁾ os resultados devem ser expressos na unidade de concentração mg/Nm³, em base seca e 8% de excesso de oxigênio (O₂ ref.). - t/c - tonelada por corrida. - N.A. - Não aplicável. - ⁽²⁾ Aciaria Elétrica e Processo de Produção de Ferro-liga em fornos elétricos são processos similares. 					

Fonte: RESOLUÇÃO CONAMA N.º 382, DE 26 DE DEZEMBRO DE 2006, Anexo XIII.

Os órgãos controladores e fiscalizadores são organizados em âmbito estadual. No Estado de São Paulo existe a Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo e tem como órgão responsável pelo controle e fiscalização a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), que segue diretrizes preconizadas em normas próprias em conformidade com o CONAMA, não podendo ser menos restritivas que o órgão nacional. No Estado do Paraná, os Órgãos Controladores são: a Secretaria do Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA-PR) e o Instituto Ambiental do Paraná (IAP).

No Estado do Paraná a legislação é a Resolução N.º 054/06 - SEMA que estabelece os limites citados na Tabela 04.

Tabela 04 – Limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de geração de calor a partir da combustão externa de bagaço de cana-de-açúcar.

Fonte: Resolução N° 054/06 - SEMA - PR

Potência Térmica Nominal ¹⁾ MW	Densidade colorimétrica	MP-total mg/Nm ³	CO mg/Nm ³	NO _x mg/Nm ³	SO _x mg/Nm ³	Automonitoramento – Amostragem	
						Parâmetros	Freqüência
Até 0,5	20% equivalente ao Padrão 1 da Escala Ringelmann ²⁾	730	7.800	NA	NA	CO ou MP-total, O ₂	Anual
Entre 0,5 e 2,0		730	3.900	NA	NA		Anual
Entre 2,0 e 10		730	3.250	NA	NA	Semestral	
Entre 10 e 50		520	2.600	500	NA	MP-total, CO, NO _x e O ₂	Semestral
Entre 50 e 100		450	1.300	500	NA	MP-total, CO, NO _x e O ₂	Semestral
Entre 100 e 250		390	1.000	400	NA	MP-total, NO _x	Semestral
	CO, O ₂					Semestral até dez/2009 Contínuo a partir de 2010	
Acima de 250	260	650	400	NA	MP-total, NO _x	Semestral	
					CO, O ₂	Semestral até dez/2009 Contínuo a partir de 2010	

Notas: 1) Na faixa até 10 MW é suficiente atender apenas um dos parâmetros: MP-total ou CO
2) exceto nas operações de aquecimento, modulação e ramonagem, por um período que totalize 10 minutos, ao longo das 24 horas do dia.
NA: Não aplicável

2.6.1. Legislação e Normas Aplicáveis

Para a execução das amostragens utilizou-se as Normas operacionais da CETESB e as Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas-ABNT, que são normas técnicas escritas para uso nacional, similares às Normas da CETESB.

Quando a metodologia utilizada ainda não estava normatizada a nível nacional, utilizaram-se normas internacionais. No caso de análise de gases com Analisador Eletroquímico Portátil, se usou uma norma da ASTM – American Society for Testing and Materials.

As normas aplicáveis são:

- CETESB, Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias. Determinação da velocidade e vazão dos gases, L9. 222, (1992).
- CETESB, Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias. Determinação de Material Particulado com o Sistema Filtrante no interior do Duto ou Chaminé, L9. 217, (1989).
- CETESB, Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias. Determinação de Material Particulado, L9. 255, (1995).

- CETESB, Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias. Determinação dos Pontos de Amostragem, L9. 221, (1990).
- British Standard Method, (BS 3405), Measures of Particulate Emission Including Grit and Dust (Simplified Method), (1983).
- Resolução CONAMA Nº. 382, DE 26 DE DEZEMBRO DE 2006.
- ASTM Standard- D 5835 – 95 (Reapproved 2007) Standard Practice for Sampling Stationary Source Emissions for the Automated - Determination of Gas Concentrations
- NBR 12020 - Efluentes Gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias - Calibração dos equipamentos utilizados em amostragem - Método de Ensaio, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1992.
- NBR 10701- Determinação de Pontos de Amostragem em dutos e chaminés de fontes estacionárias, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1989.
- NBR 10700- Planejamento de Amostragem em dutos e chaminés de fontes estacionárias, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1989.
- MB-3080 - Efluentes Gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias- Determinação da Velocidade e Vazão, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1989.
- NBR 10702- Efluentes Gasosos em Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias- Determinação da Massa Molecular Base Seca, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1989.
- MB-3081 - Efluentes Gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias- Determinação da umidade, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1989.

Todas as atividades desde a amostragem e tratamento dos resultados devem ser realizadas segundo as normas técnicas aplicadas a amostragem ambiental. Estas amostragens foram realizadas em chaminés dos equipamentos de tratamento e limpeza de efluentes gasosos citados a seguir.

2.7. Equipamentos para Limpeza dos Gases

Devido aos inúmeros inconvenientes causados pela presença de material particulado nos gases de saída de uma instalação fabril, torna-se necessário a instalação de equipamentos que complementam o processo, eliminando parte ou todos os elementos nocivos, viabilizando o funcionamento da instalação sob os aspectos ambientais de emissão.

Estes equipamentos se dividem em cinco categorias principais, de acordo com seu princípio de funcionamento e da eficiência na coleta dos diversos tipos de particulados, de acordo com seu diâmetro médio de partículas. Eles são:

- câmaras gravitacionais;
- ciclones;
- lavadores;
- filtros;
- precipitadores eletrostáticos.

Neste trabalho foi focado o funcionamento de dois equipamentos: o Filtro de Mangas e o Lavador de Gases, após os quais foi feito o monitoramento dos gases de saída na fonte fixa (Chaminé).

2.7.1. Eficiência de um Equipamento Separador de Partículas

Segundo Lora (2002), para a seleção de equipamentos de limpeza de gases é necessário considerar a eficiência que se pretende atingir, em função da emissão final permissível prevista nos padrões de emissão, o consumo de energia, o custo do investimento, a natureza física e química dos particulados e a periculosidade do sistema a ser implantado.

Segundo Licht (1999), a emissão de particulados pode ser calculada de acordo com a Equação 2, baseada no esquema mostrado na Figura 03.

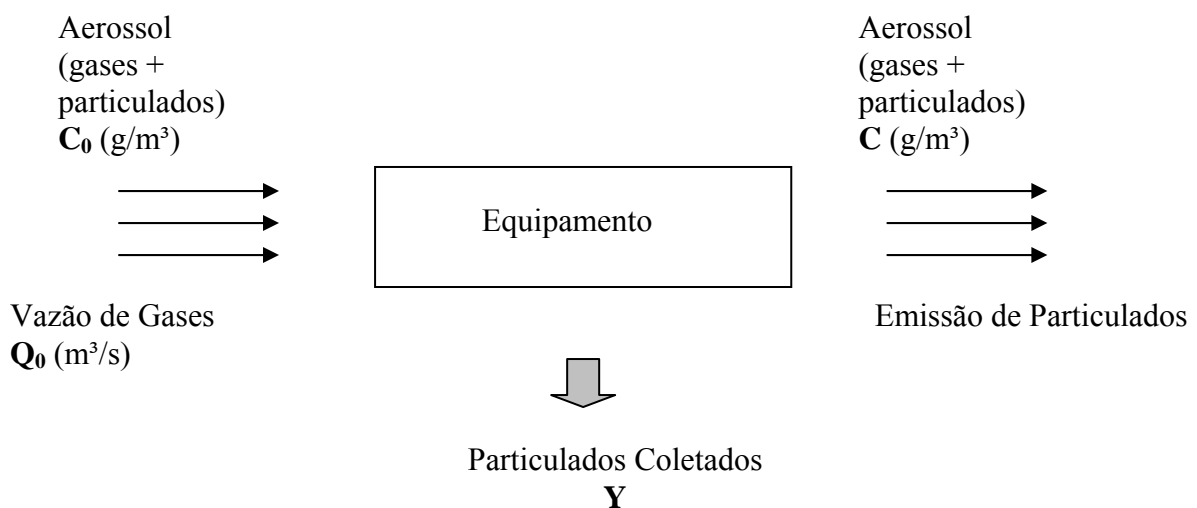


Figura 03 - Esquema Geral de um separador de partículas.

Seguindo este esquema geral calcula-se a emissão de particulados.

$$Q_0 \cdot C_0 - Y = \varepsilon \quad (2)$$

Sendo:

C_0 – Concentração inicial de particulados no fluxo gasoso de entrada, g/m³;

C – Concentração final de particulados no fluxo gasoso de saída, g/m³;

Y – Taxa mássica de particulados removidos, g/s.

Q_0 – Vazão de gás no fluxo, m³/s;

ε – Taxa mássica de emissão de particulados, g/s;

Desta forma, pode-se calcular a Eficiência Total do equipamento, de acordo com Equação 3.

$$E = \frac{C_0 - C}{C_0} = \frac{Q_0 \cdot C_0 - \varepsilon}{Q_0 \cdot C_0} = 1 - \frac{\varepsilon}{Q_0 \cdot C_0} \quad (3)$$

Sendo:

E – Eficiência Total

C – Concentração final de particulados no Gás, g/m³;

C_0 – Concentração inicial de particulados no Gás, g/m³;

Q_0 – Vazão de gás, m³/s;

ε – Taxa mássica de emissão de particulados, g/s;

Y – Taxa mássica de particulados removidos, g/s.

Para determinar da Eficiência de Coleta torna-se necessário coletar o material particulado na entrada do Equipamento de Controle de Poluentes, determinando-se a Concentração inicial de particulados no Gás (C_0), em g/Nm³. Porém, para determinar esta grandeza precisa-se de um trecho de tubulação reto e de fácil acesso, de fluxo orientado, que permita executar a coleta e medição dentro dos parâmetros exigidos pelas Normas de Amostragem NBR-10700 e NBR-10701. Estas condições nem sempre são observadas no planejamento de Projetos de Instalações Industriais e algumas vezes não são encontradas na Indústria, dificultando a determinação de Eficiência Total de Coleta de Equipamentos desta natureza.

Lora (2002) cita a Eficiência de Equipamentos de Controle de Emissão, como se verifica na Tabela 05.

Tabela 05 - Eficiência dos Equipamentos de Controle de Emissão de Particulados

Tipo de Separador	Eficiência Total, %		
	Pó Grosso Dm > 50 µm	Pó Fino Dm ~ 25 µm	Pó Superfino Dm <2,5 µm
Ciclone Convencional	84,60	65,30	22,40
Ciclones de Alta Eficiência	93,90	84,20	52,30
Lavador Venturi de Média Energia	99,94	99,80	99,30
Lavador Venturi de Alta Energia	99,97	99,90	99,60
Filtro de Mangas com Limpeza por Sacudimento Mecânico	99,97	99,92	99,60
Filtro de Mangas com Limpeza por Jato Pulsante Inverso	99,98	99,95	99,80
Precipitador Eletrostático	99,50	98,50	94,80

Fonte: Lora (2002).

Sendo, na Tabela 05:

Dm - diâmetro médio das partículas.

Dentre estes equipamentos se descreverá os Filtros de Mangas e Lavador de Gases, por se tratar de equipamentos utilizados nas Indústrias de Ferro-Liga e Álcool, respectivamente, que fazem parte do Sistema de Tratamento de Gases.

2.7.2. Filtro de Mangas

Os Filtros de Mangas são largamente empregados nas indústrias devido a sua alta eficiência na coleta de material particulado respirável, como se verificou na Tabela 04 onde a Eficiência de coleta de material superfino é de 99,8%.

Nevers (1999) descreveu o mecanismo de filtração através do meio filtrante e da torta formada e estabeleceu os cálculos de velocidade de filtração em meio poroso, considerando um fluxo laminar, como mostra a Figura 04.

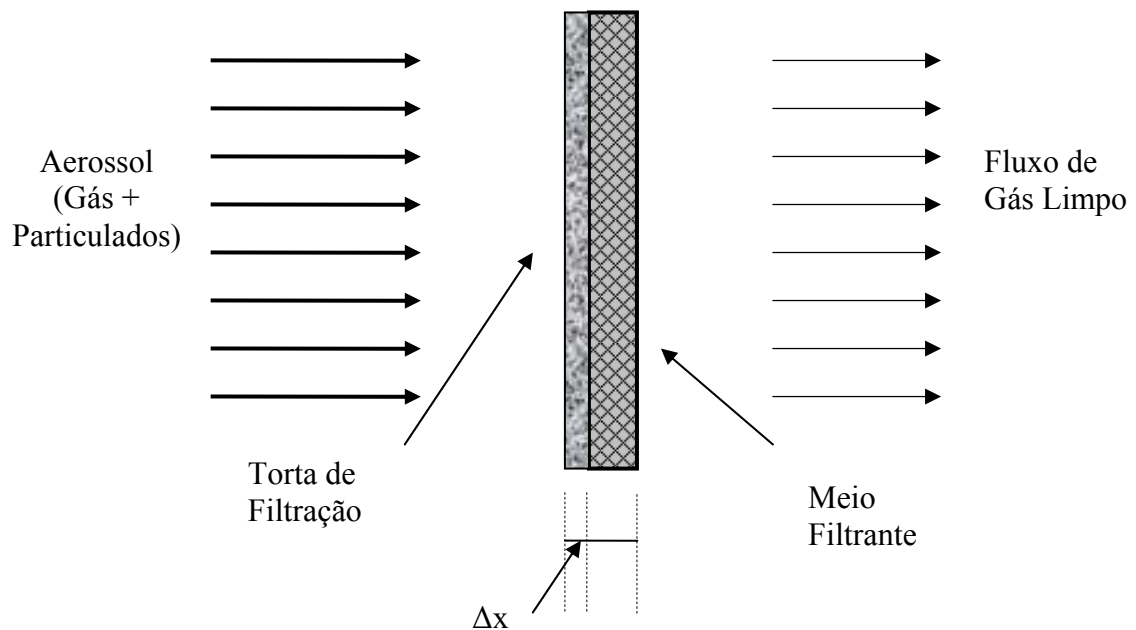


Figura 04 - Mecanismo de filtração no conjunto meio filtrante e torta.

Desta forma a velocidade de filtração pode ser calculada pela Equação 4.

$$V_s = \frac{Q}{A} = \left(\frac{-\Delta P}{\mu} \right) * \left(\frac{k}{\Delta x} \right) \quad (4)$$

Sendo:

V_s - velocidade de filtração;

Q - vazão de entrada do gás;

A - área de filtração;

ΔP - perda de carga no filtro;

μ - viscosidade cinemática do ar;

k - permeabilidade do meio filtrante;

Δx - espessura da torta formada.

Considerando a interação da torta formada pelo material coletado e o tecido que compõe as mangas do filtro como uma associação em série de dois meios filtrantes, a resistência da torta será variável desde o início de sua formação, quando a resistência é nula, até a formação de depósito na sua espessura limite, a qual se admite a resistência máxima aceitável, momento no qual se promoverá a limpeza do elemento filtrante. Considerando esta resistência variável pode-se atribuir um

coeficiente (α) que irá variar de 0 a 1. Desta forma, se considerar (α) =1 pode-se calcular a espessura máxima tolerada da torta e a massa de torta no momento que se promoverá a limpeza.

Para isto, aplicam-se as equações 5 a 9:

$$\Delta x_{torta} = \left(\frac{m_{torta}}{A} \right) \left(\frac{1}{\rho_{torta}} \right) = \left(\frac{1}{\rho_{torta}} \right) \left(\frac{V_{gas}}{A} \right) \left(\frac{m_{torta}}{V_{gas}} \right) \quad (5)$$

Sendo:

m_{torta} - massa da torta formada, g;

A - área de filtração, m²;

ρ_{torta} - massa específica da torta, g/cm³;

V_{gas} - Volume do gás filtrado, m³.

$$W = \left(\frac{m_{torta}}{V_{gas}} \right) \left(\frac{1}{\rho_{torta}} \right) = \frac{V}{V_{gas}} \quad (6)$$

Sendo:

m_{torta} - massa da torta formada, g;

V - volume da torta formada, m³;

ρ_{torta} - massa específica da torta, g/cm³;

V_{gas} - Volume do gás filtrado, m³.

$$\Delta x_{torta} = \left(\frac{V}{A} \right) * W \quad (7)$$

Sendo:

Δx_{torta} - espessura da torta formada, m;

V - volume da torta formada, m³;

A - área de filtração, m².

$$V_s = \frac{Q}{A} = \frac{1}{A} \left(\frac{dV}{dt} \right) = \frac{(P_1 - P_3)}{\mu \left[\left(\frac{V W}{k A} \right) + \alpha \right]} \quad (8)$$

Sendo:

V_s - velocidade de filtração, m/s;

Q - vazão volumétrica de fluxo gasoso, m³/s;

V - volume da torta formada, m³;
 P_1 - pressão do gás antes do filtro, mmca;
 P_3 - pressão do gás após o filtro, mmca;
 μ - viscosidade cinemática do ar, cm²/s;
 k - permeabilidade do meio filtrante, L/min.m²;
 A - área de filtração, m².

$$\left(\frac{V}{A}\right)^2 \left(\frac{\mu W}{2k}\right) + \left(\frac{V}{A}\right) \mu \alpha = (P_1 - P_3)t \quad (9)$$

Sendo:

V_s - velocidade de filtração, m/s;
 Q - vazão volumétrica de fluxo gasoso, m³/s;
 V - volume da torta formada, m³;
 P_1 - pressão do gás antes do filtro, mmca;
 P_3 - pressão do gás após o filtro, mmca;
 μ - viscosidade cinemática do ar, cm²/s;
 k - permeabilidade do meio filtrante, L/min.m²;
 A - área de filtração, m²;
 α - fator de resistência do meio filtrante.

Em casos onde a resistência do filtro puder ser desprezada em relação à grandeza da resistência da torta, o segundo termo da Equação 9 poderá ser desprezado no cálculo da torta. Em grande parte dos casos de filtração, k é praticamente constante e independe da pressão, tornando esta teoria válida principalmente em filtrações envolvendo sólidos em meio líquido ou gasoso.

A Figura 05 mostra um tipo de filtro de mangas e a distribuição de filtros em seu interior. O fluxo de gás contendo material particulado (aerossol) é succionado e passa pela câmara inferior formando a torta de filtração quando passa pelo elemento filtrante, alcançando a câmara superior pronto para ser lançado ao ambiente, com baixa concentração de material particulado.

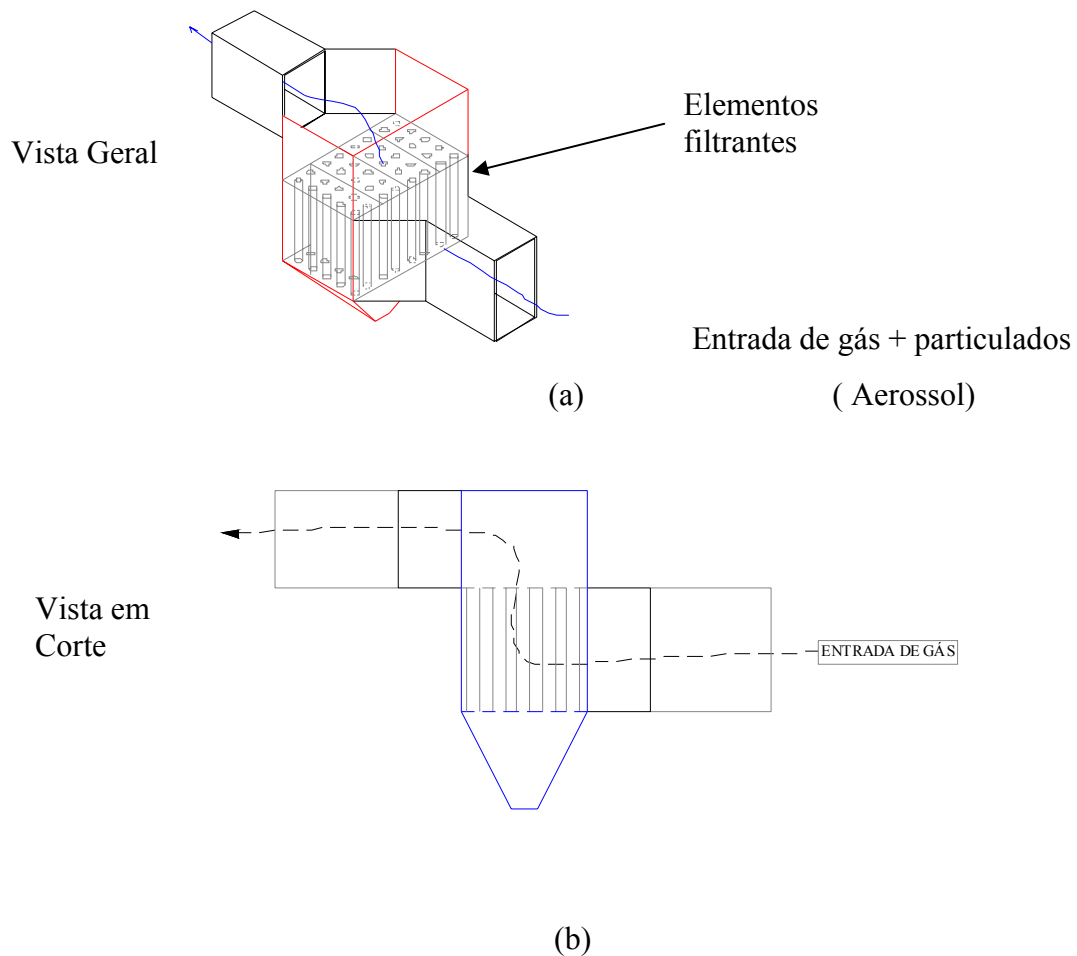


Figura 05- Desenho Esquemático de um Filtro de Mangas - (a) Vista geral e (b) Vista em corte

Outros sistemas de Controle de Poluentes podem ser equipados com lavadores de gases, como se mostram a seguir.

2.7.3. Lavador de Gases

Os lavadores de gases são equipamentos onde se realiza a passagem do fluxo gasoso (aerossol) através de uma cortina, jato ou névoa de água, causando a sua interação ao material particulado, promovendo sua coleta e separação do fluxo. São largamente empregados nas instalações de Geração de Vapor em Processos de Produção de Álcool e Açúcar.

Lora (2002) cita os lavadores de gás classificando-os em três grupos: torres de nebulização, instalações de leito empacotado e lavadores Venturi. A Figura 06 mostra uma torre de nebulização, do tipo lavador de bandejas, bastante aplicado em Indústria Alcooleira.

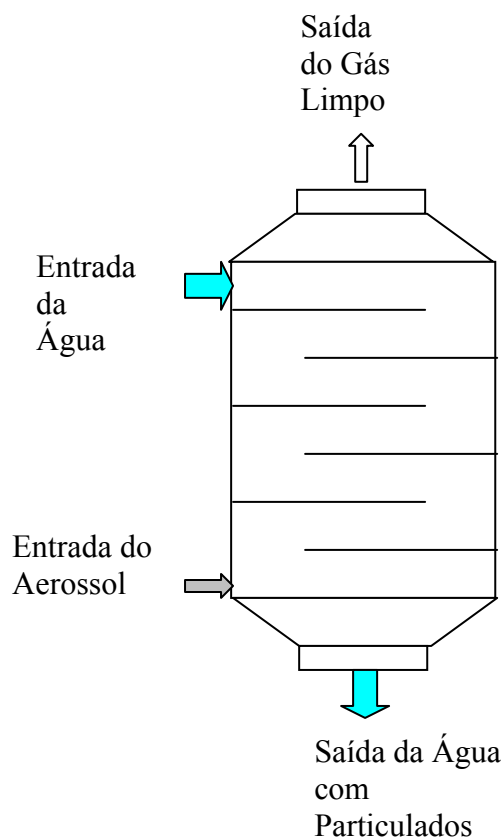


Figura 06- Desenho Esquemático de um Lavador de Gases Tipo Bandejas.

Cheremisinoff (2002) enumera algumas vantagens de um lavador de Gases como:

- Poder processar resíduos inflamáveis e explosivos com baixo risco;
- Poder trabalhar com névoas;
- Utiliza baixa fração de água de recirculação;
- Eficiência de coleta pode ser variada;
- Resfriar os gases quentes; e
- Poder neutralizar gases e poeira agressivos.

Ainda comenta sobre algumas desvantagens, onde dentre elas tem-se:

- Efluente líquido podendo gerar poluição ambiental;
- Produtos residuais são coletados úmidos;
- Grande potencial de problemas de corrosão;
- Pode provocar pluma espessa e visível;
- Material coletado pode ser contaminado e não reciclável;
- Destinação de lama residual com alto custo de disposição.

Para se conhecer e determinar as propriedades do fluxo gasoso tratado nos equipamentos de limpeza de efluentes gasosos torna-se necessário conhecer as propriedades do fluxo, como será mostrado a seguir.

2.8. Medição do Fluxo de Gás

Segundo Nevers (1999) o perfil de velocidades de um gás em grandes volumes, em uma instalação industrial, pode estar bem distribuído e em alguns casos, podem-se conseguir valores bastante representativos. Porém, devido a variações no processo, muitas vezes tem-se variações nas velocidades, concentrações de material e na composição do fluxo gasoso. Quando estas variações são substanciais, precisa-se usar o artifício de medir em um tempo maior as velocidades em diversas seções da chaminé, conseguindo uma amostragem média bastante representativa do fluxo total. Para o cálculo da concentração de material particulado usou-se a Equação 10.

$$C_{avg} = \frac{m}{V_t} \quad (10)$$

Sendo:

C_{avg} - Concentração Média de Poluente em (mg/Nm³);

m - massa total de material particulado coletada (mg);

V_t - volume total coletado (Nm³).

De acordo com Dulien (1989) as medições de fluxo gasoso são usualmente feitas com auxílio de um Tubo Pitot, equipamento simples e facilmente manuseável, que apresenta as seguintes vantagens:

- não requer longas seções de fluxo calmo para medições de velocidades;
- possui pequenas dimensões, principalmente a espessura, sendo facilmente introduzido em dutos ou chaminés, através de pequenas aberturas, sem necessidade de interrupções no processo para sua instalação;
- não provoca perda apreciável de pressão no fluxo de gás.

Para utilização do Tubo Pitot em medições de velocidade de gases, o primeiro passo é dividir a seção do duto, em caso de dutos circulares, em pequenas áreas de medição através de dois eixos diametrais localizados a 90°, de forma a varrer toda a seção do duto.

No caso da Chaminé ser de formato Retangular, deve-se calcular o diâmetro equivalente (Deq), de acordo com a Equação 11.

$$Deq = \frac{2CL}{C+L} \quad (11)$$

Sendo:

Deq - diâmetro equivalente da seção

C - comprimento da chaminé

L - largura da Chaminé

Para a definição dos pontos de amostragem em uma chaminé de acordo com as normas utilizou-se a Figura 07, verificando o posicionamento destes pontos em função da sua localização a montante e a jusante da última singularidade ou perturbação do fluxo, definindo através deste gráfico o número de pontos em cada eixo de amostragem de amostragem para amostragem de material particulado.

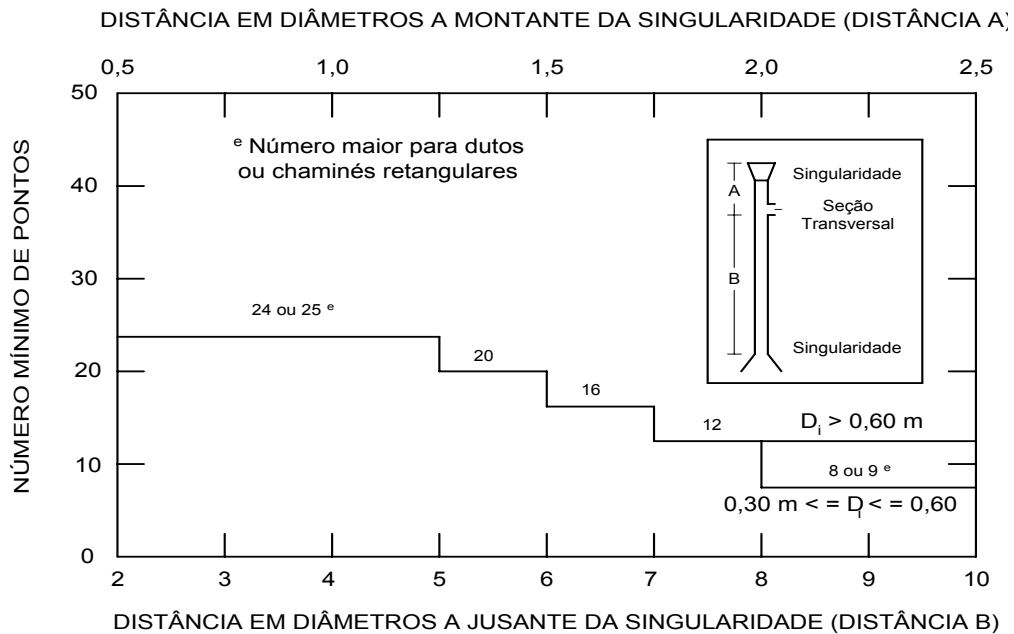


Figura 07 - Gráfico de cálculo do número mínimo de pontos para amostragem de material particulado.

Em caso de validação de determinação de velocidade de fluxo gasoso, o cálculo do número de pontos foi feito usando a Figura 08 que é menos restritiva. Desta forma, sempre teremos o número de pontos para amostragem de material particulado maior que para medições de velocidade, fato que sempre fará com que este número seja utilizado.

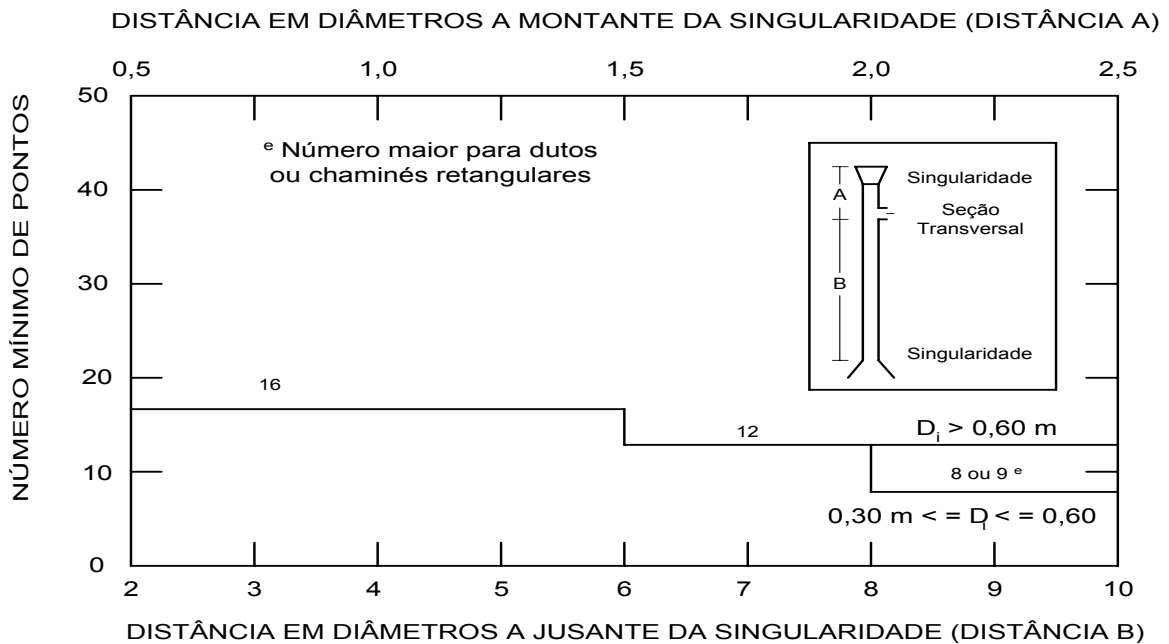


Figura 08 - Gráfico de cálculo do número mínimo de pontos para determinação de velocidade de fluxo.

Após a determinação do número de pontos de amostragem se usou a Tabela 06 e a Figura 09, para a localização de cada ponto no interior do duto, de forma a amostrar representativamente o fluxo em áreas equivalentes no interior do duto. Desta forma, o posicionamento de cada ponto no eixo será calculado de acordo com o diâmetro do duto, de forma a distribuir o volume de fluxo amostrado em cada ponto, de forma proporcional, garantindo uma perfeita coleta.

Sempre que a sonda for introduzida por uma abertura flangeada, com afastamento da parede do duto, implicará em um afastamento da extremidade da sonda que deve ser considerada ao se posicionar no local de amostragem.

Tabela 06 - Distribuição dos Pontos de Amostragem em Relação às Áreas Equivalentes.

Ordem do ponto no diâmetro	Número de pontos no diâmetro – Distancia em % de Di					
	2	4	6	8	10	12
1	14,6	6,7	4,4	3,2	2,6	2,1
2	85,4	25	14,6	10,5	8,2	6,7
3		75	29,6	19,4	14,6	11,8
4		93,3	70,4	32,3	22,6	17,7
5			85,4	67,7	34,2	25
6			95,6	80,6	65,8	35,6
7				89,5	77,4	64,4
8				96,8	85,4	75
9					91,8	82,3
10					97,4	88,2
11						93,3
12						97,9

Em casos onde o tubo apresenta seção transversal quadrada torna-se necessário o cálculo do diâmetro equivalente e a distribuição dos pontos em áreas quadradas equivalentes. Na Figura 10 verifica-se a distribuição dos pontos de amostragem para o caso de se ter um duto com seção quadrada.

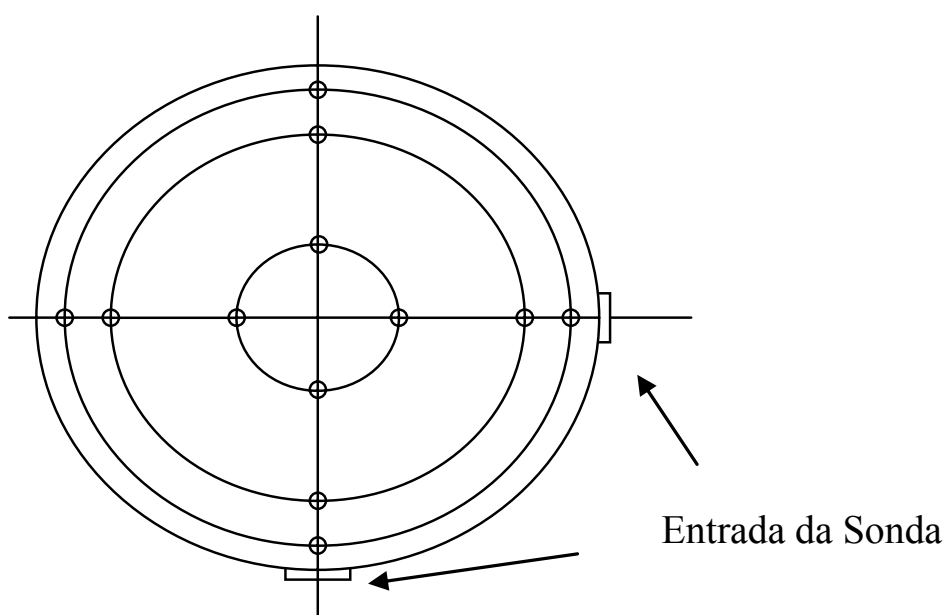


Figura 09 – Corte Transversal de um Duto de Seção Circular com a Localização dos Pontos de Amostragem.

A _o	A _o	A _o	A _o
B _o	B _o	B _o	B _o
C _o	C _o	C _o	C _o

Figura 10 –Pontos de amostragem em Duto de Seção Quadrada- Corte Transversal

Após a determinação dos pontos de medição representativos do fluxo, procedem-se as medições prévias dos valores de temperatura, pressão estática e pressão diferencial, objetivando coletar dados para o cálculo da velocidade do gás no interior do duto, usando a Equação 12. Estes dados servem para uma primeira impressão do comportamento do fluxo gasoso.

$$V_s = K \times C_p \times \sqrt{\frac{\Delta P \times T_s}{MMu \times P_s}} \quad (12)$$

Sendo:

V_s - velocidade do gás no interior do duto ou chaminé, m/s;

K = constante (11,169 m. s⁻¹. g. gmol⁻¹. mmHg. K⁻¹. Pa⁻¹) ;

C_p - fator de calibração do Pitot, adimensional;

ΔP - pressão diferencial, mmH₂O;

T_s - temperatura do gás no duto ou chaminé, K;

P_s - Pressão absoluta no interior do duto ou chaminé, mmHg, calculada de acordo com a Equação 13;

MMu - Massa Molecular do gás em base úmida, g/gmol, calculada de acordo com a Equação 14.

A Pressão absoluta no interior do duto ou chaminé, em mmHg, foi calculada de acordo com a Equação 13.

$$P_s = P_{\text{barométrica}} + \frac{P_{\text{estática}}}{13,6} \quad (13)$$

Sendo:

P_s - Pressão absoluta no interior do duto ou chaminé, mmHg;

$P_{barométrica}$ - Pressão Barométrica local, mmHg;

$P_{estática}$ - Pressão Estática medida no interior do duto, mmH₂O.

A Massa Molecular do gás em base úmida, em g/gmol, foi calculada de acordo com a Equação 14.

$$MMu = MMs(1 - Bwo) + 18Bwo \quad (14)$$

Sendo:

MMu - Massa Molar do gás em base úmida, g/gmol;

MMs - Massa molar do gás, base ar seco, g/gmol;

Bwo - Fração molar do vapor de água no fluxo.

Após a medição das velocidades nas diversas seções pré-estabelecidas, pode-se calcular a vazão do gás no interior do duto ou chaminé, utilizando a média das velocidades na Equação 15.

$$Q = A_s \times \overline{V}_s \quad (15)$$

Sendo:

A_s - Área da seção transversal do duto ou chaminé em (m²);

\overline{V}_s - Velocidade média medida nas subseções em (m/s);

Q - Vazão volumétrica do gás medida em (m³/s).

Esta vazão deve ser convertida para as condições normais de pressão e temperatura e, também na base seca (Nm³/s base seca), de acordo com a Equação 16.

$$Q_{NBS} = Q \times \frac{P_s}{P_{ref}} \times \frac{T_{ref}}{T_s} \times (1 - B_{wo}) \quad (16)$$

Sendo:

P_{ref} - Pressão nas condições normais (760 mmHg);

T_{ref} - Temperatura nas condições normais (273,15 K);

T_s - Temperatura do gás no duto ou chaminé em (K);

P_s - Pressão absoluta no interior do duto ou chaminé em (mmHg);

Q_{NBS} - Vazão nas condições normais de pressão e temperatura em (Nm³/s);

B_{wo} - Fração molar do vapor de água no fluxo.

2.9. Medição da Composição Química do Gás

A composição química do gás deve ser determinada no local da medição para o cálculo das características químicas do gás no fluxo. O aparelho utilizado comumente é o Aparelho de Orsat. Ele funciona segundo o princípio de absorção química e é um equipamento de pouca praticidade, pois funciona descontinuamente. Com o Aparelho de Orsat coleta-se um pequeno volume do gás na chaminé e coloca-se em contato com soluções absorventes, de forma seqüencial e manual.

Ao passar por soluções de Hidróxido de Potássio (KOH), Cloreto Cuproso (CuCl) e Solução Alcalina de Pirogalol, faz-se a absorção seletiva do Dióxido de Carbono (CO₂), Monóxido de Carbono (CO) e o Oxigênio (O₂), respectivamente.

Considerando a amostragem em base seca, pois o gás é resfriado e toda a água se condensa, e que a presença de outros gases é desprezível, pode-se fazer uma aproximação bastante razoável do volume não absorvido pelas soluções como Nitrogênio (N₂) pelo uso da Equação 17.

Uma vez determinada a composição do gás, é possível estimar a Massa Molecular Média do Gás na base seca.

$$\%N_2 = 100 - (\%O_2 + \%CO + \%CO_2) \quad (17)$$

Sendo:

$\%N_2$ - Concentração Volumétrica de Nitrogênio no gás, base seca, %;

$\%O_2$ - Concentração Volumétrica de Oxigênio no gás, base seca, %;

$\%CO_2$ - Concentração Volumétrica de Dióxido de Carbono no gás, base seca, %;

$\%CO$ - Concentração Volumétrica de Monóxido de Carbono no gás, base seca, %;

Em outros métodos são muitos os princípios de detecção de compostos gasosos. A Tabela 07 mostra os diversos princípios e os compostos possíveis de serem determinados por cada método.

Tabela 07 - Princípios de detecção de compostos gasosos

Princípio de detecção	Compostos comumente analisados
Absorção de radiação infravermelha	CO ₂ , CO, CH ₄ , SO ₂ , NO, C ₂ H ₆
Absorção de radiação ultravioleta	NO ₂ , SO ₂
Condutibilidade Térmica	CO ₂
Suscetibilidade magnética	O ₂
Quimiluminescência	NO, NO ₂
Eletroquímico	CO, O ₂ , SO ₂ , NO, NO ₂
Ionização de chama	C _n H _m
Titulometria (análise descontínua)	SO ₂ , SO ₃
Absorção química (análise descontínua)	CO ₂ , O ₂ , CO

Fonte: Material Didático do Curso de Combustão Industrial - Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT - São Paulo (2006)

De acordo com Freire (2003), muitas das atuais limitações dos sensores eletroquímicos podem ser superadas pela modificação de suas superfícies em escala molecular, visando satisfazer as necessidades específicas de cada sensor, em função de sua aplicação.

Chaulya (2003) aplicou os métodos de Fluorescência em Ultra Violeta e de Quimiluminescência para analisar SO_x e NO_x, respectivamente, em gerenciamento ambiental em regiões de minas de carvão na Índia, verificando valores dentro dos limites máximos estabelecidos pelas normas ambientais locais.

Quanto à amostragem e acondicionamento do gás a serem analisados, estes podem ser feitos de forma contínua ou descontínua, através da extração de uma fração do gás e direcionamento até o equipamento ou diretamente no local em processos de medição contínua, como mostra a Tabela 08.

Tabela 08 - Sistema e Métodos de Coleta de Amostras

Sistema de Monitoração			
Extrativo	In Situ		
	Gases		Opacidade
	Pontual	Passagem	Passagem
Método Infravermelho Absorção diferencial Correlação filtro gás		Método Infravermelho Absorção diferencial Correlação filtro gás	
Método Ultravioleta Absorção diferencial	Método Ultravioleta Espectroscopia derivativa	Método Ultravioleta Absorção diferencial	Espalhamento de radiação visível e ultravioleta
Métodos eletroquímicos Polarografia Eletro catálise Paramagnetismo Condutividade	Métodos eletroquímicos Polarografia Eletro catálise		
Métodos Luminescentes Fluorescência Quimiluminescência Fotometria de chama			

Fonte: Material Didático do Curso de Combustão Industrial - Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT - São Paulo (2006)

Os dados de análise de gás são importantes para conhecimento do fluxo gasoso e são aplicados nos cálculos a seguir.

2.10. Cálculo da Umidade Contida no Gás

A umidade no fluxo gasoso é um parâmetro importante a ser medido previamente as amostragens, pois servirá para estimar a capacidade de condensação da água contida no fluxo pelo equipamento coletor, durante a amostragem. Ele pode ser medido através de medições Psicrométricas ou por uma coleta prévia, anterior a medição, como será visto a seguir.

2.10.1. Cálculos Utilizando a Psicrometria

Van Wylen et al (1995) descreve sobre a umidade no fluxo gasoso sendo estimada através de procedimentos utilizados na Psicrometria, pela medida das Temperaturas de Bulbo Seco (TBS) e de Bulbo Úmido (TBU). A Temperatura de Saturação Adiabática pode ser razoavelmente estimada pela Temperatura de Bulbo Úmido (TBU). Com a Temperatura de Bulbo Seco (TBS) e o auxílio de uma Carta Psicrométrica é possível determinar as propriedades da mistura de gás e umidade, que servirá para determinar a Umidade Relativa (ϕ), usando a Equação 18, e a Umidade Absoluta (ω) a partir da Equação 19.

$$\phi = \frac{P_v}{P_g} \quad (18)$$

Sendo:

ϕ - Umidade Relativa, %;

P_v - Pressão parcial de vapor na mistura gasosa, Pa;

P_g - Pressão de saturação do vapor na mesma temperatura, Pa.

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} \quad (19)$$

Sendo:

ω - Umidade Absoluta, g de vapor/ Kg de ar seco;

m_v - Massa de vapor, g;

m_a - Massa de ar seco, Kg.

Com estas determinações é possível calcular a umidade contida no fluxo gasoso e estimar a massa molar do gás úmido (MMu) no fluxo. Outra forma de determinar estes dados é o descrito no item a seguir.

2.10.2. Análise Prévia nas Condições da Chaminé

A análise nas condições da chaminé foi realizada através da coleta de um volume de gás, anteriormente a medição final, de acordo com a norma “Dutos e chaminés de fontes estacionárias – Determinação da massa molecular seca e do excesso de ar do fluxo

gasoso: método de ensaio”, L9. 223 da CETESB e com o Método “MB-3081 - Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias – Determinação da umidade”, da ABNT.

Esta coleta previu captar o fluxo gasoso e quantificar a água através da condensação, coletar nos frascos borbulhadores (impingers), previamente tarados, e pesar após a coleta de um volume de gás. Este método permite medir a quantidade de umidade condensável e admite que a parcela não condensável represente 2,5% (em volume) do gás que deixa o condensador, após a coleta.

Ao final da coleta, para a vazão em torno de 2 litros por minuto (2 L/min), terá um volume coletado de cerca de 30 litros. Interromper o processo e pesar os frascos coletores, para obter por diferença a massa de água condensada. Em seguida, pode-se calcular o volume de água coletada nas condições padrão, usando a Equação 20.

$$V_{agcp} = \frac{(m_f - m_i) \cdot R \cdot T_0}{M \cdot P_0} \quad (20)$$

Sendo:

V_{agcp} – Volume de água coletada nas condições padrão, Nm³;

m_f – Massa final (frasco + água condensada), g;

m_i – Massa inicial (frasco), g;

R – Constante dos gases ideais (0,0623 mmHg . m³ / K . mol);

T_0 – Temperatura no estado padrão, K;

M – Massa molar da água, g/gmol;

P_0 – Pressão no estado padrão, mmHg.

O volume de gás seco coletado também é corrigido para as condições padrão através da Equação 21.

$$V_{gcp} = \frac{T_0 \cdot Y \cdot V_g \cdot P_g}{P_0 \cdot T_g} \quad (21)$$

Sendo:

V_{gcp} – Volume de gás medido no gasômetro nas condições padrão, Nm³;

T_0 – Temperatura no estado padrão, K;

P_0 – Pressão no estado padrão, mmHg;

Y – Fator de calibração do gasômetro;

V_g – Volume do gás seco medido pelo gasômetro nas condições da amostragem, m³;

T_g – Média das temperaturas médias da entrada e saída do gasômetro, K;

P_g – Pressão absoluta no gasômetro, mmHg.

Finalmente, pode-se calcular a umidade contida no fluxo gasoso, através da Equação 22, pelo método aproximado.

$$B'_{ag} = 0,025 + \frac{V_{agcp}}{V_{agcp} + V_{gcp}} \quad (22)$$

Sendo:

B'_{ag} – Umidade aproximada, expressa como volume parcial em relação aos gases da chaminé;

V_{agcp} – Volume de água coletada nas condições padrão, m³;

V_{gcp} – Volume de gás medido no gasômetro nas condições padrão, m³.

Esta medida é feita para se ter uma expectativa de composição do gás amostrado, servindo também para se definir parâmetros de amostragem em sistemas geradores de gás com alto teor de umidade, possibilitando se necessário, um aumento no número de frascos coletores de umidades na caixa fria do equipamento de coleta.

2.11. Mecanismos de Coleta de Material Particulado

A amostragem de material particulado consiste na coleta de uma amostra de uma fração do volume de gás em movimento pelo duto ou chaminé, de forma a obter uma fração representativa do fluxo total. O tempo de coleta em cada ponto da chaminé nunca deve ser inferior a 3 minutos. O coletor desta amostra é uma sonda, cuja área de coleta é dimensionada de forma que se possa, através de um controlador de fluxo de amostragem, obter uma velocidade de amostragem que pode ser maior, igual ou menor que a velocidade do gás no duto. Podem-se analisar os três casos:

a) Velocidade de Coleta maior que a velocidade do gás no duto: em virtude da velocidade de amostragem ser maior ela tende a forçar a coleta de material particulado cuja trajetória no duto seria para fora do diâmetro de coleta. Desta forma, a massa coletada tende a ser maior que o normal, aumentando a concentração de material coletado, levando a um resultado errado e maior, como se verifica na Figura 11.

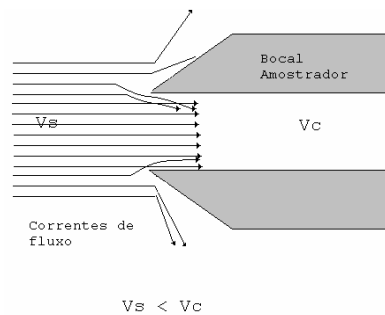


Figura 11 - Excesso de Material Coletado devido à alta velocidade de coleta.

b) Velocidade de Coleta menor que a velocidade do gás no duto: com uma velocidade de coleta abaixo da normal no duto, temos uma tendência de fuga do material particulado para fora do diâmetro de coleta, promovendo uma coleta menor do que a real e, conseqüentemente, um resultado de Concentração de Material Particulado menor que a real (Figura 12).

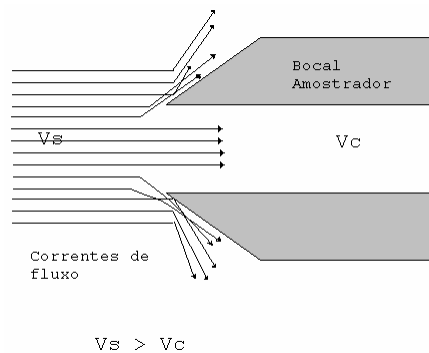


Figura 12 - Perda de Material coletado devido à baixa velocidade de coleta.

c) Amostragem Isocinética – segundo Dullien (1988), consiste em se fazer uma coleta de Material Particulado com uma velocidade de coleta igual à velocidade do gás no interior do duto, não alterando dessa maneira a velocidade do gás, de forma a ter uma amostra que será composta de material cuja trajetória coincida com a área de coleta, de acordo com a Figura 13.

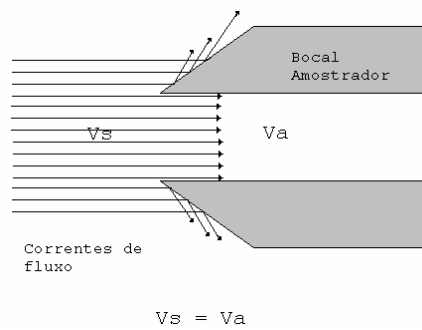


Figura 13 - Mecanismo de Coleta Isocinética.

Para efeito de aplicabilidade das Normas de Amostragem foi realizado o cálculo da Isocineticidade, como mostra a Equação 23. O valor de Isocineticidade deverá estar entre 90 a 110% para a validação da amostragem.

$$\%I = \frac{V_{coleta}}{V_{fluxo}} \quad (23)$$

Sendo:

$\%I$ - Isocineticidade (%);

V_{coleta} - Velocidade de coleta;

V_{fluxo} - Velocidade Real de fluxo

Segundo Magrini (2001), para este tipo de informação existem também os Opacímetros, que são equipamentos destinados a monitoração contínua do material particulado, instalados permanentemente no local de coleta. Os Opacímetros são aparelhos que empregam um feixe de luz que atravessa uma câmara contendo o fluxo das partículas. A maior ou menor presença destas partículas vai atenuar a transmissão da luz para um foto detector, sendo estabelecida uma proporção à presença dos particulados. A calibração inicial dos Opacímetros é feita através de correlações com os resultados obtidos na amostragem isocinética.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A Metodologia adotada para a realização das amostragens nos dutos em estudo foi somente a Amostragem Isocinética, realizada seguindo as Normas CETESB e ABNT, de forma a se obter uma amostragem representativa do fluxo gasoso e utilizando equipamentos apropriados e calibrados. Para a execução destas amostragens, foi necessário estudar preliminarmente as propriedades construtivas do Equipamento de Coleta, as dimensões da chaminé, a localização dos pontos de amostragem e as propriedades do fluxo do gás neste duto, como se descreve a seguir.

3.1. Coletor Isocinético de Poluentes Atmosféricos (CIPA)

O equipamento utilizado nas amostragens foi o Coletor Isocinético de Poluentes Atmosféricos (CIPA), fabricado pela Energética-RJ, para a determinação da concentração de material particulado em emissões por dutos e chaminés. Este equipamento satisfaz o Método 5 da US-EPA, Agência de Proteção Ambiental Americana, e os similares da ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas, CETESB e IAP- Instituto Ambiental do Paraná. A descrição deste equipamento e seus componentes foi feita a seguir.

3.1.1. Aplicações Gerais do Equipamento CIPA

O CIPA coleta isocineticamente aerossóis, gases, vapores ou névoas, de efluentes gasosos de diversos processos industriais, quando é possível o acesso ao duto em condições pré-estabelecidas pelas Normas de Amostragem.

Ele pode ser operado com a sonda em posição horizontal, vertical ou inclinado. Pode ser usado em dutos ou chaminés de seção circular ou retangular, com fluxos gasosos que podem variar da velocidade de 2 a 50 m/s e em condições de temperaturas até 250 °C.

Para trabalhos nos quais as temperaturas podem ser superiores é necessário usando um projeto adaptado, dotado de uma sonda com sistema de refrigeração que evita o colapso estrutural causado pelas altas temperaturas.

Em todos os casos deste trabalho a amostragem foi realizada em dutos verticais, de seção circular e com velocidade e temperatura dentro dos limites do equipamento e não se tornou necessário realizar nenhuma modificação no sistema de coleta.

Os componentes de um equipamento CIPA são descritos a seguir.

3.1.2. Componentes do Equipamento

O equipamento é composto por diversos grupos de equipamentos, subdivididos de acordo com sua função em:

- Controle
 - Unidade de controle;
 - Caixa da bomba;
 - Cordão de ligação entre as caixas.
- Amostragem
 - Caixa quente;
 - Caixa fria;
 - Filtro e vidraria.
- Sonda
 - Conjunto sonda/pitot/termopar;
 - Extensão flexível.
- Cordão umbilical

O conjunto de todos estes equipamentos utilizados é ilustrado na Figura 14, onde se pode verificar a disposição de todos, prontos para a medição, constituindo o que se chama de “Trem de Amostragem”.



Figura 14- Foto Geral do Equipamento CIPA.

Fonte: Manual Técnico CIPA – Energética -RJ

Um esquema da disposição de todos é mais bem mostrado na Figura 15, onde cada componente importante deste equipamento é identificado, facilitando sua montagem no local de amostragem.

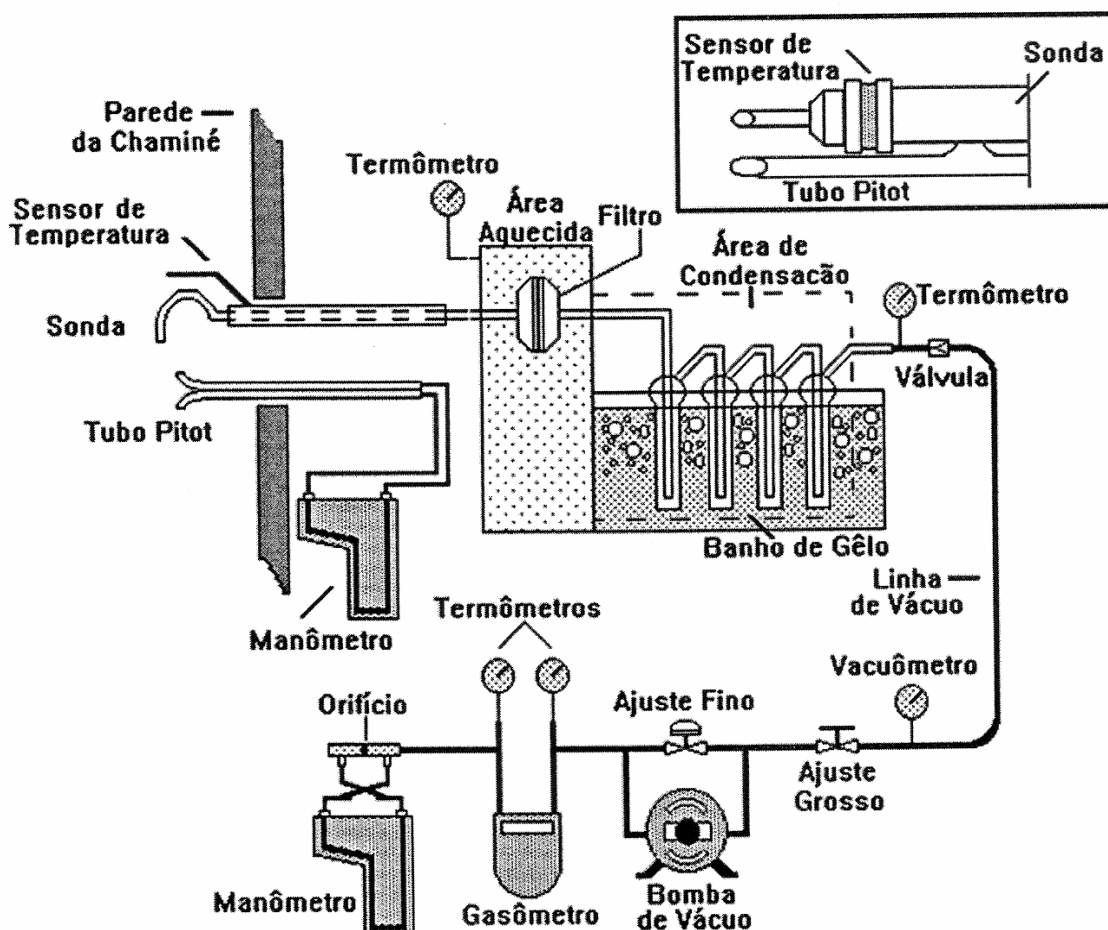


Figura 15 – Esquema do Trem de Amostragem para coleta de Material Particulado
 Fonte: Manual Técnico CIPA – Energética -RJ

Este equipamento foi construído para ser transportado com praticidade até a plataforma de amostragem, com pontos preparados para permitir que seja içado por cabos ou cordas até o ponto de amostragem, em caso de Chaminés de difícil acesso. Tem a estrutura e acabamento externo todo confeccionado em aço inox, é bastante resistente a impactos e a ataque por agentes externos.

Os dados técnicos do equipamento e todos os equipamentos utilizados para coleta são descritos no Quadro 01, a seguir.

Quadro 01 – Dados Técnicos Gerais do CIPA

Dados Técnicos Gerais do Coletor Isocinético (CIPA)	
Caixas de Abrigo	Inox Polido (0,8 mm)
Consumo Elétrico Máximo	200 W
Leitor de Temperatura	Digital, de 6 canais, calibrado para termopar do tipo K Chromel-Alumel
Termopar	Tipo K Chromel-Alumel, com cabos de isolamento mineral, em bainha de inox, com conectores e cabos compensados
Temperatura de Operação:	
-sonda	Até 175°C
-extensão flexível	Até 140°C
-caixa quente	Até 180°C
-caixa fria	Até 20°C
Variador de potência	Escala decimal, potência máxima 880W
Bomba a vácuo	Rotativa de palhetas, com lubrificação, 127 L/min, 673 mmHg
Manômetro	De duas colunas, com parte inclinada, escala total de 0 a 25 mmca
Medidor de Vazão -Gasômetro	Vazão máxima de 3 m ³ /h, leitura de 0 a 9999,999 m ³ , leitura mínima de 0,2 L
Totalizador de tempo	Eletromecânico, sem reset, resolução 1/100 h
Tamanho padrão	
-sonda	Até 3,50 m
-extensão flexível	5,00 m
-cordão umbilical	5,00 m
Peso total aproximado	70 Kg

Fonte: Manual Técnico CIPA – Energética -RJ

Um melhor detalhamento deste equipamento será descrito nos tópicos, a seguir.

3.1.2.1. Unidade de Controle

A unidade de Controle é constituída dos seguintes equipamentos:

- Gabinete em aço inox, evitando degradação do equipamento por elementos agressivos;
- Medidores e indicadores de Temperatura dos diversos pontos controlados;
- Manômetro Diferencial Inclinado, com coluna de água;
- Vacuômetro;
- Variador de Potência;
- Totalizador de tempo (horâmetro);
- Válvulas de controle da bomba de vácuo;

- Interruptores de ligação dos equipamentos operados;
- Porta fusível;
- Entrada de Alimentação de Energia Elétrica;
- Saída de Energia Elétrica para aquecimento da extensão (cordão umbilical);
- Entradas dos termopares;
- Entrada de gás proveniente da amostragem através do cordão umbilical;
- Entrada dos tramos do Tubo de Pitot, para o manômetro diferencial;
- Entrada e saída do gás proveniente da bomba;
- Saída de Energia Elétrica para a bomba;
- Placa de orifício e totalizador de Volume amostrado;
- Conexões internas.

Todos estes equipamentos são disponibilizados de forma a permitir o controle de todas as atividades de controle por apenas uma pessoa, como mostra a Figura 16.



Figura 16 – Unidade de Controle.

Fonte: Manual Técnico CIPA – Energética –RJ

3.1.2.2. Caixa da Bomba

O fluxo de amostragem foi obtido através da sucção feita por uma bomba de vácuo que está localizada em um caixa a parte, fazendo conexão com a Unidade de Controle através um cabo para alimentação elétrica e conexão de mangueiras de entrada e saída da bomba. Através desta conexão foi possível controlar o vácuo na amostragem e a vazão de gás amostrado, como se observa na Figura 17.

O conjunto foi concebido de forma a facilitar o seu transporte e manuseio, permitindo o seu transporte içado por cordas sem comprometer as peças montadas. Sua estrutura é toda em aço inox polida que tem alta resistência a corrosão e a impacto.

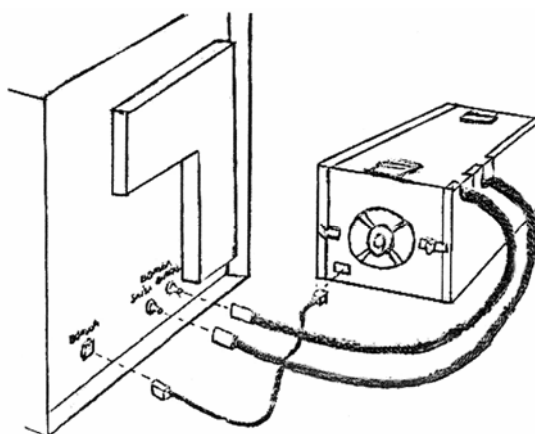


Figura 17 – Bomba de Vácuo acoplada a Unidade de Controle

Fonte: Manual Técnico CIPA – Energética –RJ

Os dados técnicos da Bomba de vácuo são mostrados no Quadro 02.

Quadro 02 – Dados Técnicos da Bomba de Vácuo

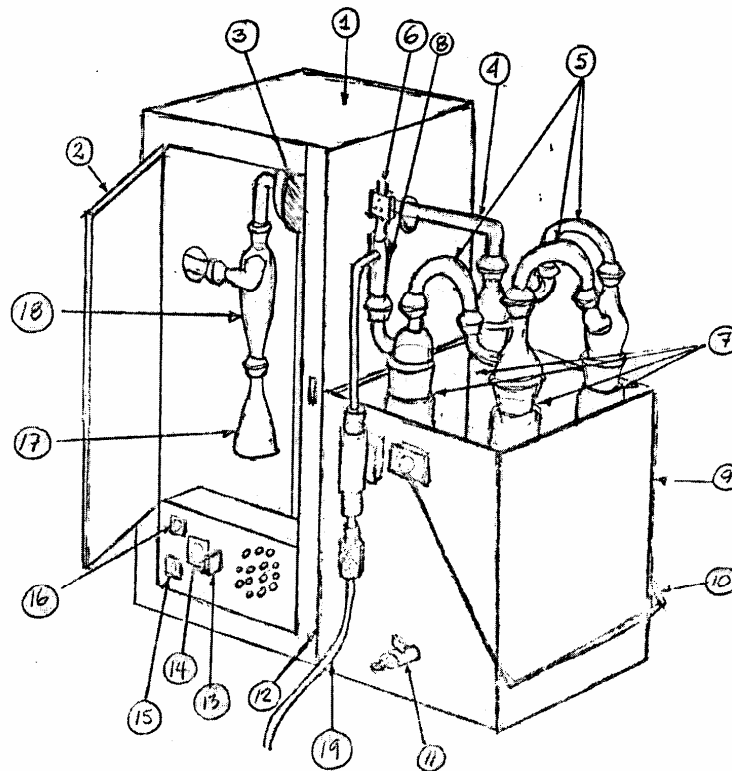
Dados Técnicos da Bomba Lubrificada	
Deslocamento Máximo	127 L/min
Vácuo Máximo (92-93%)	673 mmHg
Vazamento	< 0,1 L/min
Potência	1/3 CV
Rotação	1725 rpm
Alimentação	115 V, 60 Hz, 0,25 W
Peso com a caixa e cordão umbilical	22 Kg
Peso Próprio	15,7 Kg
Dimensões	

Fonte: Manual Técnico CIPA – Energética –RJ

3.1.2.3. Unidade de Amostragem

É a parte do equipamento onde o gás é coletado e tratado, para ser filtrado em condições de melhor acondicionamento, permitindo a coleta do Material Particulado em filtro absoluto. Faz parte desta unidade:

a) Caixa Quente – Caixa construída em aço inoxidável que contém o filtro coletor. É aquecida por uma resistência blindada, com o objetivo de acondicionar o gás coletado em temperatura suficientemente alta e evitar a condensação de vapores, principalmente a umidade, facilitando a filtragem a seco. A caixa quente é detalhada na Figura 18.



- | | |
|---------------------------|------------------------------|
| 1. Caixa quente | 11. Torneira |
| 2. Porta | 12. Encaixe |
| 3. Porta-filtro | 13. Termopar |
| 4. Conexão L | 14. Tomada força |
| 5. Conexão U | 15. Tomada extensão da sonda |
| 6. Termopar | 16. Tomada sonda |
| 7. Impinger | 17. Erlenmeyer |
| 8. Adaptador do umbilical | 18. Ciclone |
| 9. Caixa fria | 19. Umbilical |
| 10. Alça | |

Figura 18 - Caixas Quente e Fria, contendo vidraria.

Fonte: Manual Técnico CIPA – Energética –RJ

A caixa quente pode ser montada com a inclusão de um ciclone para captação de material particulado grosseiro, evitando a saturação do elemento filtrante, como mostra a figura 19.

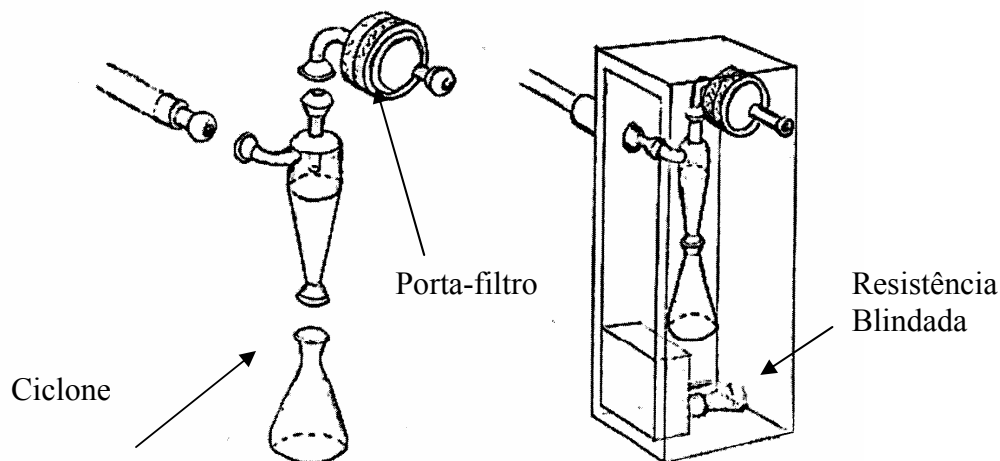


Figura 19 – Detalhe da Caixa Quente e Acessórios
Fonte Manual Técnico CIPA – Energética –RJ

b) Caixa Fria – em material inoxidável, onde são acondicionados os frascos coletores de umidade (impingers), contém gelo picado que a mantém a baixa temperatura e recebe o gás já isento de particulados (filtrado) promovendo a condensação da umidade do fluxo de gás, coletando-a em vidraria para posterior quantificação.

c) Vidrarias e Acessórios – são feitos em vidro borossilicato, com conexões em vidro ou com mangueiras de silicone para eliminar a possibilidade de vazamentos. Os itens compreendidos neste conjunto são:

- um porta filtros para filtros de diâmetro de 4 polegadas (110 mm);
- um micro ciclone em vidro para coleta de material grosseiro;
- um frasco Erlenmeyer com junta esmerilhada para ser acoplado ao ciclone;
- quatro frascos borbulhadores (Impingers);
- doze garras;
- um termopar para o último borbulhador.

A Figura 20 mostra o porta filtros que é feito em vidro, com abraçadeiras de alumínio, juntas de silicone e um suporte para filtro feito em teflon.

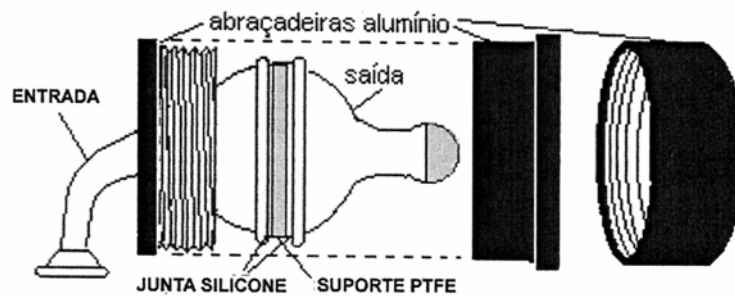


Figura 20 – Detalhe da Porta Filtro
 Fonte Manual Técnico CIPA – Energética –RJ

3.1.2.4. Unidade de Coleta - Sonda

É o conjunto formado pela Sonda de Amostragem, um Tubo Pitot, um Termopar e uma Extensão Flexível, descritos abaixo:

a) Sonda

Consiste em dois tubos concêntricos construídos em aço inoxidável, entre os quais passa uma resistência elétrica de fio que irá manter o conjunto aquecido, evitando condensação no interior do mesmo. Em uma de suas extremidades foi conectada a uma extensão com tubo flexível, ligando-a a caixa quente. Do outro lado, termina em uma curva branda onde foi montada a Boquilha de Coleta, que pode ter diâmetro de coleta variando de 4 a 12 mm em função do fluxo medido, como mostram as Figuras 21 e 22.

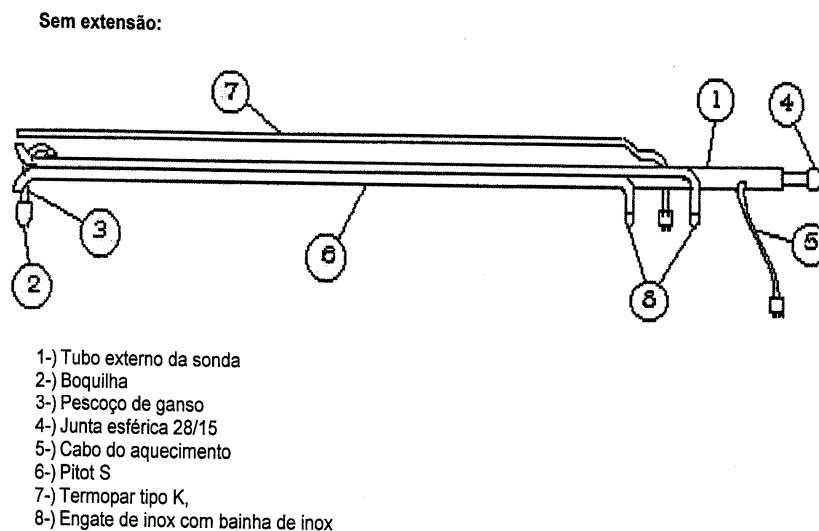
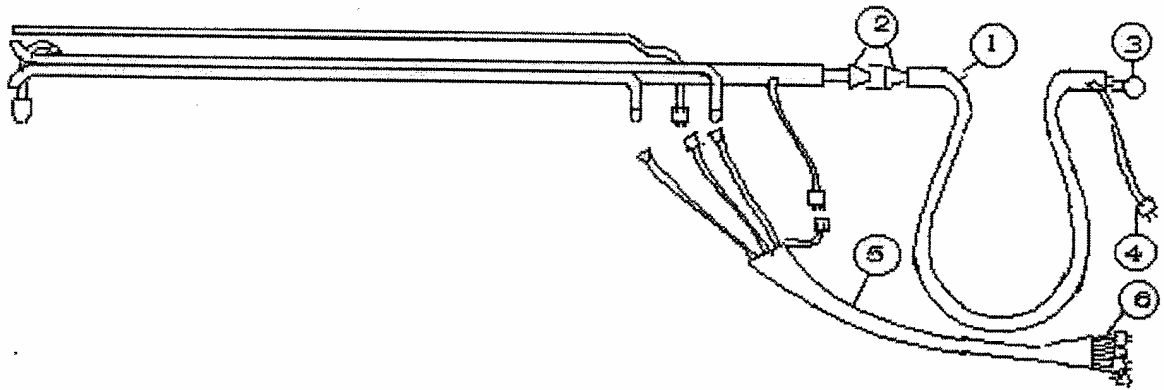


Figura 21 – Detalhe da Sonda sem extensão
 Fonte Manual Técnico CIPA – Energética –RJ

Com extensão:



- 1-) Mangueira da extensão
- 2-) Engates cônicos de inox
- 3-) Junta esférica 28/15 de inox (vai na caixa quente)
- 4-) Tomada aquecimento (vai na caixa quente)
- 5-) Umbilical
- 6-) Engates e conexões força e termopar (vão no umbilical principal)

Figura 22 – Detalhe da Sonda com extensão
Fonte Manual Técnico CIPA – Energética –RJ

A sonda empregada nos experimentos tem 2,5 metros de comprimento útil. Ela foi utilizada para coletas em dutos ou chaminés com diâmetros de até 2,5 metros em amostragens realizadas por duas aberturas. Em caso de dutos ou chaminés com raio de 2,5 até 5,0 metros, a amostragem foi realizada através de quatro aberturas, sendo cada abertura posicionada a 90° da outra, no mesmo plano transversal.

b) Tubo de Pitot

Como se pode ver na Figura 23, o tubo de Pitot utilizado foi do Tipo S. Ele foi construído em aço inoxidável, tem tamanho em função do comprimento da sonda, devido estar acoplado à sonda por meio de soldas. Possui dois tramos de medida, tramo A e tramo B, conectados por meio da extensão flexível até a unidade de controle, onde foi possível medir a pressão estática (P_e), pressão dinâmica (P_t) e a pressão diferencial (ΔP), durante toda a amostragem, possibilitando a correção da velocidade de coleta a cada ponto de amostragem, de forma a se obter amostragem isocinética.

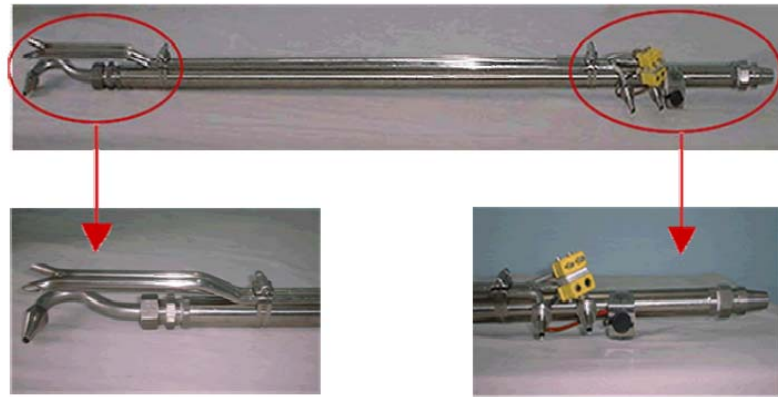


Figura 23 – Detalhe da Sonda sem extensão –
 Fonte: Manual Técnico CIPA – Energética –RJ

c) Extensão Flexível

Esta extensão serviu para efetuar as ligações do Tubo Pitot e do Termopar com a Unidade de Controle e da Sonda com a Caixa quente. Tem 5 metros de comprimento e pode ser construída com comprimentos maiores, se necessário. Seu aquecimento era realizado através de uma resistência elétrica blindada e com revestimento isolante térmico, evitando a condensação de umidade do fluxo gasoso. Os dados técnicos da extensão são mostrados na Tabela 09.

Tabela 09 – Dados Técnicos da Extensão

Aquecimento	0 - 300 W, 20 - 140°C
Alimentação	110 ± 10% Volts, 3 A
Comprimento Padrão	5 m
Peso Padrão com cordão de ligação	6 Kg

Fonte Manual Técnico CIPA – Energética –RJ

d) Cordão Umbilical

Era formado por oito cabos e tubos, envoltos em outra mangueira espiral flexível, e serviram para fazer a ligação entre a Unidade de Controle e a Sonda, a Caixa Quente e a Caixa Fria, como mostrado na Figura 24. Seu comprimento padrão era de cinco (5) metros, porém é possível ser confeccionado em tamanhos maiores, para se fazer coletas onde o ponto amostrado fica muito longe e com difícil acesso para os equipamentos.

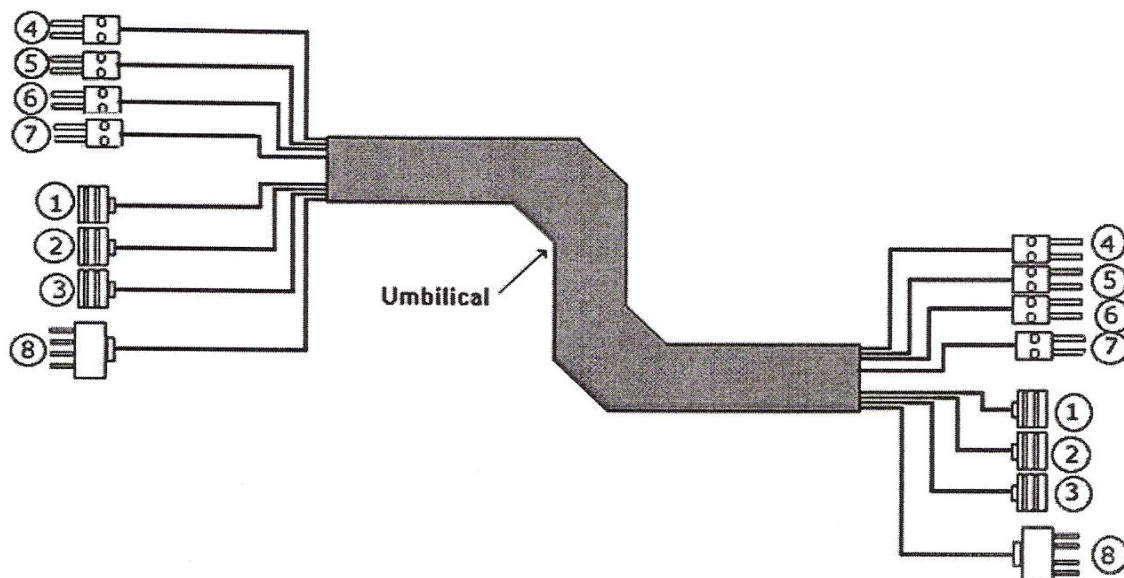


Figura 24 – Detalhe do Cordão Umbilical

Fonte Manual Técnico CIPA – Energética –RJ

Sendo, na Figura 22, acima mostrada:

- (1) Mangueira de borracha especial para Gases;
- (2) Mangueira cristal para o tramo do Pitot A;
- (3) Mangueira cristal para o tramo do Pitot B;
- (4) Cabos de extensão do Termopar da Chaminé;
- (5) Cabos de extensão do Termopar da Caixa Quente;
- (6) Cabos de extensão do Termopar da Caixa Fria;
- (7) Cabos de extensão do Termopar da Sonda;
- (8) Cabo de alimentação da Energia Elétrica.

3.2. Analisador Eletroquímico Portátil

Em função da dificuldade de acesso aos pontos de coleta e o longo tempo de análise do gás utilizando-se o aparelho de Orsat, tornou-se necessário o uso de um analisador portátil. Para a determinação da Composição química do gás foi utilizado um Analisador de Gases Portátil “UNIGAS 3000 MKIII”, fornecido pela EUOTRON para análise de O₂, CO, CO₂, NO/NO_x e determinação da pressão e temperatura do gás. Suas características e propriedades são mostradas no Quadro 03.

Quadro 03 – Características do Analisador Portátil UNIGAS 3000 MKIII

Parâmetro	Tipo de Sensor	Faixa de Medição	Resolução	Limite de erro
O ₂	Eletroquímico	0 - 25%	0,1 %	± 0,1 % volume
CO compensado para H ₂	Eletroquímico	0 - 8000 ppm	1 ppm	± 10 ppm <300 ppm ± 4% até 2000 ppm ± 10% > 2000 ppm
CO	Eletroquímico	0 - 20000 ppm	1 ppm	± 10 ppm <300 ppm ± 4% até 2000 ppm ± 10% > 2000 ppm
NO	Eletroquímico	0 - 4000 ppm	1 ppm	± 5 ppm <125 ppm ± 4% até 4000 ppm
NO ₂	Eletroquímico	0 - 1000 ppm	1 ppm	± 5 ppm <125 ppm ± 4% até 4000 ppm
NO _x	Calculado	0 - 5000 ppm		
SO ₂	Eletroquímico	0 - 4000 ppm	1 ppm	± 5 ppm <125 ppm ± 4% até 4000 ppm
CO ₂	Calculado	0 - 99,9%	0,1%	
Temperatura do ar	Pt100	-10 a 100°C	1°C	±(0,2% + 0,15°C)
Temperatura do Gás	TC-K	0 - 1000°C	1°C	±(0,3% + 0,3°C)
Temperatura entrada do gasômetro	TC-K	-10 - 100°C	0,1°C	±(0,3% + 0,3°C)
Temperatura de retorno	TC-K	-10 - 100°C	0,1°C	±(0,3% + 0,3°C)

Trata-se de um analisador que determina a composição dos gases pela passagem através de um detector eletroquímico. Sua faixa de operação é de 0 a 25% para Oxigênio (O₂), de 0 a 20000 ppm para o Monóxido de carbono (CO), de 0 a 4000 ppm para NO_x (Óxido de Nitrogênio calculado a partir de NO e NO₂) e o Dióxido de Carbono (CO₂) calculado, na faixa de 0 a 99%.

Este equipamento atende a Norma ASTM- D 6522-00 – Determination of Nitrogen Oxides, Carbon Monoxide and Oxygen Concentrations in Emissions from Natural Gas-Fired Reciprocating Engines, Combustion Turbines, Boilers and Process Heaters using Portable Analyzers.

3.3. Determinação da Massa Molar do Gás

Após a determinação prévia da umidade do fluxo a ser amostrado, ou mesmo após a amostragem quando se tem a massa de água real no fluxo e a composição real do gás

amostrado, foi possível determinar as massas molares do gás na base seca (MMs) e na base úmida (MMu), de acordo com a Norma L9.223-“Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias- Determinação da Massa Molecular Seca e do Excesso de Ar do Fluxo Gasoso”- CETESB, como descrito a seguir.

3.3.1. Determinação da Massa Molar do Gás Seco

Devido à amostra de gás para análise, ser feita após resfriamento e condensação da umidade do fluxo gasoso, a composição do gás obtida nesta análise era uma análise em base seca e representa a % volumétrica de cada gás. Esta análise permitiu calcular a Massa Molar do gás seco de acordo com a Equação 24.

$$MM_s = \frac{MM_{CO_2} \cdot (\%CO_2) + MM_{O_2} \cdot (\%O_2) + MM_{N_2} \%N_2 + MM_{CO} \cdot \%CO}{100} \quad (24)$$

Sendo:

MM_s – Massa Molecular do gás na base seca, g/mol;

MM_x – Massa Molares dos Gases Componentes;

$\%CO_2$ – Porcentagem volumétrica de CO_2 na mistura gasosa;

$\%O_2$ – Porcentagem volumétrica de O_2 na mistura gasosa;

$\%N_2$ – Porcentagem volumétrica de N_2 na mistura gasosa;

$\%CO$ – Porcentagem volumétrica de CO na mistura gasosa.

3.3.2. Determinação da Massa Molar do Gás Úmido

A Massa Molar de Gás Úmido foi determinada com os dados obtidos nas Análises Prévia do fluxo gasoso, usando a Equação 25.

$$MM_u = (1 - B'_{ag}) \cdot MM_s + MM_{H_2O} \cdot B'_{ag} \quad (25)$$

Sendo:

MM_u – Massa Molecular do gás na base úmida, g/gmol

B'_{ag} – Umidade aproximada, expressa como volume parcial em relação aos gases da chaminé;
 MM_s – Massa Molecular do gás na base seca, g/gmol;

Depois de terminada a medição completa se utilizou a umidade real (B_{ag} real) medida através do volume real de água coletado nos impingers, durante a coleta.

3.4. Premissas para Amostragem e Coleta

Para iniciar-se uma coleta, seguindo a NBR 10700/1989, foi necessário observar as seguintes premissas:

- a) características do fluxo operacional;
- b) matérias-primas utilizadas e suas características gerais;
- c) tipo de combustível utilizado;
- d) produção;
- e) característica do fluxo gasoso;
- f) geometria do duto ou chaminé e sua localização;
- g) medição in loco das dimensões internas reais do duto ou chaminé;
- h) determinação da quantidade dos furos para amostragem e suas localizações;
- i) definição da equipe de trabalho.

Em seguida, deve-se verificar a estrutura básica necessária ao local de amostragem, como:

- a) plataforma de amostragem segura e estável;
- b) escada de acesso à plataforma;
- c) dispositivos de içamento do trem de amostragem e acessórios;
- d) ponto de fornecimento de energia elétrica, para os equipamentos, na voltagem e potência necessárias;
- e) proteção dos equipamentos e da equipe contra condições adversas (Análise de Riscos).

3.4.1. Escolha dos Pontos de Amostragem

A amostragem foi realizada com o uso de uma plataforma construída ao redor da chaminé, posicionada de forma a possibilitar o acesso do equipamento de amostragem de forma tranqüila, evitando variações de processo e alterações no fluxo de gás, como mostra a

Figura 25. As aberturas para inserção da sonda foram inseridas na chaminé a 90°, permitindo o acesso da sonda aos dois diâmetros ortogonais. Também foi importante para a segurança da equipe de amostragem, permitindo o manuseio da sonda e a tomada de dados sem transtornos ou riscos.



Figura 25 – Foto de uma plataforma segura para amostragem de Gases

Para a amostragem ser representativa do fluxo de gás, segundo a Norma NBR10700/1989 - Planejamento de Amostragem em Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias, ela foi realizada em um ponto da chaminé onde não havia alterações do fluxo ou turbulências que pudessem gerar alterações. Para isto foi importante a prévia análise técnica do local e determinação do ponto ideal da chaminé onde foi instalado o amostrador.

O ideal é amostrar um fluxo ordenado, totalmente isento de turbulências, condição nem sempre presente em processos industriais. Para se obter um fluxo em boas condições, foram escolhidos pontos que estavam em trechos retos ou pontos localizados:

- a pelo menos cinco (5) diâmetros, ou diâmetro equivalente, a frente de curvas, válvulas ou restrições presentes no duto ou chaminé, para permitir o realinhamento das correntes de fluxo do gás;
- a pelo menos dois (2) diâmetros, ou diâmetros equivalentes, antes de curvas, restrições ou saídas do gás, evitando variações provocadas por perturbações no fluxo.

Após as verificações, os equipamentos foram posicionados na plataforma e após as medidas de posicionamento foram definidos os pontos de amostragem, como se verifica na planilha mostrada na Tabela 11 que mostra um cálculo de posicionamento realizado na amostragem de um Forno de Produção de Ferro-Liga (Forno 03), cuja chaminé media 1,35 metros de diâmetro interno, estando o ponto de amostragem a 7,4 m a jusante da última curva da tubulação e a cerca de 1,90 m a montante da saída do gás para a atmosfera. Após o cálculo verificou-se que o ponto estava a 5,5 diâmetros a jusante e a 1,4 diâmetros a montante, levando ao uso de um valor mínimo de 20 pontos de amostragem, como mostra a figura 26.

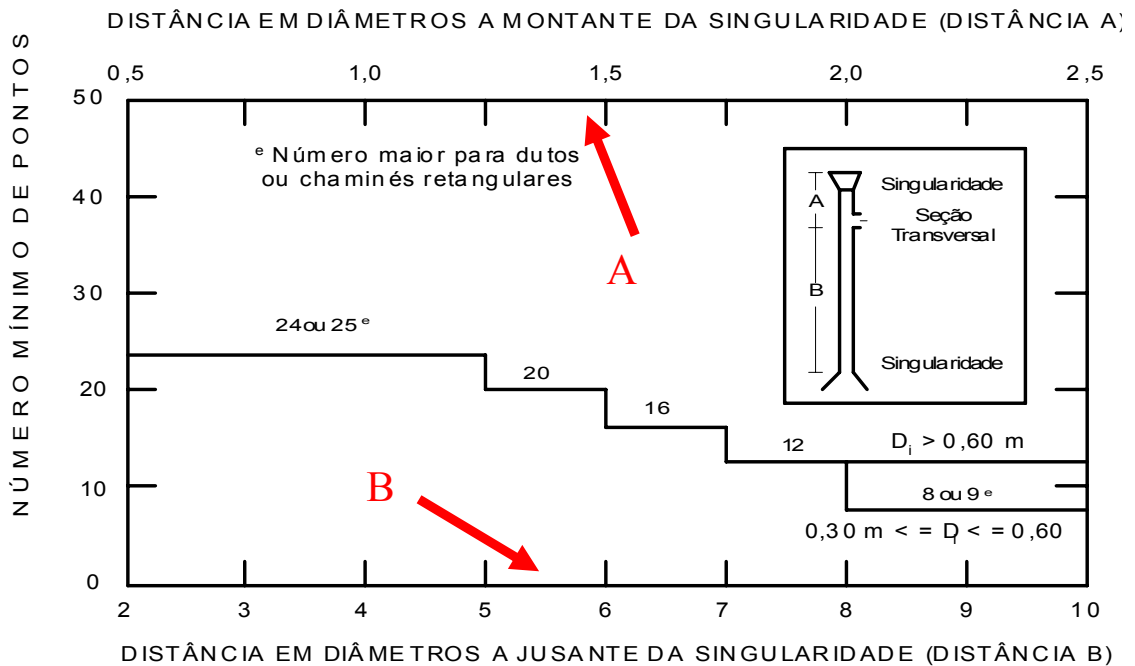


Figura 26 – Definição do número de pontos de amostragem

Fonte: NBR10700/1989

A Tabela 10 mostra também o posicionamento do flange que está afastado 10 cm da parede interna da chaminé. Este valor será adicionado ao posicionamento de cada ponto

calculado para ajustá-lo ao eixo de amostragem. Desta forma, o número de pontos foi distribuído em dois eixos de amostragem, com 10 pontos em cada eixo.

Tabela 10 - Posicionamento dos pontos de amostragem no eixo de medição no Forno 3

Diâmetro do duto (m)	1,35	Afastamento do Flange (cm)	10
Numero de pontos	% Diâmetro	Posição do ponto no eixo (cm)	Posição + flange (cm)
1	2,6	3,51	3,61
2	8,2	11,07	11,17
3	14,6	19,71	19,81
4	22,6	30,51	30,61
5	34,2	46,17	46,27
6	65,8	88,83	88,93
7	77,4	104,49	104,59
8	85,4	115,29	115,39
9	91,8	123,93	124,03
10	97,4	131,49	131,59

Foram realizadas as marcações no corpo da sonda de forma que o operador pudesse localizar o ponto exato de posicionamento da sonda dentro do duto. Estas marcações foram feitas com auxílio de caneta com tinta resistente a umidade e calor ou com uso de fitas adesivas, evitando a perda de referência durante o decorrer da amostragem.

A Figura 27 mostra o detalhe de posicionamento da sonda no interior do duto realizada pelo operador e o detalhe do flange que deve ser considerado na marcação dos pontos na sonda.

Após a marcação dos pontos na sonda foi feito o levantamento de dados preliminares para amostragem, através de uma varredura por todos os pontos considerados e coleta dos dados de Temperatura da Chaminé, ΔP e Pressão estática. Estes dados foram usados para o Cálculo do fator K, um adimensional que serviram para converter os dados de ΔP em cada ponto em um valor de ΔH a ser utilizado pelo operador para a regulagem da bomba de vácuo do equipamento e proporcionar a Coleta Isocinética.

Cada ponto foi amostrado por período igual e a amostra coletada foi proveniente de uma área equivalente dentro da Chaminé, de forma a cobrir toda a área do duto com coleta e no final da coleta, a amostragem foi representativa de todo o fluxo no interior do duto.

Deve se salientar que qualquer interrupção do funcionamento do sistema que levasse a grande variação ou cessação do fluxo, a qualquer tempo durante a amostragem, invalidaria a amostragem e a coleta deveria iniciar novamente a partir do primeiro ponto.



Figura 27 - Posicionamento da Sonda numa Chaminé.

A Tabela 11 mostra a planilha utilizada para a coleta dos dados preliminares com os 20 pontos de amostragem distribuídos em dois eixos de amostragem.

Estas premissas foram consideradas e as amostragens foram realizadas dentro das Normas de Amostragem. Mesmo adotando os critérios de escolha dos pontos de amostragem, foi necessário fazer um teste preliminar para verificar turbulências e validar a amostragem, pois se ao final da amostragem não obtivéssemos Amostragem Isocinética, com Velocidade de Coleta variando entre 90 e 110% da velocidade do fluxo, como prevêem as Normas, a amostra seria invalidada.

Tabela 11 - Planilha de Coleta de Dados Preliminares

DADOS DA AMOSTRAGEM					
Ponto	Distância		Temp. Chaminé (°C)	DP mmH ₂ O	Pe mmH ₂ O
	(%)	(cm)			
E1-P01	2,6	3,51			
E1-P02	8,2	11,07			
E1-P03	14,6	19,71			
E1-P04	22,6	30,51			
E1-P05	34,2	46,17			
E1-P06	65,8	88,83			
E1-P07	77,4	104,49			
E1-P08	85,4	115,29			
E1-P09	91,8	123,93			
E1-P10	97,4	131,49			
E2-P01	2,6	3,51			
E2-P02	8,2	11,07			
E2-P03	14,6	19,71			
E2-P04	22,6	30,51			
E2-P05	34,2	46,17			
E2-P06	65,8	88,83			
E2-P07	77,4	104,49			
E2-P08	85,4	115,29			
E2-P09	91,8	123,93			
E2-P10	97,4	131,49			
Média					

3.5. Amostragem e Determinação de Material Particulado

Para a coleta da amostra se seguiu a Norma ABNT- MB-3355- Efluentes Gasosos em Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias- Determinação de Material particulado, de Dezembro de 1990, que estabelece algumas diretrizes que foram importantes para a validação de uma amostragem de material particulado, como mostra a Tabela 12.

As amostragens foram realizadas durante um período de tempo que variou de acordo com a Norma em função do fluxo e do duto amostrado, porém este tempo é adotado em função da velocidade do fluxo. O tempo a ser adotado é calculado em função do volume mínimo coletado que é de 0,85 Nm³, podendo se estender até um tempo maior quando queremos cobrir todo o ciclo produtivo, de forma a se obter uma amostragem representativa do processo e um tempo de amostragem por ponto, nunca inferior a 2 minutos.

Tabela 12 - Valores Especificados para amostragem

	Mínimo	Máximo
Tempo de Coleta por ponto (minutos)	2	Sem limite
Tempo Total de Coleta (minutos)	60	Sem limite
Volume Coletado (Nm ³)	0,85	Sem limite
Isocinética (%)	90	110

Fonte: MB-3355 - ABNT

De acordo com procedimentos adotados internacionalmente, a amostragem oficial acompanhada pelo Órgão de Controle Ambiental deve ser realizada em triplicata, sendo três amostras consecutivas dentre as quais as duas mais próximas serão validadas. Para efeito do monitoramento a amostragem foi considerada sempre que o parâmetro de amostra isocinética foi cumprido.

O filtro utilizado para coleta de material particulado foi um filtro composto de fibra de vidro, resistente a ataques pelos gases e a altas temperaturas, que foi seco previamente em dessecador até a sua pesagem e instalação no porta-filtro.

Durante a coleta da amostra observaram-se os dados de ΔP a cada mudança de ponto de amostragem e converteu-se em ΔH , para regular a velocidade de coleta. Também se coletaram os dados de amostragem de cada ponto: Temperatura do Gás, Temperatura da Caixa quente, Temperatura da Caixa Fria, Temperatura da Entrada e Saída do Gasômetro e Vácuo aplicado pela bomba, como mostra a Tabela 13.

Ao final da amostragem, o filtro foi retirado e levado a um dessecador e, posteriormente, todo material particulado retido no filtro foi pesado. Em seguida, se procedeu a lavagem da sonda e da extensão para retirada de material particulado acumulado internamente, com o uso de uma escova de cerdas múltiplas montada em fio longo que permitiu a limpeza em toda a extensão interna, lavando o resíduo com acetona, transferindo para um béquer que depois é acondicionado em uma estufa a 105°C, onde permaneceu até a secagem completa. Após a secagem o filtro foi resfriado em dessecador e pesado.

Tabela 13 - Dados Coletados Durante uma Amostragem

Ponto	Tempo (min)	Distância (cm)	Vol. Med. (m³)	Pressão (mmCA)			Temperatura (°C)					Vácuo (cmHg)
				ΔP	Raiz	ΔH	Cham.(1)	Filt.(2)	Borb.(3)	Ent.(4)	Sai.(5)	
1	3	3,51	3,172	6,0	2,4	22,5	75	118	27	34	33	1,5
2	6	11,07	3,222	10,0	3,2	37,4	89	115	25	34	33	1,5
3	9	19,71	3,282	9,5	3,1	35,6	92	115	25	35	34	3
4	12	30,51	3,47	10,5	3,2	39,3	93	116	25	37	34	3
5	15	46,17	3,401	9,5	3,1	35,6	92	118	25	39	34	3
6	18	88,83	3,465	12,5	3,5	46,8	94	118	25	41	35	5
7	21	104,49	3,536	16,0	4,0	59,9	93	115	25	41	33	4
8	24	115,29	3,603	12,0	3,5	44,9	94	122	25	42	36	3
9	27	123,93	3,668	12,0	3,5	44,9	94	121	25	43	37	3
10	30	131,49	3,726	9,0	3,0	33,7	94	117	25	43	37	2
11	3	3,51	3,785	9,0	3,0	33,7	83	120	26	47	38	2
12	6	11,07	3,47	10,0	3,2	37,4	97	121	27	47	38	3
13	9	19,71	3,905	10,0	3,2	37,4	93	123	27	42	38	3
14	12	30,51	3,972	12,5	3,5	46,8	94	123	26	44	39	4
15	15	46,17	4,039	11,0	3,3	41,2	93	121	27	45	39	4
16	18	88,83	4,102	12,0	3,5	44,9	91	122	27	45	40	3
17	21	104,49	4,169	11,0	3,3	41,2	90	123	27	45	40	4
18	24	115,29	4,235	12,0	3,5	44,9	87	123	27	45	41	3
19	27	123,93	4,292	11,0	3,3	41,2	85	123	27	45	41	3
20	30	131,49	4,3416	6,0	2,4	22,5	85	124	28	45	41	1
Média			0,0609	10,5	3,2		90,4	119,9	26,1	42,0	37,1	3,0

A massa final, composta pelo material retido no filtro e na sonda, foi determinada na Equação 26 e representou a Emissão de Material Particulado em relação ao Volume Total amostrado, ou seja, em relação ao volume totalizado pelo Gasômetro.

$$m_{particulado} = m_{filtro+material} - m_{filtro} \quad (26)$$

Sendo:

$m_{particulado}$ - massa de material particulado retido no filtro após coleta, g;

$m_{filtro + material}$ - massa do conjunto filtro mais material coletado, g;

m_{filtro} - massa do filtro limpo e seco, g;

Este valor foi relacionado ao volume de gás expelido pelo duto ou chaminé, e convertido em uma Concentração de Material Particulado (C) em mg/Nm³, através da Equação 27.

$$C = \frac{m_{\text{particulado}}}{V_{\text{coletado}}} \quad (27)$$

Sendo:

C – Concentração de material particulado no fluxo gasoso, mg/Nm³;

$m_{\text{particulado}}$ – massa de material particulado coletada na amostragem, mg;

V_{coletado} – Volume no estado padrão (CNPT) coletado durante a amostragem isocinética, Nm³.

Com os dados obtidos acima e da vazão no duto, foi possível calcular a Taxa de Emissão de Material Particulado (T_E) aplicando-se a Equação 28.

$$T_E = C \cdot Q_{NBS} \quad (28)$$

Sendo:

T_E – Taxa de Emissão de Material Particulado, Kg/h;

C – Concentração de material particulado no fluxo gasoso, mg/Nm³;

Q_{NBS} – Vazão do fluxo gasoso no estado padrão, Nm³/h.

Após a quantificação do material coletado foi possível confrontar os valores obtidos com os limites exigidos pelas normas ambientais, verificando a condição de conformidade da empresa frente às normas aplicáveis a instalação. Pôde-se também proceder à qualificação do material coletado, como se descreve a seguir.

3.6. Composição do Material Coletado

Os trabalhos foram desenvolvidos em uma Indústria de Produção de Ferro-Liga e duas Empresas de Produção de Álcool.

No Processo de Produção de Ferro-Liga o material a ser estudado foi proveniente de um processo de controle de emissão, constituído de um sistema de resfriamento e um Filtro de Mangas (Bag House), conforme fluxograma do processo na Figura 28.

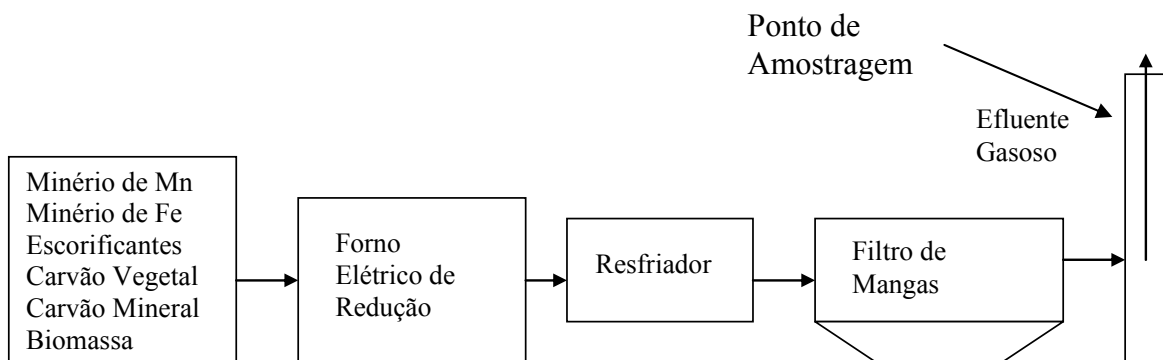


Figura 28 – Fluxograma Simplificado do Processo de Ferro-liga e Tratamento do Efluente Gasoso

No Processo da Indústria Alcooleira o fluxo gasoso estudado é proveniente de um Gerador de Vapor que utiliza o Bagaço de Cana como combustível e tem como Controle de Poluentes um Lavador de Gases do tipo bandejas, como mostra a Figura 29.

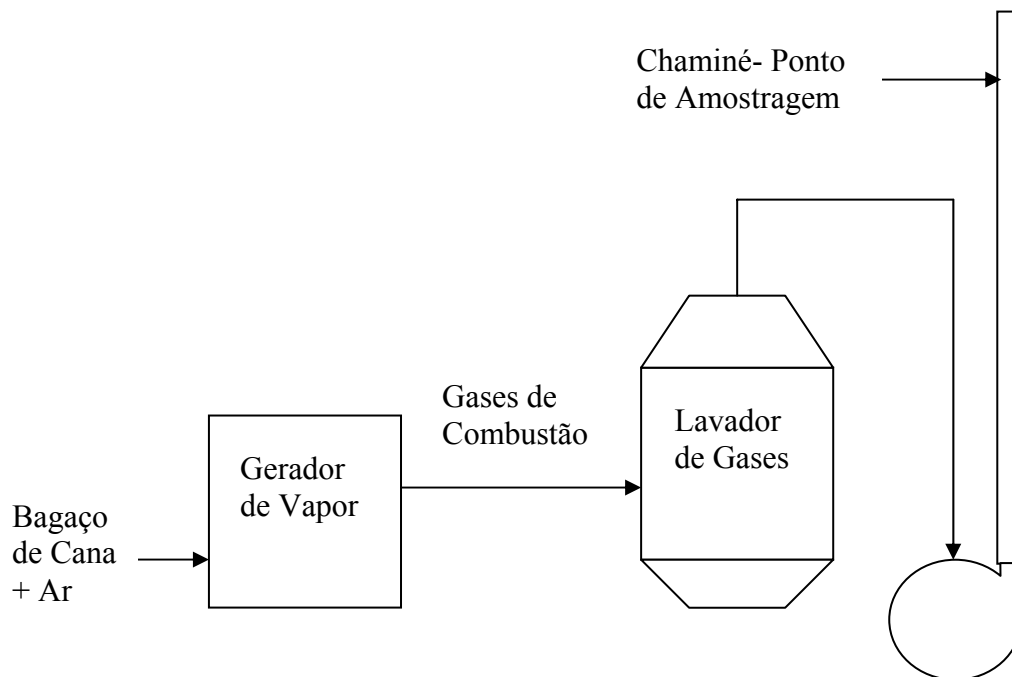


Figura 29 – Fluxograma Simplificado do Processo de Ferro-Liga e Tratamento do Efluente Gasoso

A composição química esperada foi descrita nos tópicos a seguir.

3.6.1. Composição Química Esperada

A composição química esperada, para o material particulado coletado no processo de Fabricação de Ligas Ferrosas em Fornos elétricos de redução, tem uma tendência baseada em:

- processo de combustão e redução química tende a emitir gases ricos em Monóxido de Carbono (CO) e, em consequência, a emissão de fuligem e cinzas;
- a corrente gasosa de um processo de exaustão, com grandes velocidades, pode arrastar finos de minérios, emitindo particulados tais como a Sílica (SiO₂) e Óxidos Metálicos (MnO₂, FeO, CaO, etc.);

A composição esperada foi variável e característica das oscilações no processo. Para a caracterização do material emitido pelo processo, o material particulado coletado pelo filtro de mangas e armazenado no local, foi enviado ao laboratório da indústria onde foi analisado utilizando um Espectrômetro de Fluorescência de Raios X, Marca Rigaku RIX 2000, com detector F-PC, que é um detector de fluxo para elementos leves (F a Sc), localizado na parte interna da câmara de vácuo, e o detector SC que é um detector de contagem de cintilação (para elementos de Ti a U), localizado na parte externa da câmara de vácuo do equipamento.

As análises possíveis de serem desenvolvidas neste equipamento foram citadas na Tabela 14.

Tabela 14 - Elementos e Substâncias possíveis de serem determinadas pelo Espectrômetro de Raios-X.

Análises disponíveis	Elementos
Óxidos maiores em rochas e perda ao fogo com fechamento em pastilha vítrea	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , MnO, MgO, Cao, Na ₂ O, K ₂ O, TiO ₂ , P ₂ O ₅
Grupos de elementos traços de rochas em pastilha prensada	V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba
Análise qualitativa	Varredura de elementos com número atômico >10

No processo de Gerador de vapor na Indústria Alcooleira os gases no fluxo gasoso são gases característicos da combustão de Biomassa, com teores significativos de Monóxido de carbono (CO). O material particulado poderá conter material não queimado e

cinzas geradas na combustão. A composição química deste material particulado não será objeto de estudo neste trabalho.

3.6.2. Composição Granulométrica Esperada

Em função do Processo de Limpeza de Gases ser realizado por um Filtro de Mangas e a eficiência esperada de um Filtro de Mangas ser acima de 95% para Material particulado nas faixas PM_{10} e $PM_{2,5}$ e, na faixa de 99% ou acima para particulados com diâmetro acima de 10 μm , foi coerente esperar um Material Particulado com características granulométricas na faixa de $PM_{2,5}$ contendo até Material Particulado Submicrônico em sua composição.

A análise granulométrica do pó coletado no Filtro de Mangas foi realizada no Malvern Mastersizer E ver. 1.1a, da Aldoro Pigmentos e Tintas, que utiliza o princípio o espalhamento de luz para a determinação da distribuição das partículas na faixa de diâmetro entre 0,1 – 2000 μm .

Na amostra de material particulado coletada no filtro do coletor isocinético CIPA somente foi possível determinar o diâmetro aerodinâmico, devido ao pequeno volume de amostra. A distribuição granulométrica deste material polidisperso foi determinada através do contador APS 3320 da TSI, do Departamento de Engenharia Química da UFSCAR, que forneceu o número de partículas em função do diâmetro aerodinâmico das mesmas. Com estes dados foi possível estimar o comportamento dos equipamentos de controle através da granulometria de entrada e saída.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados deste trabalho foram divididos em relação aos dois ramos de Indústrias monitoradas, a Indústria de Produção de Ferro-liga e a Geração de Vapor na Indústria de Álcool e Açúcar, determinando o Material Particulado e Análises de Gases do Processo.

4.1. Dados Obtidos na Amostragem em Fornos de Ferro-Liga

O monitoramento feito na Indústria de Ferro-Liga foi realizado em chaminés dos fornos, em pontos localizados após os equipamentos de controle ambiental. Estes Fornos foram separados em conjuntos de equipamentos, descritos a seguir:

a) Conjunto composto por dois Fornos, Fornos 01 e 02, cada um deles possuindo Tubulação Horizontal de Exaustão de Gases, Ciclone, Filtro de Mangas, Exaustor e Chaminé Vertical;

b) Forno 03 - conjunto formado por apenas um Forno, Tubulação Horizontal de Exaustão de Gases, Ciclone, Filtro de Mangas, Exaustor e Chaminé Vertical;

c) Conjunto de Fornos composto por dois Fornos, Fornos 04 e 05, cada um deles possuindo Tubulação Horizontal de Exaustão de Gases, Conjunto Resfriador de Gases, Filtro de Mangas e Chaminé Vertical.

Na seqüência deste trabalho os Fornos foram identificados como F01, F02, F03, F04 e F05.

4.1.1. Análise Prévia nas Condições da Chaminé

A avaliação inicial foi realizada antes de toda coleta de material particulado. A seguir é mostrado o procedimento realizado em uma coleta no Forno 04, onde após a avaliação das condições da chaminé constatou-se se tratar de um duto de seção circular e que o ponto de acesso ao interior do duto estava localizado a 13,6 metros a montante da última singularidade e a 1,6 metros a jusante da saída do fluxo gasoso ao ambiente.

A Tabela 15 indica a quantidade mínima de pontos a serem utilizados na amostragem em função da distância do ponto de amostragem e a última singularidade, a montante do fluxo gasoso. Pode-se definir que para esta condição o ideal foi utilizar o número

máximo de pontos de amostragem que é de 24 pontos, pois estava a 0,6 diâmetros da saída da chaminé.

Tabela 15 - Determinação do Número de Pontos de Amostragem - Fluxo a Montante
Fonte: NBR 10701 - 1989.

Número de Diâmetros a Montante	Quantidade de Pontos
0,5	24
0,75	24
1	24
1,25	24
1,5	20
1,75	16
2	12
2,25	8
2,5	8

A seguir consultou-se a Tabela 16 e com 5,4 diâmetros a jusante da última singularidade que era a curva da Chaminé, se chegou ao mesmo número de pontos obtidos no cálculo anterior que era de 24 pontos a serem amostrados. Em caso de diferença de número de pontos calculados a montante e a jusante se deve utilizar o maior número de pontos determinado, prevalecendo a condição de amostragem mais representativa.

Tabela 16 - Determinação do Número de Pontos de Amostragem - Fluxo a Jusante
Fonte: NBR 10701 - 1989.

Número de Diâmetros a Jusante	Quantidade de Pontos
2	24
3	24
4	24
5	24
6	20
7	16
8	12
9	8
10	8

O Quadro 04 mostra todos os dados obtidos na avaliação inicial do Forno 04.

Quadro 04- Dados Iniciais de Amostragem

Dados da Fonte			
Nomenclatura:	Forno 04	Parâmetros:	
Processo:	Produção de Ferro-Liga	Sistema:	Filtro de Mangas
Altitude (m):	-	Ciclo Operacional	
Geometria da Chaminé	Circular	(x) Contínuo	() Batelada
Diâmetro Externo (m)	2,6	() Outros	Duração: -
Diâmetro Interno (m)	2,5	Nº de Diâmetros a Jusante (B)	5,4
Área Externa (m²)	-	Nº de Diâmetros a Jusante (A)	0,6
Área Interna (m²)	4,91	Nº de Pontos Determinados	24
Distância a Montante (m)	13,6	Nº de Eixos	2
Distância a Jusante (m)	1,6	Nº de Pontos por Eixo	12

Na seqüência dos trabalhos foi calculada a localização destes pontos na chaminé, com base nos dados obtidos neste tópico.

4.1.2. Localização dos Pontos de Amostragem

Após determinar que o número de pontos que eram 24 e que eles deveriam estar distribuídos em dois eixos, como foi mostrado em 2.8., Figura 09, com 12 pontos em cada eixo. Utilizou-se a Tabela 17 para calcular a posição de cada ponto no eixo.

De acordo com a norma foi calculada a distância de cada ponto em relação a cada eixo em função do diâmetro interno da chaminé. Após o cálculo efetuou-se a marcação destas distâncias na sonda de amostragem utilizando-se uma fita aderente e caneta com tinta resistente a altas temperaturas, de forma a posicionar a sonda no ponto exato de amostragem e facilitar o novo posicionamento após o tempo de coleta neste ponto.

Em casos onde existiam flanges nas aberturas para amostragem, o afastamento dos flanges em relação à parede interna da chaminé foi considerado para a marcação da sonda e posicionamento no ponto correto, sendo somado a cada medida de afastamento do ponto em relação à saída o flange, que foi a referência de posicionamento.

Tabela 17 - Determinação do Posicionamento dos Pontos de Amostragem

Ordem do ponto no diâmetro	Número de pontos no diâmetro x Distância em % de Diâmetro Interno					
	2	4	6	8	10	12
1	14,6	6,7	4,4	3,2	2,6	2,1
2	85,4	25	14,6	10,5	8,2	6,7
3		75	29,6	19,4	14,6	11,8
4		93,3	70,4	32,3	22,6	17,7
5			85,4	67,7	34,2	25
6			95,6	80,6	65,8	35,6
7				89,5	77,4	64,4
8				96,8	85,4	75
9					91,8	82,3
10					97,4	88,2
11						93,3
12						97,9

No caso real, mostrado na Tabela 18, a medida do flange deve ser adicionada as medidas calculadas, ou seja, se o flange medir 10 centímetros o primeiro ponto era posicionado a 10+5,3 cm da referencia externa, o mesmo acontecendo com os demais.

Tabela 18 - Determinação Real do Posicionamento dos Pontos de Amostragem (Di=250mm)

Ponto	Distância	
	(%)	(cm)
E1-P01	2,1	5,3
E1-P02	6,7	16,8
E1-P03	11,8	29,5
E1-P04	17,7	44,3
E1-P05	25,0	62,5
E1-P06	35,6	89,0
E1-P07	64,4	161,0
E1-P08	75,0	187,5
E1-P09	82,3	205,8
E1-P10	88,2	220,5
E1-P11	93,3	233,3
E1-P12	97,9	244,8
E2-P01	2,1	5,3
E2-P02	6,7	16,8
E2-P03	11,8	29,5
E2-P04	17,7	44,3
E2-P05	25,0	62,5
E2-P06	35,6	89,0
E2-P07	64,4	161,0
E2-P08	75,0	187,5
E2-P09	82,3	205,8
E2-P10	88,2	220,5
E2-P11	93,3	233,3
E2-P12	97,9	244,8

4.1.3. Cálculo da Umidade Contida no Gás

Este cálculo foi importante para se preparar o equipamento para a amostragem, evitando-se contratempo após o início da coleta devido ao alto teor de umidade no fluxo, saturando os frascos coletores (impingers) e impedindo a amostragem. Em casos que a quantidade de água no fluxo foi maior era necessário aumentar o número de frascos coletores de umidade antes do início da medição. No caso de Processo de Ferro-liga a umidade se mostrou bastante baixa, abaixo dos 5%, não necessitando deste artifício.

4.1.3.1. Medição da Composição Química do Gás

As análises de gases foram realizadas durante a amostragem de material particulado buscando uma média representativa do fluxo de gás, com análises a cada 3 minutos, para o cálculo da Massa Molar do gás, de forma a se obter um mínimo de 24 resultados. Com o objetivo de utilizar estes dados para estudos futuros utilizou-se em algumas amostragens um intervalo de um minuto entre análises gerando um banco de dados de cerca de 60 análises de gás, durante uma amostragem.

A Tabela 19 mostra os resultados médios de Análise de Gás realizada em amostragens em coletas de 80 minutos, com os dados obtidos de %O₂, %CO₂, CO (ppm), NO_x(ppm). Os resultados médios servem para o Cálculo das Massas Molares do gás no interior do duto.

Tabela 19 - Resultados médios obtidos na Análise dos Gases em Fornos de Ferro-liga.

Amostra	O ₂ (%)	CO (ppm)	NO (ppm)	CO ₂ (%)	T _{gas} (°C)	CO* (ppm)
MP-F4-01	19,63	396,70	8,44	0,96	67,69	3764,31
MP-F4-02	19,18	1821,91	6,69	1,57	72,58	12999,33
MP-F5-01	19,82	842,43	7,35	1,00	70,39	9308,66
MP-F5-02	19,95	590,95	9,40	0,88	77,97	7336,75
MP-F5-03	20,47	666,88	3,17	0,42	67,97	16421,86

Sendo:

CO*- teor de CO corrigido para 8% de O₂ (Equação 01).

A composição dos Gases em Processo de Produção de Ferro-liga não é avaliada pelo CONAMA em suas atuais resoluções, não apresentando limites de emissão

destes poluentes. Na Resolução CONAMA Nº 382 de 2006 os teores de CO e NO_x não são avaliados.

Pôde-se observar que os teores de Monóxido de Carbono (CO) corrigidos demonstraram os altos valores esperados de um Processo de Redução em Fornos Metalúrgicos, porém como se tratou de um forno de Abóbada aberta aconteceu a diluição dos gases que foram eliminados em teores relativamente baixos, diminuindo os riscos ambientais e o impacto para a saúde humana na região. Este fato pode ser observado comparando os teores de CO, relativamente baixos em relação ao teor calculado com O₂ de referência a 8% quando os valores se elevam cerca de 10 vezes, mostrando o efeito de diluição destes gases na fonte.

A Figura 30 mostra a concentração dos gases nocivos CO e NO_x no efluente gasoso emitido para a atmosfera.

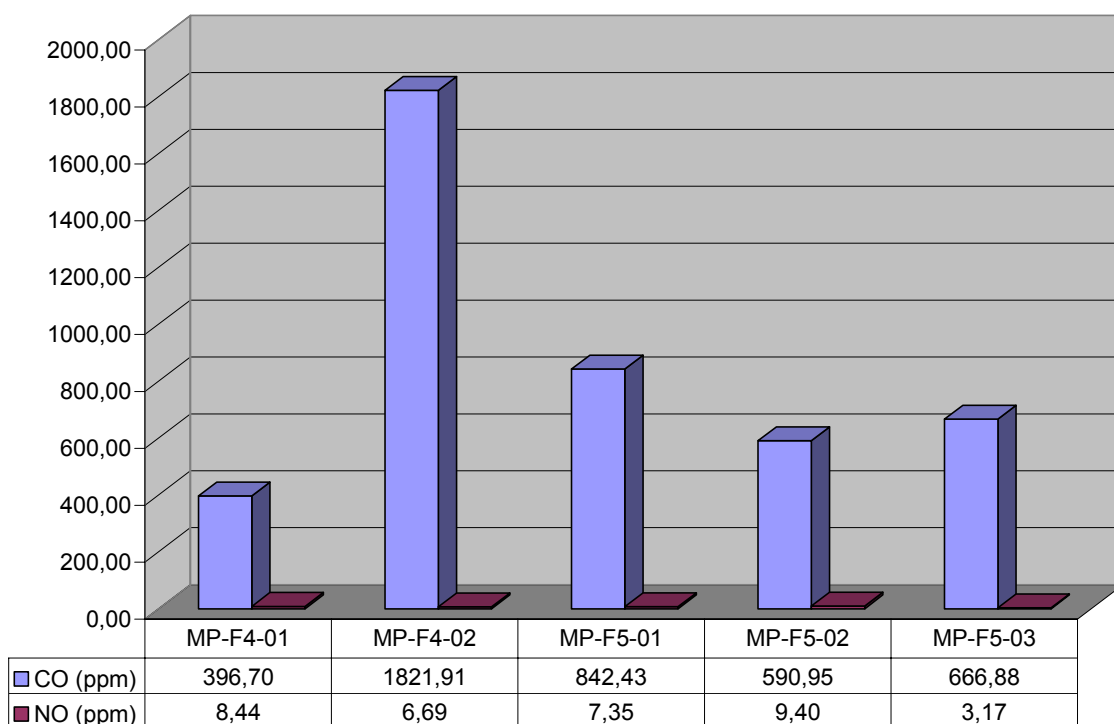


Figura 30 - Concentração de CO e NO_x no efluente gasoso

4.1.3.2. Determinação das Massas Molares do Gás

De posse dos dados anteriores e após a pesagem da água coletada nos impingers, procede-se o cálculo das Massas Molares do Gás, na base seca (MMS) e na base úmida (MMU).

A Figura 31 mostra as Massas Molares dos Gases obtidas nas Medições em Fornos de Ferro-liga.

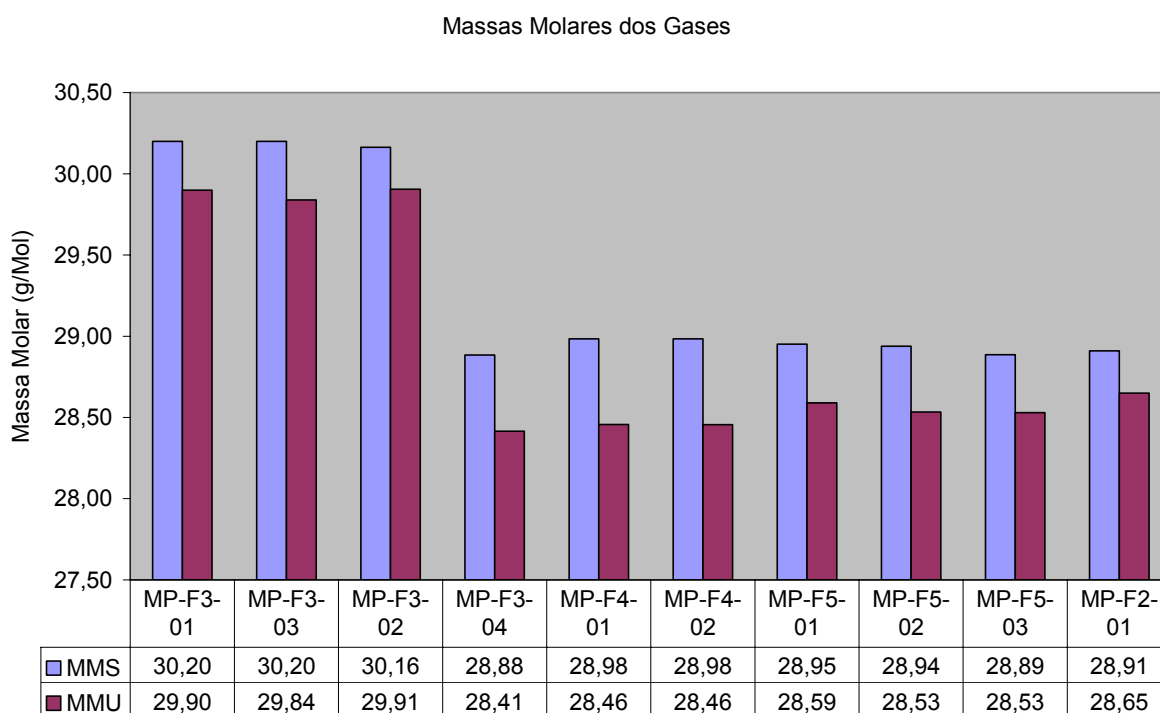


Figura 31 - Massa Molares Obtidas nas Amostragens

Em virtude de se tratar de um processo onde se trabalha com matéria-prima e combustíveis com baixa umidade, a Massa Molar Úmida e Seca apresentaram valores relativamente próximos.

4.1.4. Medição do Fluxo de Gás e Validação das Amostragens

De acordo com o Método Normalizado MB-3355, a coleta para ser representativa deveria ter um tempo mínimo de coleta de dois minutos por ponto, de forma a obter-se no final um volume mínimo de 0,86 Nm³ de gás coletado. A Figura 32 mostra o

Volume coletado nas diversas amostragens realizadas sempre acima do valor mínimo de coleta, validando estas amostragens.

Um fator limitante para validação do monitoramento realizado foi a Velocidade dos Gases no interior do duto que deveria estar dentro dos limites de trabalho especificado pelo fabricante e previsto nas normas de operação do Equipamento de Coleta (CIPA), que poderia variar de no mínimo de 2 m/s até um valor máximo de 50 m/s.

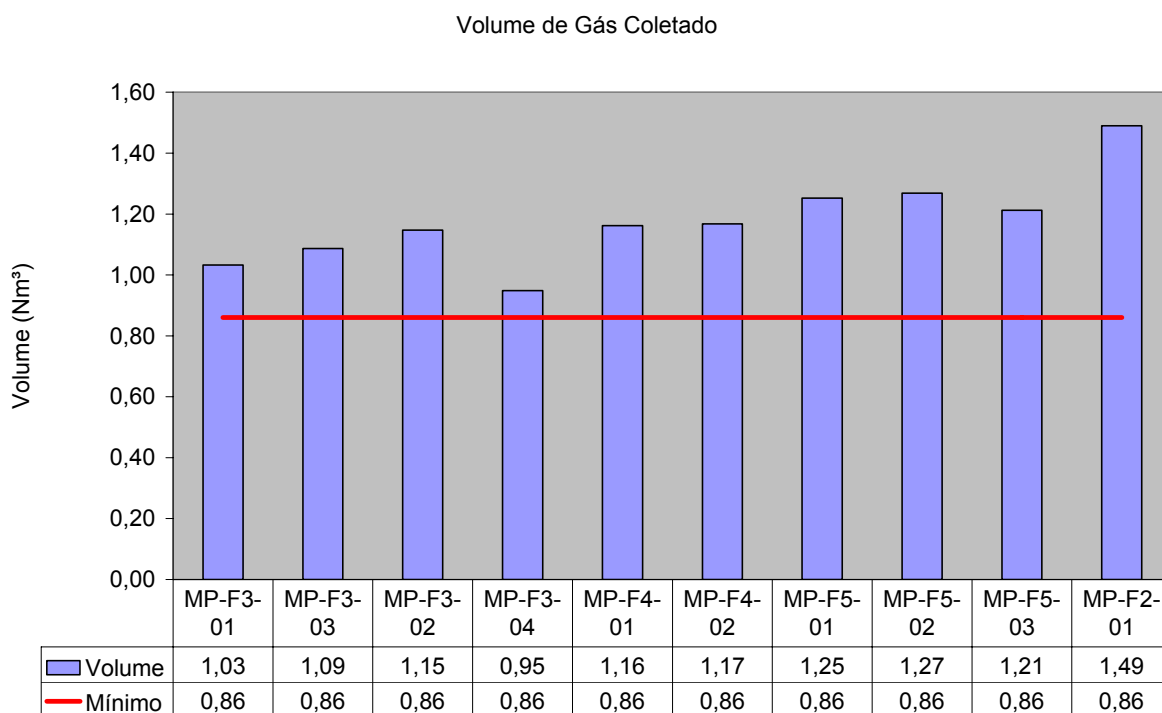


Figura 32 - Volume de Gases Coletado

Em todas as amostragens o volume mínimo de coleta foi atendido.

A Figura 33 mostra os resultados de velocidade do fluxo gasoso obtidos nos monitoramentos. Os valores praticados nas amostragens ficaram sempre dentro dos limites exigidos pelas normas e validaram os resultados obtidos.

Outro fator de extrema importância foi a Isocinética da amostragem, calculado pela relação entre a velocidade de coleta e a velocidade dos gases no interior do duto, cujo parâmetro de velocidade de coleta deve estar dentro de uma faixa de variação de mais ou menos 10% da velocidade do fluxo na chaminé. Este controle foi muito importante e de difícil execução, em virtude de depender da experiência do operador do equipamento e da estabilidade do fluxo gasoso no decorrer de toda a amostragem.

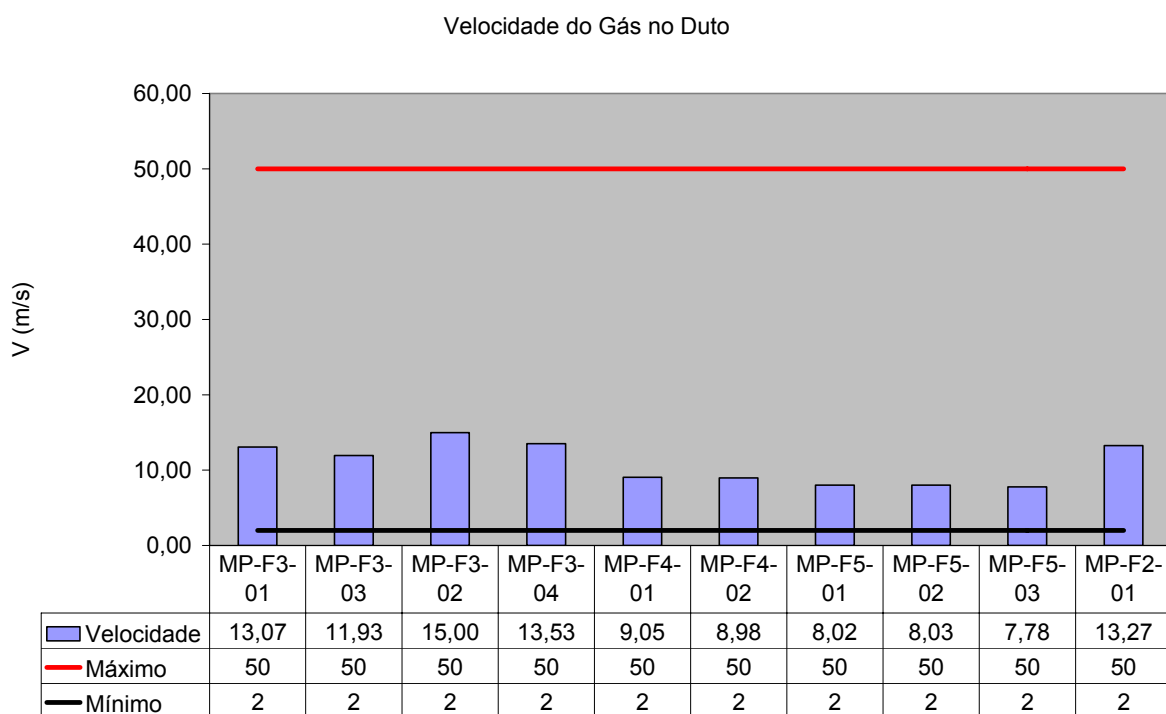


Figura 33 - Comparação da Velocidade do Fluxo x Limites Operacionais do CIPA

A Figura 34 mostra os resultados de Isocinética comparados aos parâmetros exigidos pela MB- 3355 que, com exceção da amostra 03, validaram as amostragens realizadas.

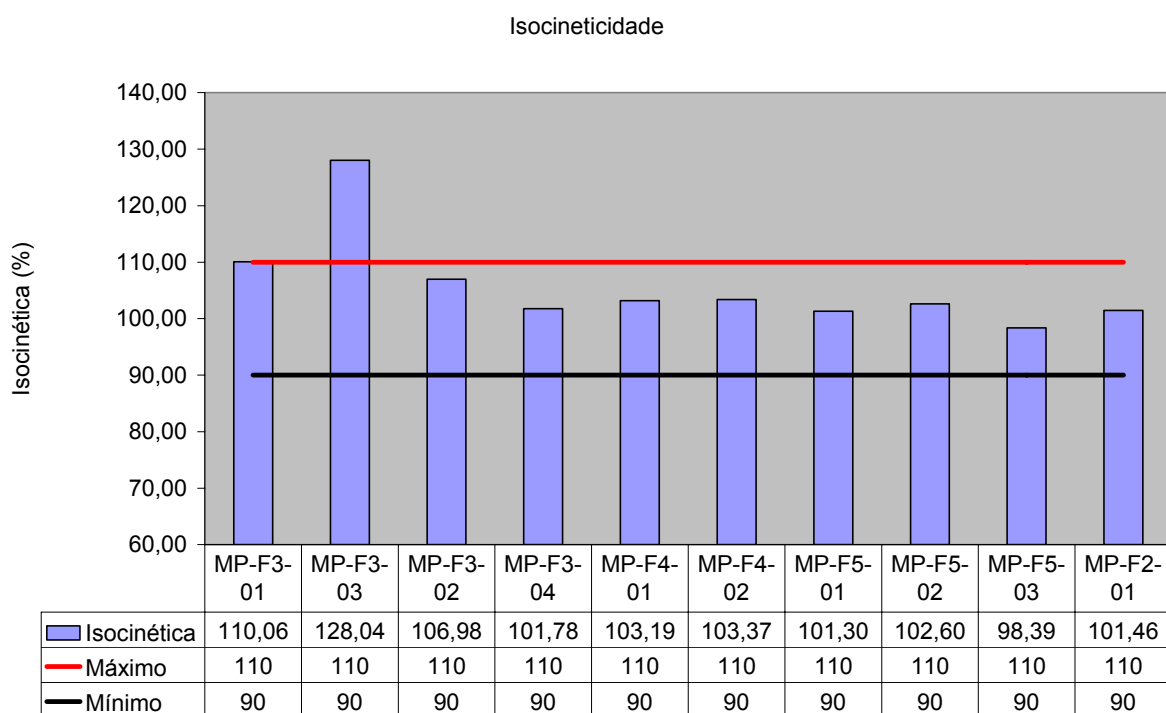


Figura 34 - Isocinética Obtida nas Amostragens em Fornos de Ferro-liga

O valor obtido durante a coleta da amostra 03 ocorreu devido à grande instabilidade no fluxo de gases, impossibilitando a adequação do equipamento e resultando numa amostragem não isocinética. Este fato levou a uma coleta com velocidade superior a do fluxo com tendência a coletar uma massa de material particulado maior e, em consequência, um valor maior na concentração de material particulado (mg/Nm^3). Este experimento serviu para treinamento da equipe em situações de grandes instabilidades, nos experimentos que foram feitos no início dos trabalhos em chaminés.

4.1.5. Concentração de Material Particulado

No período do início deste trabalho de monitoramento o foco de Limites de Emissão era anterior a Resolução N°. 382, de 26 de Dezembro de 2006 do CONAMA, publicada em 02/01/2007 no Diário Oficial da União, que diminuiu o Limite de Emissão de Material Particulado de $70 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ para $50 \text{ mg}/\text{Nm}^3$, para Fornos Elétricos. Esta nova resolução foi concebida para novas instalações, cuja Licença de Funcionamento tenha sido solicitada junto ao Órgão Controlador a partir da data da publicação da mesma. No entanto, a cada renovação de Licença, é recomendado um critério de reavaliação do empreendimento, pelo Órgão Fiscalizador, em função do nível de tecnologia aplicada ao processo e outros fatores locais. Este fato que já era visado pela empresa em seu Plano de Controle Ambiental, objetivando melhorias no controle de emissões.

A Figura 35 mostra os valores obtidos nas medições de material particulado efetuados nas chaminés de Fornos de Produção de Ferro-liga. Os primeiros pontos mostraram resultados de concentração próximos ao limite de $70 \text{ mg}/\text{Nm}^3$, que era o parâmetro de controle anterior a 2007, mostrando problemas para se adequar o sistema às novas limitações impostas pelo CONAMA em 2006 e praticadas a partir de 2007, com limite de $50 \text{ mg}/\text{Nm}^3$.

Após a determinação destes primeiros resultados e face às novas especificações, tornou-se necessário uma avaliação do Sistema de Tratamento que começou com uma Manutenção Planejada no Filtro de Mangas para adequação deste dispositivo de controle de poluentes com o objetivo de conseguir valores de emissão dentro dos parâmetros da nova resolução.

Feita a manutenção, novas amostragens foram realizadas e o resultado da ação preventiva foi notado através dos dados obtidos nas medições posteriores, com valores de

emissão dentro dos limites especificados pela nova resolução. Como os dados apresentados seguem ordem cronológica, eles mostram uma evolução nos valores de emissão após o evento da manutenção, atendendo os limites praticados pelo órgão ambiental.

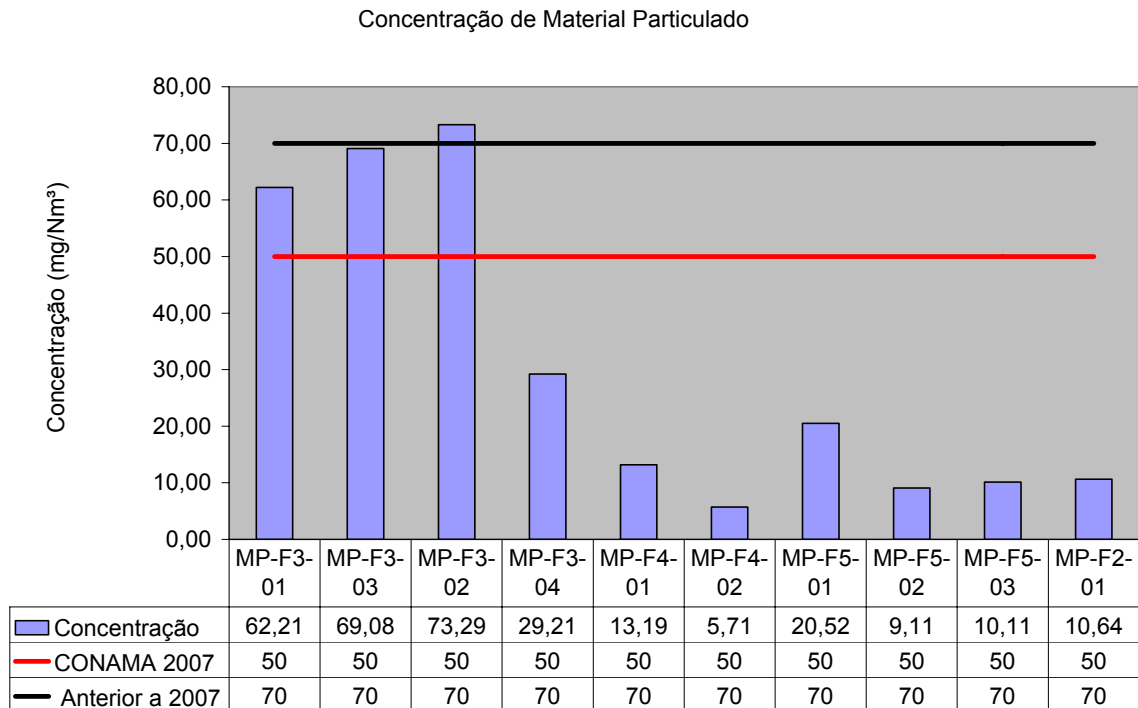


Figura 35 - Concentração de Material Particulado no Fluxo Gasoso

4.1.6. Taxa de Emissão de Material Particulado

A taxa de emissão teve comportamento semelhante aos dados de concentração, pois expressaram grandezas equivalentes. Apesar de não ser utilizada como padrão de emissão pelos órgãos controladores, a Taxa de Emissão quantifica com mais propriedade a emissão de material particulado. A Figura 36 mostra os dados de taxa de emissão obtidos nas medições.

Nota-se que a taxa de emissão apresentou valores mínimos cerca de 5 a 6 vezes menores à medida que o trabalho foi sendo realizado. Ressalta-se que a Taxa de Emissão, em Kg de material particulado lançado no meio ambiente por hora de trabalho de um equipamento (Kg/h), é o número ideal para quantificar a Emissão de Poluentes dentro do

ambiente fabril, simplificando o trabalho de informação dos resultados obtidos de forma compreensível até o chão de fábrica.

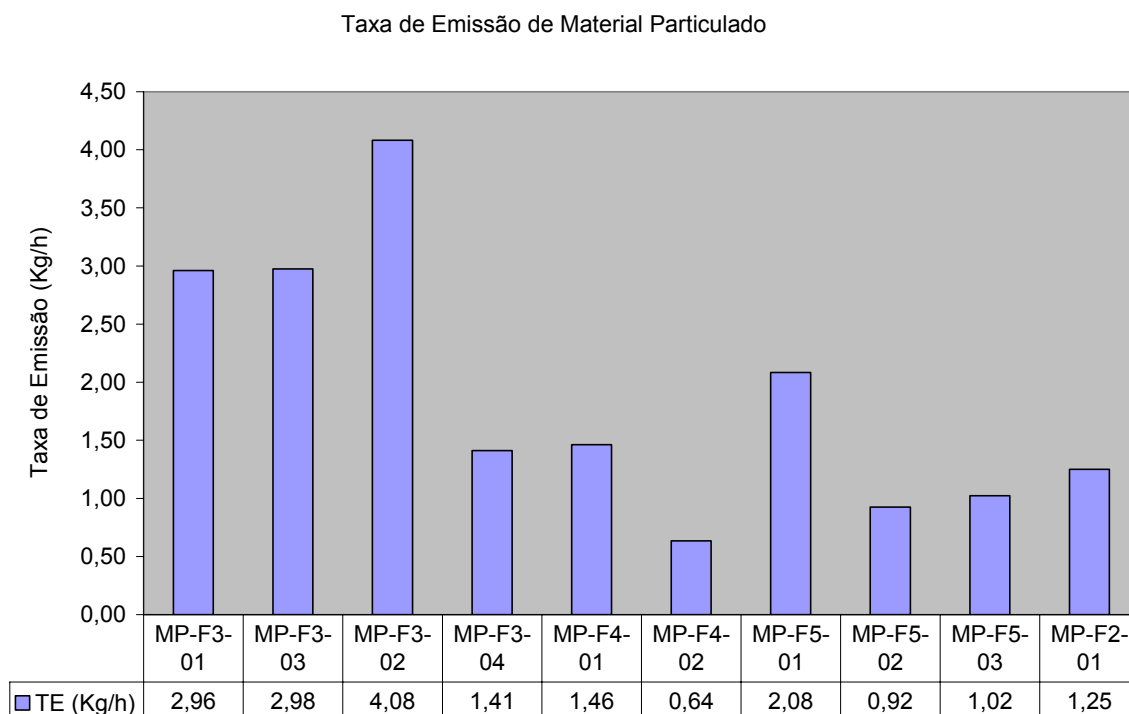


Figura 36 - Taxa de Emissão de Material Particulado no Fluxo Gasoso

4.1.7. Composição do Material Coletado

A seguir serão apresentados os resultados obtidos na análise química e granulométrica do material particulado obtido na coleta de material.

4.1.7.1. Composição Química Determinada do Material Particulado

A composição química de diversas amostras de material coletado no Filtro foi analisada em Espectrômetro de Fluorescência de Raios X e os resultados médios obtidos são apresentados na Tabela 20. A identificação das amostras foi feita em função do número do forno e da ordem da amostra, como exemplo: F2A01 significa que a amostra foi do forno 02 e a amostra foi a de número 1.

O material analisado foi o material retido nas mangas do filtro, pois o material coletado pelo equipamento após o Filtro de Mangas apresenta massa muito baixa, insuficiente

para ser analisado pelo equipamento utilizado. A variação que se observa entre fornos é resultado da variação da composição da carga dos fornos para se produzir ligas em condições operacionais diversas.

O alto teor de Álcalis totais como K_2O e Na_2O presente no material foi resultado da exaustão das cinzas formadas na reação de combustão e arrastadas pela evolução dos gases, incorporando ao fluxo gasoso.

Tabela 20 - Resultado da Análise Química de Material Particulado

Amostra	F2A01	F2A02	F2A03	F3A01	F3A02	F3A03	F4A01	F4A02	F4A03	F5A01	F5A02	F5A03
%Na ₂ O	3,33	3,37	3,53	3,33	3,53	3,57	ND	ND	ND	2,90	3,10	2,90
%MgO	4,40	4,53	4,53	3,93	3,97	4,03	4,17	4,20	4,17	3,80	4,10	4,07
%Al ₂ O ₃	5,97	5,83	5,50	3,40	3,20	3,23	5,67	5,80	5,70	5,57	6,33	6,17
%SiO ₂	17,00	17,00	16,87	18,07	17,00	17,00	14,67	14,00	13,93	15,07	17,00	16,83
%P ₂ O ₅	0,20	0,21	0,21	0,15	0,14	0,10	0,13	0,14	0,13	0,12	0,13	0,12
%SO ₃	7,97	8,13	8,23	7,27	7,70	7,87	8,13	7,90	8,03	6,23	6,70	6,53
%K ₂ O	19,00	19,00	18,93	24,03	26,00	25,33	24,83	25,00	24,93	22,10	25,00	24,80
%CaO	4,40	4,43	4,33	3,10	2,77	2,80	4,87	4,90	4,97	3,87	4,67	4,70
%MnO	26,00	26,00	26,27	26,00	26,00	26,00	22,73	22,87	22,53	31,50	23,00	23,87
%Fe ₂ O ₃	3,50	3,43	3,17	3,37	2,60	2,80	3,00	3,17	2,97	3,23	4,00	4,10
%ZnO	4,20	4,27	4,37	4,33	4,40	4,43	5,80	6,03	6,17	2,27	2,33	2,43
%I	0,39	0,38	0,39	0,17	0,20	0,20	0,48	0,49	0,51	0,27	0,27	0,26
%BaO	0,49	0,49	0,47	0,32	0,32	0,29	0,48	0,54	0,44	0,52	0,62	0,58
%Tl ₂ O ₃	0,49	0,49	0,45	0,21	0,22	0,22	0,36	0,37	0,36	0,21	0,21	0,20
%PbO	1,73	1,80	1,88	1,77	1,60	1,63	4,07	4,10	4,17	1,83	1,70	1,80

Alguns outros óxidos presentes de metais Alcalinos Terrosos como CaO, BaO, MgO e Sílica (SiO₂) foram provenientes dos minerais escorificantes ou formadores de escória, dentre eles o Calcário e a Dolomita, como fontes de Óxidos Básicos, e o Quartzito, como fonte de SiO₂.

Ainda se teve na composição outros Óxidos Metálicos, provenientes dos finos de minérios componentes da carga do Forno, tais como MnO e Fe₂O₃ que são componentes dos minérios de manganês e de ferro.

A presença de substâncias não metálicas como Iodo (I₂), Pentóxido de Fósforo (P₂O₅) e Trióxido de Enxofre (SO₃), foi interessante em função do alto teor apresentado. Dentre estas substâncias o alto teor de SO₃ se originou da adição de Carvão Mineral e seu derivado, o Coque de Carvão Mineral, ambos apresentando altos teores de Enxofre (S) e que gera os Óxidos de Enxofre (SO₂ e SO₃) na combustão. Fato interessante foi este alto teor de enxofre presente na torta de filtração que levou a inferir o efeito desta torta na retenção desta substância gasosa (filsorption), evitando sua presença nos gases de saída que apresentaram teores baixos deste componente, como vemos na Figura 37.

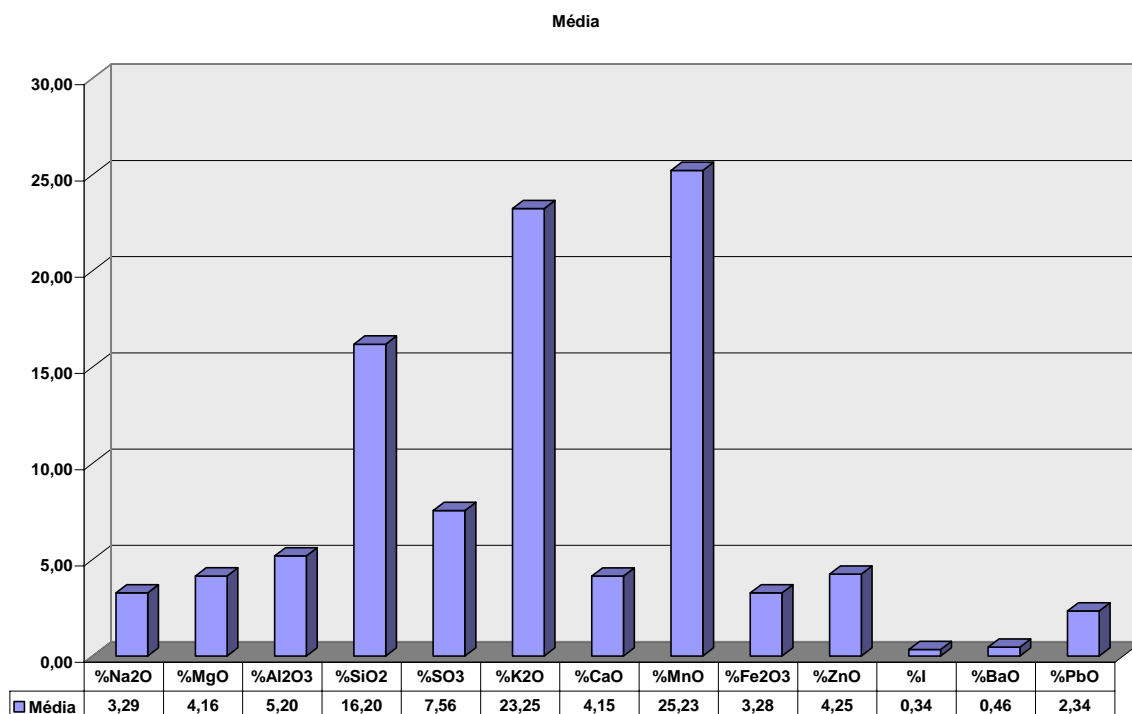


Figura 37 - Principais substâncias contidas no Material Particulado

4.1.7.2. Composição Granulométrica Determinada

Na determinação da granulometria pode-se observar que o Material Particulado presente antes e após o filtro de mangas tem características físicas diferentes, como mostra a Figura 38.

O material componente do fluxo gasoso e retido no filtro de mangas apresenta partículas de diâmetro aerodinâmico máximo de 101,52 μm e mostra uma poeira relativamente fina, pois o diâmetro aerodinâmico médio de 2,39 μm . O material particulado coletado na chaminé, após a passagem pelo filtro de mangas, apresenta um diâmetro aerodinâmico médio de 0,57 μm e um valor máximo de 6,7 μm , mostrando a eficácia de filtro de mangas na coleta de material PM10.

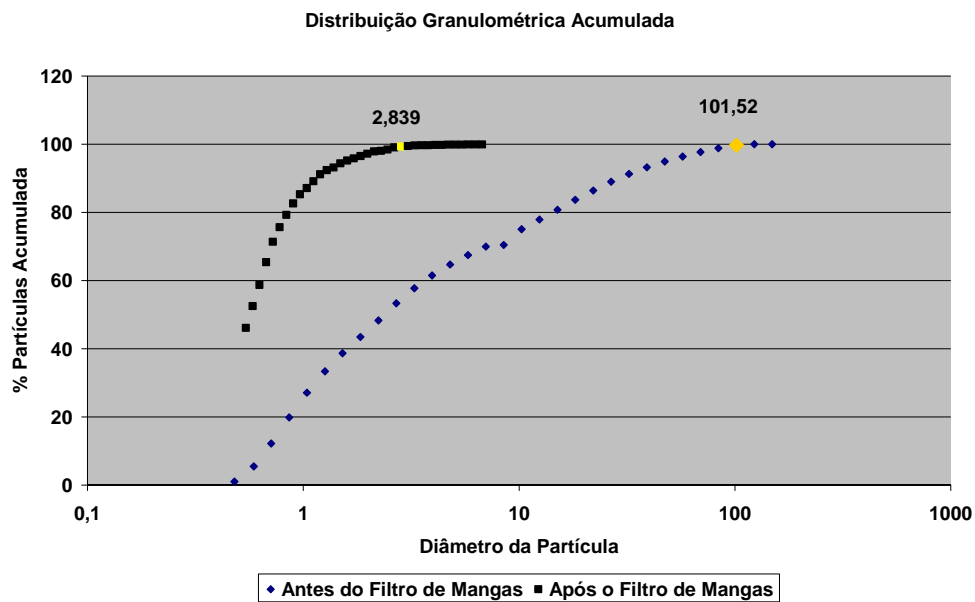


Figura 38- Distribuição Granulométrica do Material Particulado

4.2. Dados Obtidos em Geradores de Vapor na Indústria de Álcool

O monitoramento em Usinas de Álcool e Açúcar foi realizado em Chaminés dos Geradores de Vapor, em pontos localizados na Chaminé de Saída dos Gases de Combustão, após os Lavadores de Gases e exaustores.

Na seqüência os Geradores de Vapor foram identificados como A1, A2 e A3, sendo:

- a) A1 - Sistema com lavador de gás convencional;
- b) A2 - Sistema sem lavador de gás;
- c) A3 - Sistema com lavador de gás convencional, de alta capacidade, em início de funcionamento (Projeto em start up).

Exemplificando, a amostra MP-A1-03 foi a terceira amostra de determinação de Material Particulado realizada na chaminé da Usina 01. Caso se tenha amostragens de Análise de Gás será G-A1-03, como é mostrado a seguir.

Como os limites da legislação para este segmento foi dado em função da potência instalada temos a Tabela 21, que cita os sistemas e suas respectivas potências. Estes parâmetros serviram para as seqüentes análises dos resultados dos processos de geração de vapor em Indústrias Produtoras de Álcool.

Tabela 21- Limites de Emissão em função da Potência Térmica Nominal

Fonte: Resoluções SEMA-PR e CONAMA

Gerador	Potência MW	Limite SEMA-PR			Limite CONAMA 2006		
		MP (mg/Nm ³)	CO (mg/Nm ³)	NOx (mg/Nm ³)	MP (mg/Nm ³)	CO (mg/Nm ³)	NOx (mg/Nm ³)
A1	95	450	1300	500	200	N A	350
A2	56	450	1300	500	230	N A	350
A3	167	390	1000	400	200	N A	350

4.2.1. Análise Prévia nas Condições da Chaminé

A Chaminé monitorada na Usina de Álcool e Açúcar A1 apresentou um diâmetro interno de 2,95 metros e o ponto de amostragem a 20,5 metros de altura. O Quadro 05 apresenta os dados de campo levantados onde se determinou a distância do ponto de coleta a 6,95 diâmetros a montante da última singularidade e 0,51 diâmetros a jusante da saída da chaminé, de acordo com a norma NBR 10701. Observaram-se os dados levantados em campo, tais como: altitude, diâmetro externo e interno da chaminé e distância do ponto de amostragem a montante e a jusante da última singularidade ou perturbação do fluxo gasoso. Estes dados serviram para planejamento da amostragem.

Quadros 05- Dados de Análise Prévia

TÍTULO: AMOSTRAGEM EM FONTES ESTACIONÁRIAS - ANÁLISE DE PARTICULADOS		PÁGINA:	
DADOS DA EMPRESA			
Unidade:	Destilaria	Local:	Destilaria
DADOS DA FONTE:			
Nome:	Chaminé Caldeira 1	Parâmetros:	N.A.
Processo:	Produção de Alcool	Sistema:	Lavador de Gases
Altitude (m):		Ciclo Operacional	
Geometria da Chaminé:	Circular	<input checked="" type="checkbox"/> Contínuo	<input type="checkbox"/> Batelada
Diâmetro Externo (m):	3	<input type="checkbox"/> Outro:	Duração: N.A.
Diâmetro Interno (m):	2,95	Nº de Diâmetros a montante (D):	6,95
Área Externa (m²):	7,07	Nº de Diâmetros a jusante (D):	0,51
Área Interna (m²):	6,83	Nº de pontos determinados:	24
Distância a montante (OB) (m):	20,5	Nº de eixos:	4
Distância a jusante (AB) (m):	1,5	Nº de pontos por eixo:	6
Diâmetro equivalente:	N.A.		

4.2.2. Escolha dos Pontos de Amostragem

Na Usina 01, de acordo com a Tabela 22, apesar de a localização a jusante indicar um número de 20 pontos de amostragem, a quantidade de 0,5 diâmetros a montante indicou 24 pontos. Desta forma optou-se pelo número de amostras mais representativas que foi o maior número, 24 pontos de amostragem divididos em 12 pontos por eixo, de acordo com a NBR- 10701/1989.

Tabela 22 - Localização dos pontos de amostragem

Montante	Número de Pontos	Jusante	Número de Pontos
0,5	24	2	24
0,75	24	3	24
1	24	4	24
1,25	24	5	24
1,5	20	6	20
1,75	16	7	16
2	12	8	12
2,25	8	9	8
2,5	8	10	8

Fonte: NBR - 10701/1989

O número de pontos de amostragem foi de 24 pontos, divididos em dois eixos. De forma similar, nas usinas A2 e A3, com chaminés de diâmetros diferentes foram utilizados 24 pontos de amostragem.

4.2.3. Medição da Composição Química do Gás

Os resultados médios obtidos de análise de gases foram apresentados na Tabela 23. O limite estabelecido pelas normas ambientais em relação ao Oxigênio (O₂) de referência foi de 8%. Ele serviu como parâmetro de referência para recálculo dos teores de CO, como mostrou a Equação 01.

Tabela 23- Análise dos Gases de Combustão dos Geradores de Vapor

Amostra	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	CO(ppm)	NOx(ppm)	T gás(°C)	CO ref (mg/Nm ³)
G-A1-01	8,29	11,20	6282	101	107	8031
G-A1-02	8,59	10,94	3571	106	101	4677
G-A1-03	8,15	11,34	3647	114	104	4611
G-A2-01	10,83	7,33	602	97	194	962
G-A2-02	14,55	4,64	1084	83	149	2732
G-A3-01	8,46	11,86	4577	88	93	5931
G-A3-02	11,06	9,34	1194	79	92	1952
G-A3-03	9,68	10,65	3317	72	97	4761
G-A3-04	12,67	7,82	75	149	96	146
G-A3-05	13,09	7,41	297	75	86	610
G-A3-06	13,03	7,48	45	150	92	92

A Figura 39 mostra os teores médios de O₂ obtidos nas amostragens e apesar dos dados serem diferentes do teor de referência, eles foram convertidos a 8% para cálculo das emissões gasosas.

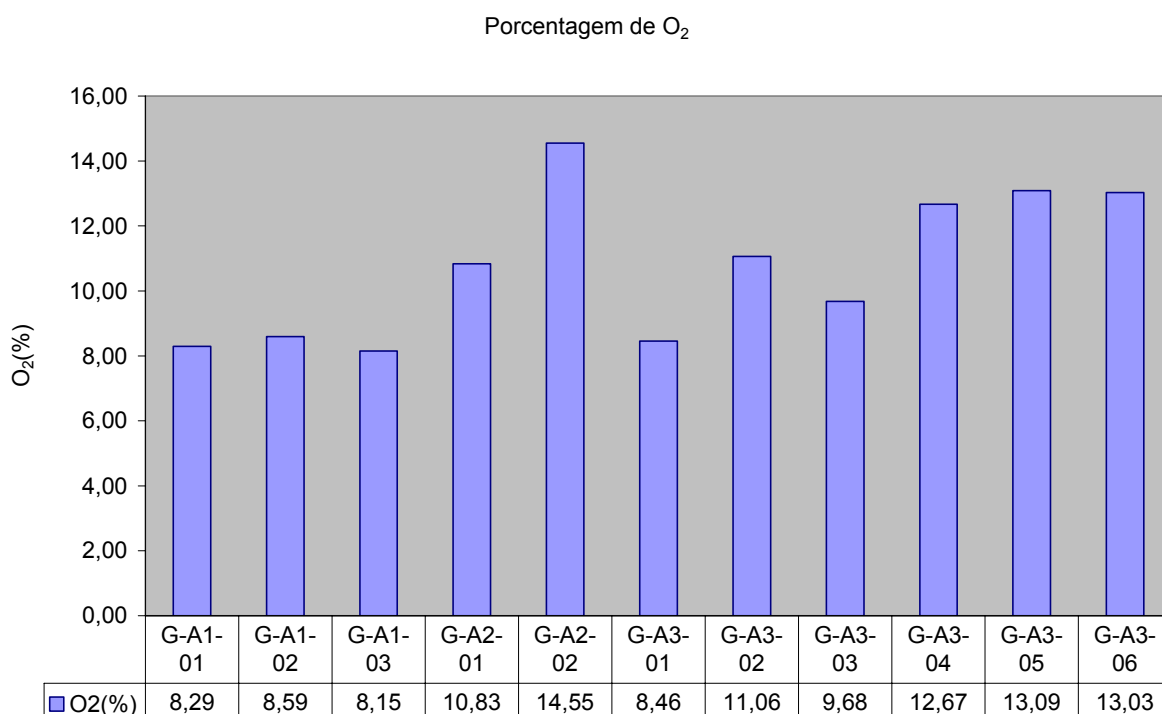


Figura 39 - Concentração de O₂ nos gases analisados

Os resultados médios de Concentração de CO obtidos quando comparados ao limite de 1300 mg/Nm³, recomendados pelo CONAMA, mostram que o Processo de Combustão em Caldeiras alimentadas por bagaço de cana emite além dos limites estipulados, como mostra a Figura 40.

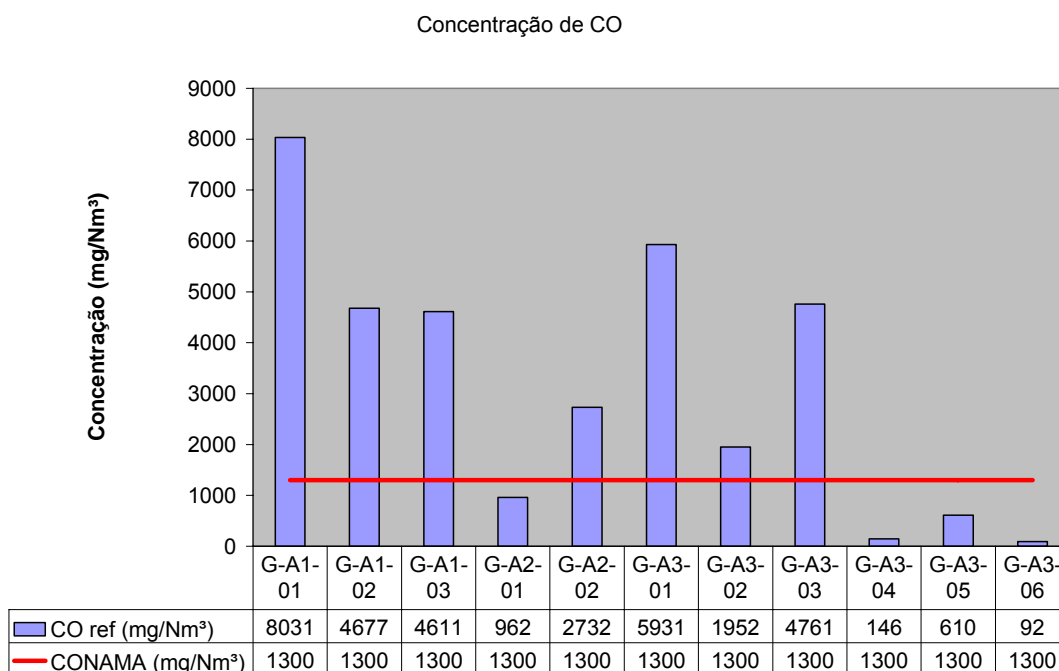


Figura 40 - Concentração de CO nos Gases de Combustão

Esta emissão estava correlacionada à variação de fluxo no sistema de alimentação de bagaço de cana à fornalha, que pode apresentar descontinuidade e oscilar o fluxo mássico alimentado alterando o balanço da reação de combustão e o controle do ar de combustão, fato observado no local. Como a emissão de particulados na forma de fuligem era gerada pela combustão incompleta, a emissão deste material também oscilava. A maioria dos Geradores de Vapor na Indústria Alcooleira não possuía sistema automático de controle de combustão e modulação de chama em função do teor de CO ou O₂ da chaminé que ameniza estas variações.

Na caldeira A03 recém implantada, de última geração e em regulagem de processo, algumas mudanças foram realizadas e a combustão foi melhorada de forma a se obter os dados G-A3 de 04 a 06, com níveis de Emissão dentro dos Limites CONAMA. Estas adequações foram realizadas através de mudanças de processo de combustão monitoradas através de análise de gás.

O limite estabelecido pelo CONAMA para a emissão de NO_x foi de 350 ppm e era facilmente controlado, como mostra a Figura 41. Isto se devia, principalmente, à queima de combustível de baixo Poder Calorífico, o bagaço de cana, que proporcionou menores temperaturas de chama e inibiu a oxidação do Nitrogênio presente no ambiente da Fornalha. Como se pode ver nos dados G-A3 de 04 a 06, quando ocorreram as melhorias de combustão para baixar o teor de CO e ser emitido dentro dos limites permitidos, os valores de NO_x tiveram tendência a subir, mostrando que ao melhorar a combustão os níveis energéticos da combustão aumentaram e a oxidação do N₂ do ar aumentou, formando mais NO_x.

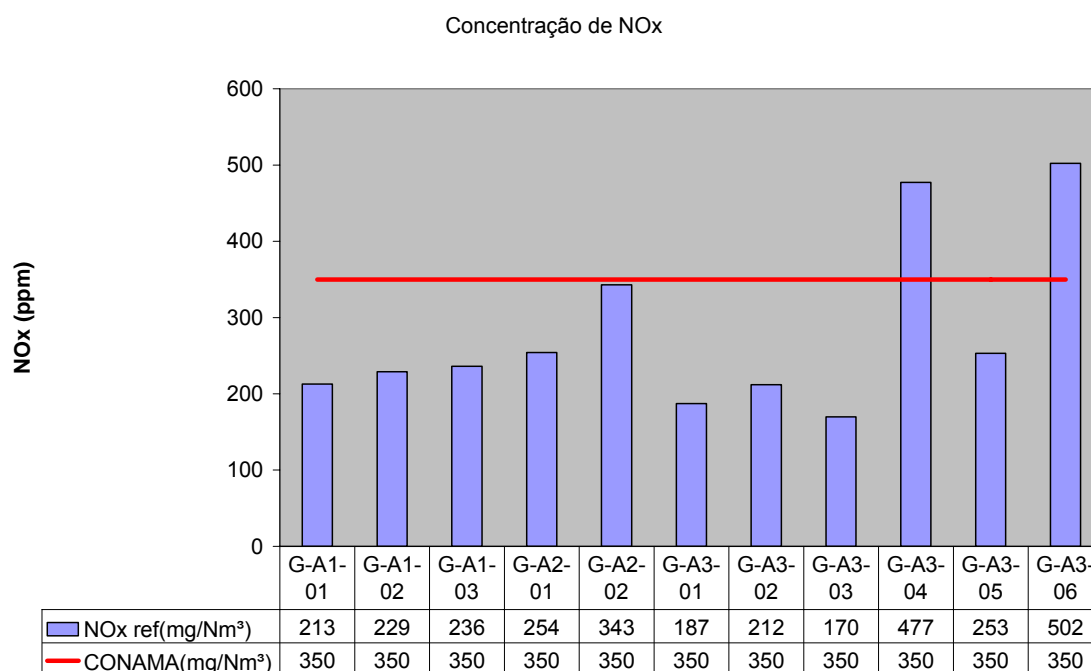


Figura 41 - Concentração de NO_x nos gases analisados

4.2.3.1. Cálculo da Umidade Contida no Gás

Devido à queima de bagaço gerado diretamente do processo, com alto teor de umidade, o teor de umidade no gás de combustão era bastante alto. Ainda na seqüência do processo o gás passava por um lavador de gases que ainda aumentava o teor de umidade deste gás. Para a execução das medições o teor de umidade não causou problemas no equipamento CIPA e as medições transcorreram normalmente, apesar dos altos resultados de umidade apresentados na Figura 42. Quanto ao Analisador de Gases houve uma necessidade de cuidados extras devido à alta umidade que condensou no filtro do equipamento e dificultou seu funcionamento, sendo necessária a troca constante do filtro e retirada da água condensada.

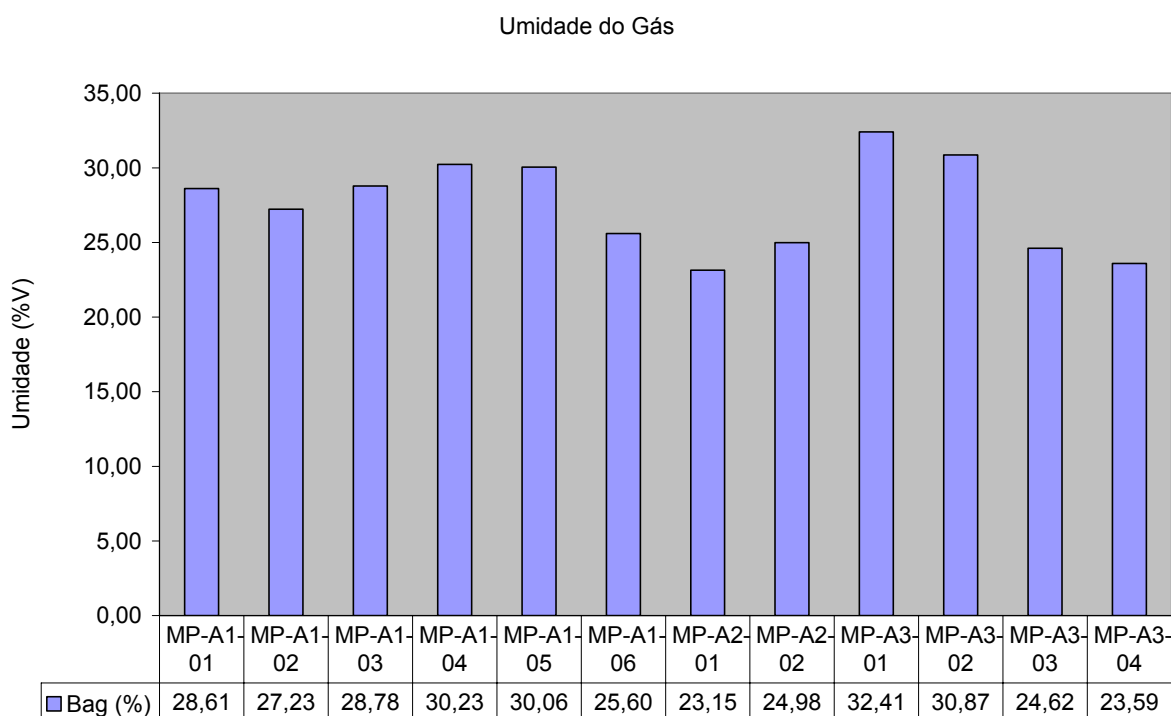


Figura 42 - Teor de Umidade nos Gases Amostrados

4.2.3.2. Determinação da Massa Molar do gás

Com os dados de umidade foi possível calcular as Massas Molares Úmida e Seca dos gases, MMU e MMS, que mostra a Figura 43.

Pode se notar que devido à alta umidade dos gases de saída a massa molar úmida MMU foi baixa, com grande presença de vapor d'água. Este vapor podia prejudicar a amostragem e provocar uma condensação na sonda ou caixa quente, obstruindo o filtro. Tornou-se necessário a atenção redobrada na manutenção das temperaturas da sonda e da caixa quente sempre acima de 100°C. Na caixa fria, a manutenção da carga de gelo para resfriamento foi permanente, para evitar a passagem de vapor pelos impingers e provocar danos ao equipamento ou coleta ineficiente.

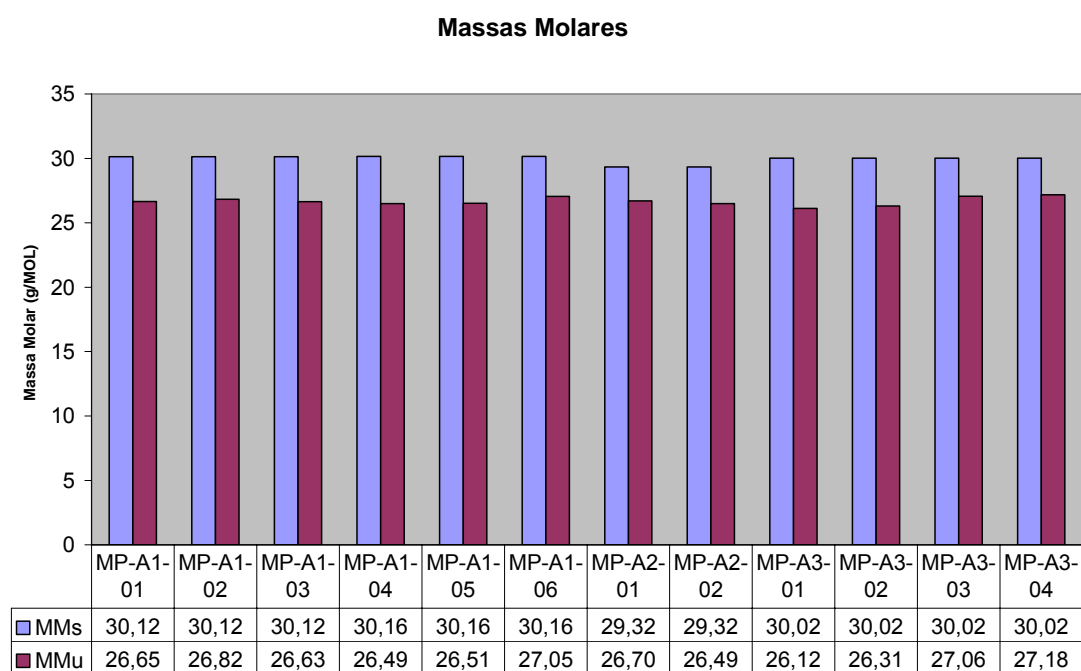


Figura 43 - Massas Molares dos Gases Amostrados

4.2.4. Medição do Fluxo de Gás

Todas as amostragens foram coletadas dentro dos limites de Isocinética de acordo com a norma, como mostra a Figura 44. Em algumas medições notou-se certa dificuldade em se amostrar na mesma velocidade do fluxo gasoso em virtude das oscilações do processo onde a estabilidade de combustão era deficiente. Este fato se deu em virtude de queima de bagaço de cana proveniente diretamente do processo e do estoque a céu aberto, com características físicas e químicas variáveis, e das próprias condições de controle do processo.

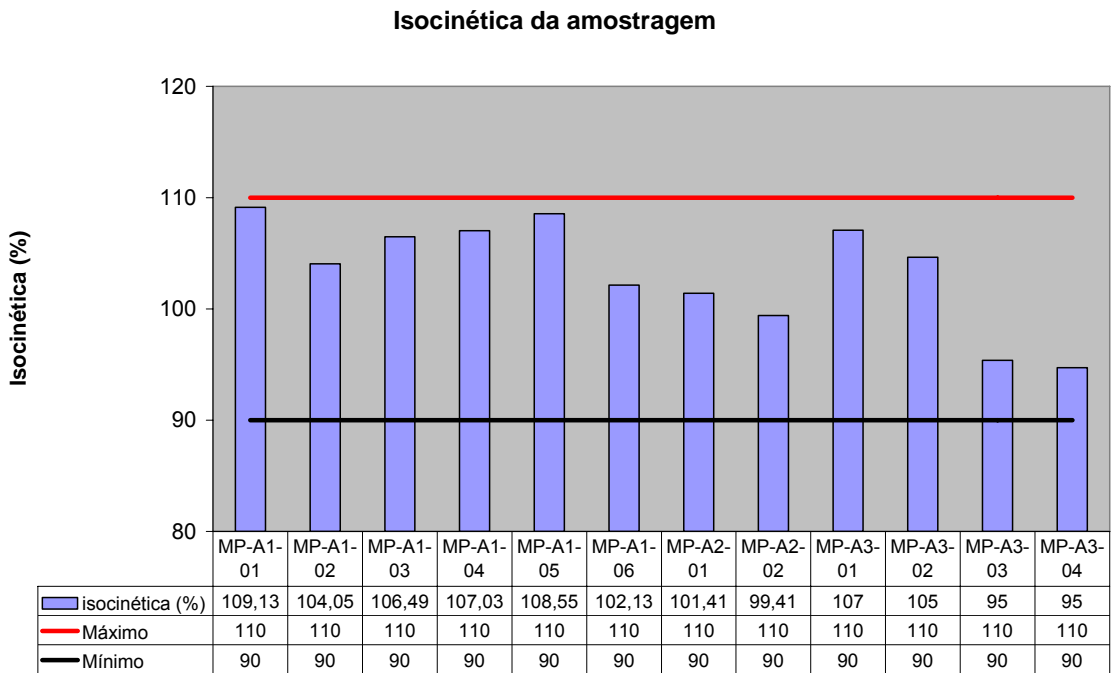


Figura 44 - Isocinética das Amostragens

Com relação à velocidade de coleta, como mostra a Figura 45, todas as amostragens atenderam as condições de amostragem do equipamento CIPA com velocidade de fluxo entre 2 e 50 m/s, com velocidade real entre 10 e 17 m/s, dentro dos limites.

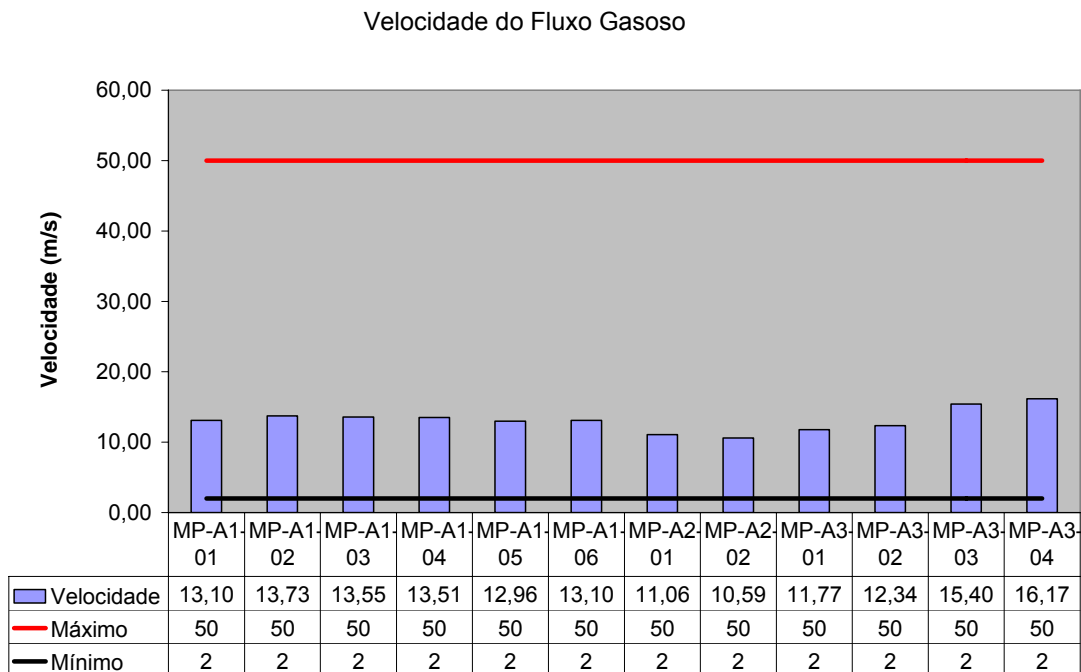


Figura 45 - Comparação das Velocidades de Fluxo com os Limites do Equipamento

4.2.5. Concentração de Material Particulado

A Concentração de Material Particulado neste processo se apresentou com grande variação devido às variações nos equipamentos de controle de emissões, como mostra a Figura 46.

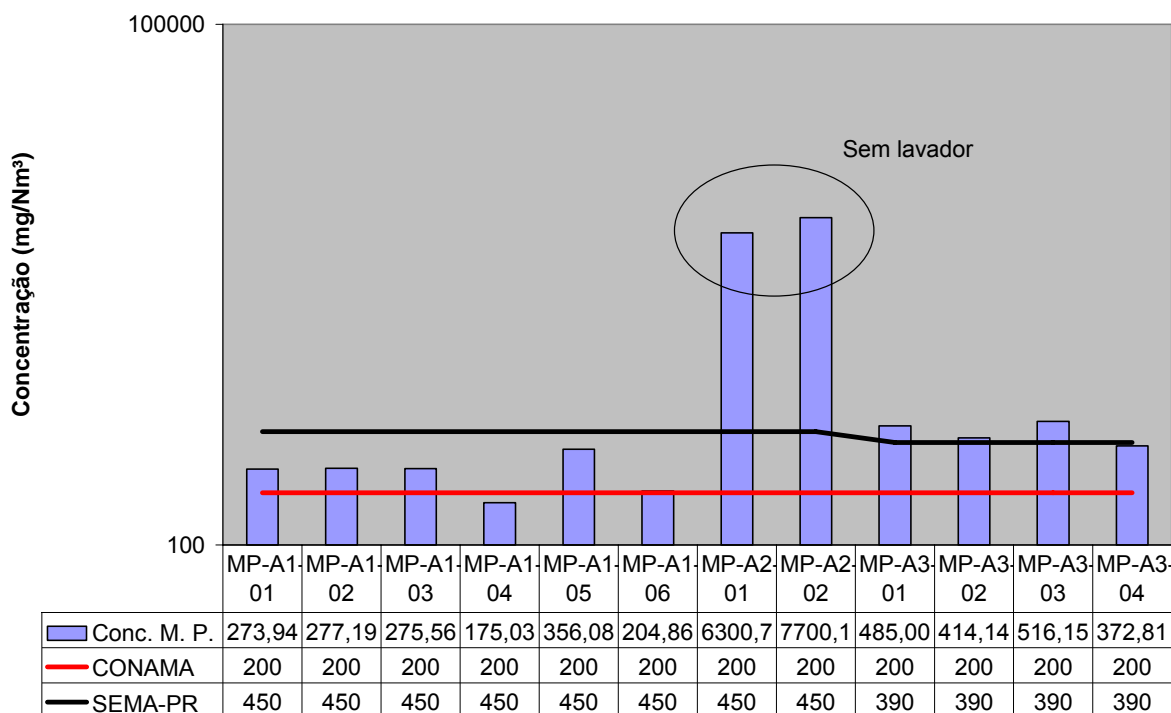


Figura 46 - Concentração de Material Particulado nos Gases Amostrados

No primeiro processo identificado como A1 o Sistema apresentava um lavador de gás e demonstrou atender os limites impostos pelo órgão regional, emitindo material particulado abaixo de 450 mg/Nm³ em todas as amostragens. No entanto, o processo ainda não atendeu os limites impostos pelo CONAMA que é de 200 mg/Nm³.

O processo identificado como A2 era de um sistema sem lavador de gás e seus resultados mostram valores bastante altos, acima dos limites praticados pelos dois órgãos controladores, tanto a nível regional como nacional.

Quanto ao processo A3, tratava-se de um processo novo e em fase de início de funcionamento. Apresentava valores de Emissão de Material Particulado altos e com necessidade de acertos e regulagens no processo para atendimento aos limites CONAMA, já que se trata de um processo que foi submetido a licenciamento dentro dos tramites normais da legislação ambiental.

4.2.6. Taxa de Emissão de Material Particulado

A Taxa de Emissão em Kg/h, como mostra a Figura 47, quantificou as emissões e deu uma perfeita noção de valores emitidos, apesar de não ser utilizada como padrão de emissão pelos órgãos legisladores.

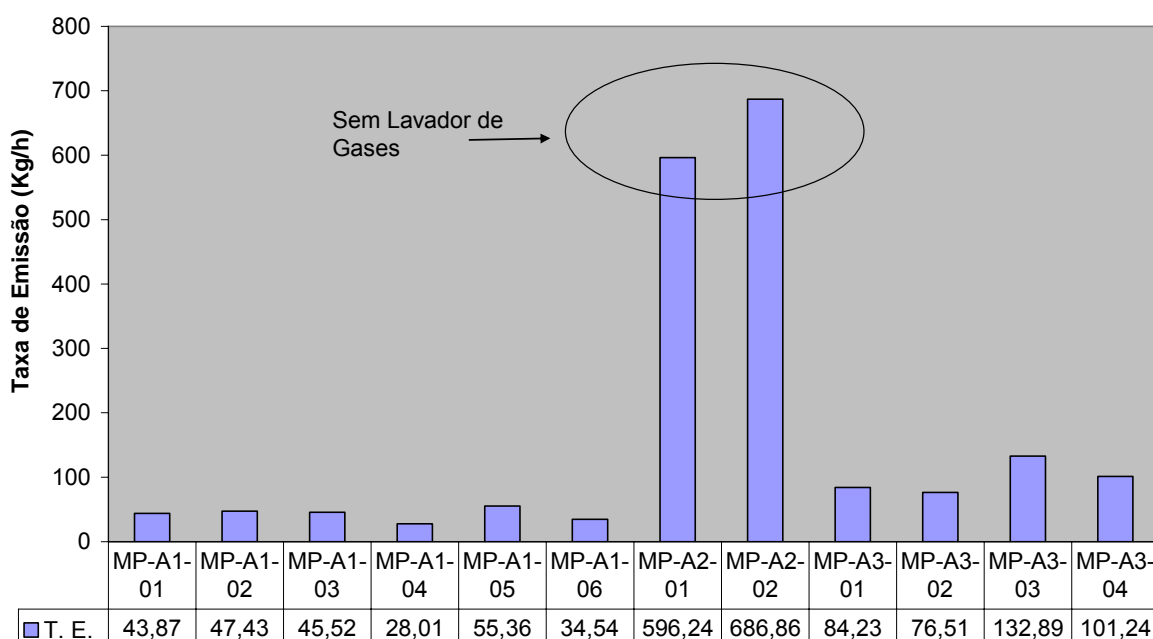


Figura 47 - Taxa de Emissão de Particulados nos Gases Amostrados

Os dados mostraram que o gerador de vapor A2, sem Sistema de Controle de Emissões pode jogar até 686 Kg de material particulado no ar a cada hora de trabalho, poluindo o ambiente de trabalho e a região no entorno da indústria. No entanto, esta taxa pode cair a níveis abaixo de 40 Kg/h em boas condições de controle, cerca de 30 vezes menor, quando um Lavador de Gases eficiente é inserido no processo. Este gerador deverá ser melhorado com a adaptação de um Lavador de Gases e outras mudanças visando atingir os limites impostos pelo CONAMA.

4.2.7. Composição Granulométrica do Material Coletado

A composição granulométrica do material particulado nas amostragens em Geradores de Vapor de Indústrias de Álcool foi determinada apenas no material coletado nas amostragens. O material retido no lavador de gases compõe uma lama e sua amostragem representativa seria difícil e dispendiosa nas instalações estudadas, impossibilitando a comparação das distribuições granulométricas. A Figura 48 mostra a distribuição granulométrica do material particulado coletado.

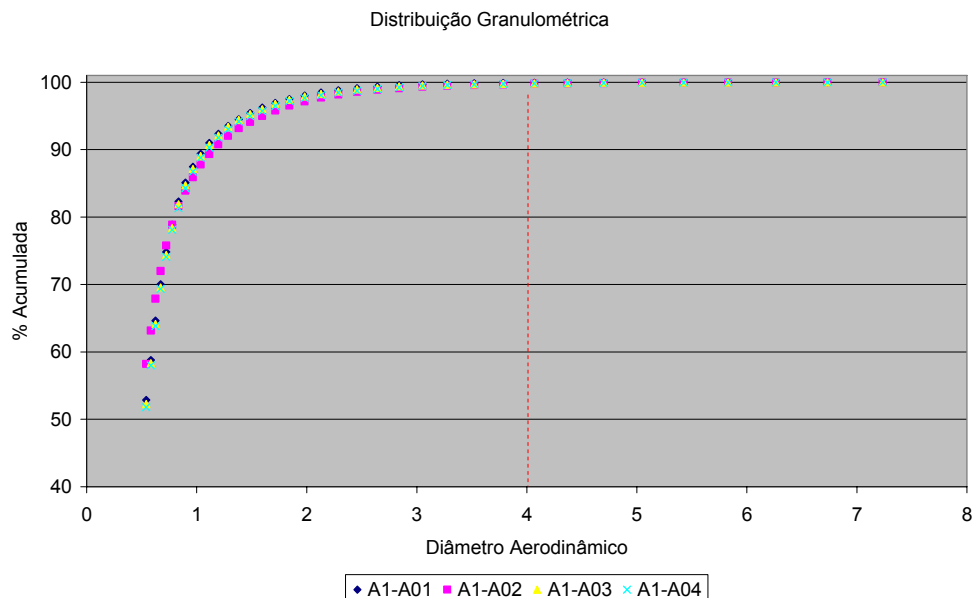


Figura 48 - Distribuição Granulométrica do Material Particulado

O diâmetro médio aerodinâmico das partículas é de 0,73 µm e mostra um material superfino com partículas de diâmetro máximo em torno de 4 µm.. Demonstra uma boa capacidade de captação de material particulado pelo lavador, por se tratar de um superfino, de difícil coleta e requer um melhor ajuste do lavador de gases para sua interceptação e melhor eficiência de coleta. Tal ajuste se mostra urgente em função dos Sistemas de Controle de Poluentes estarem em não conformidade com os parâmetros do CONAMA.

5. CONCLUSÃO

As conclusões obtidas neste trabalho foram que:

- O uso de equipamentos de controle de emissão foi imprescindível em ambas as indústrias;
- Os resultados de emissão na Indústria de Ferro-liga foram melhores após a manutenção dos filtros, como vimos em 4.1.5. , apesar de não haver troca total das mangas;
- Os Filtros de Manga mostraram-se eficientes no controle de poluição por materiais particulados;
- As Indústrias de Álcool tem emissões de material particulado atendendo as normas da SEMA-PR, entretanto não atendem as normas do CONAMA;
- As Indústrias de Álcool devem se ajustar as normas nacionais para uma melhor adequação ambiental;
- As taxas de emissão da Indústria de Ferro-Liga foram menores que as das Indústrias Alcooleiras, ficando abaixo dos padrões CONAMA;
- A emissão de NO_x foi um item sob controle em ambos os processos;
- A taxa de emissão, apesar de não ser usada como padrão de qualidade do ar, foi uma boa referência de medição de poluentes;
- O material particulado emitido em ambas as Indústrias foram particulados respiráveis merecendo atenção especial quanto à emissão indoor e saúde ocupacional;
- Foi possível aliar o monitoramento descontínuo ao desempenho operacional, desde que seguindo uma programação de avaliação constante, de acordo com as condições de cada segmento industrial.

6. COMENTÁRIOS FINAIS

Para o monitoramento futuro de emissão de material particulado na Indústria de Ferro-Liga, optou-se por fazer duas medições por equipamento a cada ano, aliado à execução e ao registro de manutenção preventiva de forma continuada. Desta forma, como existem 05 unidades de fornos funcionando, no mínimo 10 medições por ano. Com a evolução dos resultados sugeriu-se testar alguns equipamentos de monitoramento contínuo, como o Opacímetro nas chaminés e coletores de grandes volumes para monitoramento indoor distribuídos pela área da empresa.

Também na seqüência dos trabalhos, na Indústria Alcooleira, deverão ser testados ainda neste ano, dois novos Projetos Industriais de adequação para o Controle de Emissão, dotados de Sistema de Lavadores de Gases. Dentre estes dois, está o sistema de geração de vapor de grande porte, atualmente em startup e entrega técnica, já mencionado neste trabalho. Estas medições poderão auxiliar a Indústria no recebimento técnico do empreendimento onde, pela primeira vez dentro do histórico desta empresa, o item Emissão de Material Particulado poderá ser considerado como fator importante para recebimento de um novo projeto.

Este trabalho teve como consequência mais importante a orientação e formação de conceitos sobre Controle de Emissão de Poluentes dentro do ambiente industrial, conceito até então desconhecido ou limitado a um conhecimento superficial, no chão de fábrica. Estes conceitos usualmente são empregados com forte característica discursiva e distante do conhecimento científico, levando a organização a altos investimentos muitas vezes ineficazes no combate a poluição.

6.1. Sugestões para Trabalhos Futuros

- Estudo da retenção do SO₃ pela torta de filtragem;
- Teste de monitoramento utilizando Opacímetro ou Coletor de grandes volumes para monitoramento Indoor;
- Estudo e adequação de controle de combustão a geradores de vapor com fornalhas queimando Bagaço de Cana;
- Determinação da Eficiência Real dos Equipamentos de Controle de Emissão de Poluentes na Indústria de Ferro-liga.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bertran, C. A., Marques, C. S. T., **Study of the particulate matter emitted from residual oil combustion and natural gas reburning**, J. Braz. Chem. Soc., v.15 n.4, São Paulo, jul./ago. 2004.
- Braga, A. L. F. et al, **Associação entre poluição atmosférica e doenças respiratórias e cardiovasculares na cidade de Itabira, Minas Gerais, Brasil**. Cadernos de Saúde Pública, 2007.
- British Standard Method, **Measures of Particulate Emission Including Grit and Dust (Simplified Method)**, (BS 3405), (1983).
- Capitani, E. M., Algranti, E., **Outras Pneumoconioses**, Jornal Brasileiro de Pneumologia, ISSN 1806-3713, Vol. 32, Maio 2006.
- CETESB, **Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias. Determinação da velocidade e vazão dos gases**, L9. 222, (1992).
- CETESB, **Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias. Determinação da Massa Molecular Seca e do Excesso de Ar do Fluxo Gasoso**, L9. 223, (1992).
- CETESB, **Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias. Determinação de Material Particulado com o Sistema Filtrante no interior do Duto ou Chaminé**, L9. 217, (1989).
- CETESB, **Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias. Determinação de Material Particulado**, L9. 255, (1995).
- CETESB, **Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias. Determinação dos Pontos de Amostragem**, L9. 221, (1990).
- Chaulya, S. K. , **Assessment and Management of Air Quality in a Mining Area, A case study from India's Ib Valley coalfield**, Environmental Quality Management, 2003.
- Cheremisnoff, Nicholas P., **Handbook of Air Pollution Prevention and Control**, Elsevier Science, USA, 2002,
- Dulien, F. A. L., **Introduction to Industrial Gás Cleaning**, Academic Press, San Diego, 1989,284 p.
- Freire, R. S. ET AL., **Emprego de Monocamadas Auto-organizadas no Desenvolvimento de Sensores Eletroquímicos**, Química Nova, Vol. 26, No. 3, 381-389, 2003.

Gioda, A., Sales, J. A., Cavalcanti, P. M. S. et al., **Evaluation of air quality in Volta Redonda, the main metallurgical industrial city in Brazil.** *J. Braz. Chem. Soc.*, 2004, vol.15, nº 6, p.856-864. ISSN 0103-5053.

Lei Federal Nº. 6.938 de 31 de Agosto de 1981, art. 3º, III.

Lei Federal nº. 7804 de 18 de julho de 1989.

Leme, R. M., **Estimativa das emissões de poluentes atmosféricos e uso de água na produção de eletricidade com biomassa de cana-de-açúcar**, Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2004.

Licht, W., **Air Pollution Control Engineering: Basic Calculations for Particulate Collection**, Marcel Dekker, 1988,477 p.

Lora, E. E. S., **Prevenção e controle da poluição nos setores energético, industrial e de transporte.** Interciência 2ª Ed. - Rio de Janeiro, 2002.

Magrini, A., Rosa, L. P., Xavier, E. E., Santos, M. A., **Monitoração de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Usinas Termelétricas no Brasil – Fase de Diagnóstico**, Relatório Síntese, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2001.

Manual Técnico - CIPA, Empresa Energética - RJ, 1997.

Material Didático do Curso de Combustão do Instituto de Pesquisas Tecnológicas- (IPT) - São Paulo, 2006.

MB-3080 - **Efluentes Gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias-Determinação da Velocidade e Vazão**, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1989.

MB-3081 - **Efluentes Gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias-Determinação da umidade**, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1989.

MB-3355- **Efluentes Gasosos em Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias-Determinação de Material particulado**, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1990.

NBR 10700- **Planejamento de Amostragem em dutos e chaminés de fontes estacionárias**, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1989.

NBR 10701- **Determinação de Pontos de Amostragem em dutos e chaminés de fontes estacionárias**, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1989.

NBR 10702 - **Efluentes Gasosos em Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias-Determinação da Massa Molecular Base Seca**, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1989.

NBR 12020 - **Efluentes Gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias - Calibração dos equipamentos utilizados em amostragem - Método de Ensaio**, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1992.

NBR 8969- **Poluição do ar**, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1985.

Nevers, N., **Air Pollution Control Engineering**, 2nd Ed., Editora McGraw-Hill, 1999.

Norma ASTM -D 5835 – 95, **Standard Practice for Sampling Stationary Source Emissions for the Automated Determination of Gas Concentrations**, 1995 (Reapproved 2007) www.astm.org.

Norma ASTM -D 6522 – 00, **Standard Test Method for Determination of Nitrogen oxides, Carbon Monoxide, and Oxygen Concentrations in Emissions from Natural Gas Fired Reciprocating Engines, Combustion Turbines, Boilers, and Process Heaters Using Portable Analyzers**, ASTM, 2000 (Reapproved 2005), www.astm.org.

Peres, F. F., **Meio Ambiente e Saúde: os efeitos fisiológicos da poluição do ar no desempenho físico - o caso do monóxido de carbono (CO)**, Arquivos em Movimento, Rio de Janeiro, v.1, n.1, p.55-63, janeiro/junho 2005.

Preutthipan, A. Udomsubpayakul, U., Chaisupamongkollarp, T., Pentamwa, P., **Effect of PM₁₀ Pollution in Bangkok on Children With and Without Asthma**, Pediatric Pulmonology ,37:187–192, 2004.

Resolução N°. 05, de 15 de junho de 1989, Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA, 1989.

Resolução N°. 382, de 26 de Dezembro de 2006, Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA, 2006.

Resolução SEMA N° 054, Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Paraná, PR, 2006.

Salthammer, T., **Heavy Air Pollution in Beijing and Possible Impact on Olympic Athletes**, Clean, 2008.

Sonntag, E. R., Bornakke, C., Van Wylen, G. J., Fundamentos da Termodinâmica, Edgar Blücher Ltda, 1998.

Teixeira, F. N., **Caracterização e Controle das Emissões de Óxidos de Nitrogênio e Material Particulado em Caldeiras para Bagaço**, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Itajubá, Minas Gerais, 2005.

8. ANEXOS

Anexo A - 01 - Dados de Amostragem de Material Particulado em Chaminé de Processo de Produção de Ferro-liga

			13/2/2007	16/1/2007	14/8/2007	28/6/2008	10/1/2008
	SÍMBOLO	UNID.	MP-F3-01	MP-F3-03	MP-F3-02	MP-F3-04	MP-F4-01
DIÂMETRO DA CHAMINÉ	Dc	m	1,35	1,35	1,35	1,35	2,50
ÁREA DA CHAMINÉ/DUTO	A	m ²	1,43	1,43	1,43	1,43	4,91
DIÂMETRO DA BOQUILHA	Db	mm	6,00	6,00	5,93	5,93	7,97
FATOR DE CÁLIBR. DO PITOT	Cp	-	0,83	0,83	0,84	0,83	0,84
FATOR DE CÁLIBR. DO GASÔMETRO	Y	-	1,01	1,01	1,01	0,99	1,01
PRESSÃO ATMOSFÉRICA	Patm	mmHg	714,40	718,20	714,40	722,00	722,00
PRESSÃO ESTÁTICA NA CHAMINÉ	Pe	mmH ₂ O	7,50	6,00	8,00	4,00	4,00
TEMPERATURA AMBIENTE	Ta	K	303,35	306,15	304,00	296,00	304,00
TEMPERATURA NA CHAMINÉ/DUTO	T	K	354,40	357,55	348,65	358,25	356,13
TEMPERATURA NO GASÔMETRO	Tg	K	304,68	310,83	308,98	301,68	312,25
VOLUME DO GAS MEDIDO	V	m ³	1,21	1,30	1,37	1,11	1,39
VOLUME MEDIDO EM CONDIÇÃO NORMAL	VgN	Nm ³	1,03	1,09	1,15	0,95	1,16
UMIDADE DO GÁS	Bag	%	2,46	2,95	2,13	4,32	4,80
DURAÇÃO DA COLETA	t	min	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
MÉDIA DAS RAÍZES DE DEL P	dP		3,48	3,17	4,01	3,51	2,35
MÉDIA DAS PRESSÃO DO ORIFÍCIO	dH	mmH ₂ O	39,28	39,28	37,26	33,34	51,47
VOLUME MÉDIO NORMAL	VmN	Nm ³	1,04	1,09	1,15	0,95	1,17
MASSA MOLECULAR SECA	MMs		30,20	30,20	30,16	28,88	28,98
MASSA MOLECULAR ÚMIDA	MMu		29,90	29,84	29,91	28,41	28,46
MASSA DE ÁGUA COLETADA	Mag	g	19,54	24,83		32,06	43,84
MASSA DE MAT. PARTICULADO COLETADA	Mmp	g	0,06	0,08	0,08	0,04	0,02
VELOCIDADE DO GAS NAS CONDIÇÕES	v	m/s	13,07	11,93	15,00	13,53	9,05
VAZÃO NAS COND. DA CHAMINÉ	Q	m ³ /h	67369	61472	77271	69726,29	159981
VAZÃO NORMAL BASE SECA	Qnbs	Nm ³ /h	47618	43070	55711	48317,51	110964
CONC. COND. NORMAIS BASE SECA	C	mg/Nm ³	62,21	69,08	73,29	29,21	13,19
TAXA DE EMISSÃO BASE SECA	Te	kg/h	2,96	2,98	4,08	1,41	1,46
VOL. DE ÁGUA NAS CONDIÇÕES DA CHAMINÉ	Vag	m ³	0,03	0,04	0,03		0,07
VOL. MEDIDO NAS COND. CHAMINÉ	V	m ³	1,43	1,51	1,56	1,31	1,60
ISOCINÉTICA	I	%	110,06	128,04	106,98	101,78	103,19

Anexo A-02 - Dados de Amostragem de Material Particulado em Chaminé de Processo de
Produção de Ferro-liga- Continuação

	SÍMBOLO	UNID.	11/1/2008	6/5/2008	7/5/2008	12/5/2008	11/9/2008
			MP-F4-02	MP-F5-01	MP-F5-02	MP-F5-03	MP-F2-01
DIÂMETRO DA CHAMINÉ	Dc	m	2,50	2,50	2,50	2,50	2,16
ÁREA DA CHAMINÉ/DUTO	A	m ²	4,91	4,91	4,91	4,91	3,66
DIÂMETRO DA BOQUILHA	Db	mm	7,97	7,97	7,97	7,97	6,99
FATOR DE CÁLIBR. DO PITOT	Cp	-	0,84	0,83	0,83	0,83	38,37
FATOR DE CÁLIBR. DO GASÔMETRO	Y	-	1,01	0,99	0,99	0,99	0,99
PRESSÃO ATMOSFÉRICA	Patm	mmHg	722,00	722,00	722,00	722,00	722,00
PRESSÃO ESTÁTICA NA CHAMINÉ	Pe	mmH ₂ O	4,00	4,00	4,00	4,00	7,63
TEMPERATURA AMBIENTE	Ta	K	304,00	296,00	296,00	296,00	296,00
TEMPERATURA NA CHAMINÉ/DUTO	T	K	352,08	350,13	349,33	341,00	376,92
TEMPERATURA NO GASÔMETRO	Tg	K	307,23	295,29	299,00	297,44	299,00
VOLUME DO GAS MEDIDO	V	m ³	1,37	1,44	1,48	1,40	1,74
VOLUME MEDIDO EM CONDIÇÃO NORMAL	VgN	Nm ³	1,17	1,25	1,27	1,21	1,49
UMIDADE DO GÁS	Bag	%	4,80	3,30	3,71	3,28	2,34
DURAÇÃO DA COLETA	t	min	60,00	72,00	72,00	72,00	72,00
MÉDIA DAS RAÍZES DE DEL P	dP		2,34	2,11	2,12	2,07	3,37
MÉDIA DAS PRESSÃO DO ORIFÍCIO	dH	mmH ₂ O	51,24	39,14	38,80	37,18	58,40
VOLUME MÉDIO NORMAL	VmN	Nm ³	1,17	1,26	1,27	1,22	1,50
MASSA MOLECULAR SECA	MMs		28,98	28,95	28,94	28,89	28,91
MASSA MOLECULAR ÚMIDA	MMu		28,46	28,59	28,53	28,53	28,65
MASSA DE ÁGUA COLETADA	Mag	g	44,15	32,06	36,60	30,76	0,01600
MASSA DE MAT. PARTICULADO COLETADA	Mmp	g	0,06	0,03	0,01	0,01	0,04
VELOCIDADE DO GÁS NAS CONDIÇÕES	v	m/s	8,98	8,02	8,03	7,78	13,27
VAZÃO NAS COND. DA CHAMINÉ	Q	m ³ /h	158736	141705,09	141927,13	137477,25	175058,48
VAZÃO NORMAL BASE SECA	Qnbs	Nm ³ /h	111355	101538,22	101501,27	101174,26	117726,76
CONC. COND. NORMAIS BASE SECA	C	mg/Nm ³	5,71	20,52	9,11	10,11	10,64
TAXA DE EMISSÃO BASE SECA	Te	kg/h	0,64	2,08	0,92	1,02	1,25
VOL. DE ÁGUA NAS CONDIÇÕES DA CHAMINÉ	Vag	m ³	0,07				
VOL. MEDIDO NAS COND. CHAMINÉ	V	m ³	1,59	1,70	1,71	1,60	2,18
ISOCINÉTICA	I	%	103,37	101,30	102,60	98,39	101,46

Anexo B - 01 - Dados de Análise de Gás em Chaminé de Processo de Produção de Ferro-liga

Amostra	Data e Hora	O2 [%]	CO [ppm]	NO [ppm]	CO2 [%]	Tgas [°C]
1	8/1/2008 08:19	19,36	2614	7	1,4	70,1
2	8/1/2008 08:21	19,47	2646	4	1,3	69,5
3	8/1/2008 08:23	19,4	2162	6	1,4	71,4
4	8/1/2008 08:25	19,41	1590	5	1,4	71,8
5	8/1/2008 08:27	19,44	1551	3	1,3	72,5
6	8/1/2008 08:27	19,44	1501	4	1,3	72,6
7	8/1/2008 08:31	19,42	1532	5	1,4	72,6
8	8/1/2008 08:31	19,34	1565	4	1,4	72,6
9	8/1/2008 08:33	19,13	1437	6	1,6	72,8
10	8/1/2008 08:36	19,13	1109	6	1,6	71,8
11	8/1/2008 08:37	19,12	1145	6	1,6	71,8
12	8/1/2008 08:37	19,12	1166	5	1,6	71,9
13	8/1/2008 08:39	19,11	1372	6	1,6	72
14	8/1/2008 08:41	19,09	1423	5	1,7	71,8
15	8/1/2008 08:41	19,09	1474	7	1,7	71,9
16	8/1/2008 08:43	19,08	1481	6	1,7	72,9
17	8/1/2008 08:45	18,95	1793	7	1,8	73,3
18	8/1/2008 08:46	18,95	1928	8	1,8	73,3
19	8/1/2008 08:47	18,98	2126	7	1,7	73,5
20	8/1/2008 08:49	19,06	1834	7	1,7	72,6
21	8/1/2008 08:52	18,89	2100	10	1,8	72,6
22	8/1/2008 08:53	18,92	2051	8	1,8	72,1
23	8/1/2008 08:53	18,93	2092	8	1,8	71,8
24	8/1/2008 08:55	18,93	2252	8	1,8	72
25	8/1/2008 08:57	19,22	1720	7	1,5	72,6
26	8/1/2008 08:57	19,22	1666	8	1,5	72,6
27	8/1/2008 08:59	19,21	2562	8	1,5	72,7
28	8/1/2008 08:59	19,22	2678	8	1,5	72,8
29	8/1/2008 09:01	19,26	2089	10	1,5	74,1
30	8/1/2008 09:03	19,22	1623	8	1,5	75,5
31	8/1/2008 09:03	19,23	1700	9	1,5	75,6
32	8/1/2008 09:05	19,37	2319	8	1,4	75,5

Anexo B- 02 - Dados de Análise de Gás em Chaminé de Processo de Produção de Ferro-liga-

Continuação

Amostra	Data e Hora	O2 [%]	CO [ppm]	NO [ppm]	SO2 [ppm]	CO2 [%]	Tgas [°C]	Tamb [°C]
1	25/1/2008 09:58	19,22	242	16	0	1,5	75,2	24,4
2	25/1/2008 09:59	19,17	268	17	0	1,6	75,7	24,5
3	25/1/2008 10:01	18,75	629	25	0	2	74,5	24,6
4	25/1/2008 10:02	18,9	345	22	0	1,8	74,5	24,6
5	25/1/2008 10:03	19,02	371	18	0	1,7	74,7	24,7
6	25/1/2008 10:04	19,21	296	17	0	1,5	74,6	24,7
7	25/1/2008 10:05	19,17	296	17	0	1,6	74,9	24,7
8	25/1/2008 10:06	19,04	319	18	0	1,7	76	24,8
9	25/1/2008 10:07	19,3	271	16	0	1,5	77,2	25
10	25/1/2008 10:08	19,22	270	17	0	1,5	77,8	25,2
11	25/1/2008 10:09	19,2	278	16	0	1,6	78,4	25,5
12	25/1/2008 10:10	19,18	272	17	0	1,6	78,4	25,7
13	25/1/2008 10:11	19,22	233	18	0	1,5	78,8	25,8
14	25/1/2008 10:12	19,18	226	17	0	1,6	78,5	25,8
15	25/1/2008 10:13	19,14	282	17	0	1,6	78,3	25,8
16	25/1/2008 10:14	19,17	304	18	0	1,6	76,5	25,8
17	25/1/2008 10:15	19,29	242	16	0	1,5	76,2	25,8
18	25/1/2008 10:16	19,3	236	16	0	1,5	76,8	25,9
19	25/1/2008 10:17	19,37	237	19	0	1,4	77	26,1
20	25/1/2008 10:18	19,12	291	23	0	1,6	77,7	26,3
21	25/1/2008 10:19	18,93	335	25	0	1,8	77,7	26,4
22	25/1/2008 10:20	19,15	182	19	0	1,6	77,7	26,6
23	25/1/2008 10:21	19,11	635	17	0	1,6	77,8	26,7
24	25/1/2008 10:22	19,37	443	13	0	1,4	77,9	26,8
25	25/1/2008 10:23	19,25	461	12	0	1,5	76,8	26,8
26	25/1/2008 10:25	19,3	561	12	0	1,5	77,7	27
27	25/1/2008 10:26	19,41	534	14	0	1,4	77,7	27,1
28	25/1/2008 10:27	19,28	680	15	0	1,5	78,2	27,2
29	25/1/2008 10:28	19,27	684	15	0	1,5	78,4	27,3
30	25/1/2008 10:29	19,52	452	16	0	1,3	78	27,4
31	25/1/2008 10:30	19,5	439	14	0	1,3	77,3	27,4
32	25/1/2008 10:31	19,37	474	15	0	1,4	77,2	27,3
33	25/1/2008 10:32	19,43	413	16	0	1,4	78,2	27,3
34	25/1/2008 10:33	19,41	411	15	0	1,4	77,5	27,3
35	25/1/2008 10:34	19,57	319	14	0	1,2	77,9	27,3
36	25/1/2008 10:35	19,71	374	10	0	1,1	78,3	27,4
37	25/1/2008 10:36	19,57	547	8	0	1,2	78,6	27,4
38	25/1/2008 10:37	19,59	666	8	0	1,2	78,7	27,6
39	25/1/2008 10:38	19,7	673	8	0	1,1	78,9	27,8
40	25/1/2008 10:39	19,78	595	7	0	1	77,8	27,9
41	25/1/2008 10:40	19,73	632	7	0	1,1	77,4	28
42	25/1/2008 10:41	19,58	981	7	0	1,2	76,5	28
43	25/1/2008 10:42	19,72	766	8	0	1,1	76,4	28,1
44	25/1/2008 10:43	19,56	1132	9	0	1,2	76,6	28,2
45	25/1/2008 10:44	19,43	1247	8	0	1,3	76	28,3
46	25/1/2008 10:45	19,41	1089	8	0	1,4	75,2	28,1
47	25/1/2008 10:46	19,69	848	8	0	1,1	75,5	28
48	25/1/2008 10:47	19,65	740	7	0	1,2	76,2	27,9
49	25/1/2008 10:48	19,57	637	9	0	1,2	75,8	27,9
50	25/1/2008 10:49	19,56	527	10	0	1,2	74,8	27,8
51	25/1/2008 10:50	19,27	528	15	0	1,5	75,7	27,6
52	25/1/2008 10:51	19,54	380	11	0	1,3	76,1	27,5
53	25/1/2008 10:52	19,61	381	10	0	1,2	76	27,6
54	25/1/2008 10:53	19,46	499	14	0	1,3	76	27,6
55	25/1/2008 10:54	19,58	472	14	0	1,2	76,2	27,7
56	25/1/2008 10:57	19,92	371	9	0	0,9	74,4	27,5
57	25/1/2008 10:58	19,88	385	9	0	0,9	75,2	27,2
58	25/1/2008 10:59	19,89	403	11	0	0,9	75,9	26,9
59	25/1/2008 11:00	19,92	542	13	0	0,9	76,4	26,7
60	25/1/2008 11:01	19,8	909	14	0	1	77,5	26,6
61	25/1/2008 11:02	19,99	948	13	0	0,9	76,6	26,2
62	25/1/2008 11:03	19,78	1027	15	0	1	77	26,1
63	25/1/2008 11:04	20,03	843	13	0	0,8	77,7	26,1
64	25/1/2008 11:05	20,1	817	12	0	0,8	77,3	26,1
65	25/1/2008 11:06	20,08	777	13	0	0,8	76,6	25,8
66	25/1/2008 11:07	19,81	716	15	0	1	76,6	25,6
67	25/1/2008 11:08	19,65	733	16	0	1,2	76,9	25,6
68	25/1/2008 11:09	19,61	604	16	0	1,2	77,4	25,6
69	25/1/2008 11:10	19,73	585	16	0	1,1	75,8	25,5
70	25/1/2008 11:11	19,81	481	16	0	1	75,5	25,5
71	25/1/2008 11:12	19,89	412	16	0	0,9	75,4	25,4
72	25/1/2008 11:13	19,67	440	15	0	1,1	75,8	25,4
73	25/1/2008 11:14	19,66	435	17	0	1,1	75,6	25,3
74	25/1/2008 11:15	19,66	548	17	0	1,1	75,4	25,2

Anexo B - 03 - Dados de Análise de Gás em Chaminé de Processo de Produção de Ferro-liga-

Continuação

Amostra	Data e Hora	O2 [%]	CO [ppm]	NO [ppm]	SO2 [ppm]	CO2	Tgas [°C]	Tamb [°C]
1	6/5/2008 12:57	19,7	1080	5	0	1,1	80,9	22,5
2	6/5/2008 12:58	19,77	1069	5	0	1	80,3	22,4
3	6/5/2008 12:59	19,78	1439	6	0	1	79,1	22,1
4	6/5/2008 13:00	19,82	1363	6	0	1	81,1	22
5	6/5/2008 13:02	19,7	1625	6	0	1,1	84,2	22,4
6	6/5/2008 13:02	19,65	1477	6	0	1,2	84,4	22,4
7	6/5/2008 13:03	19,64	1084	6	0	1,2	83,8	22,7
8	6/5/2008 13:04	19,66	1213	7	0	1,1	83,6	22,8
9	6/5/2008 13:05	19,68	1093	7	0	1,1	83,5	22,8
10	6/5/2008 13:06	19,71	1456	7	0	1,1	83,3	22,8
11	6/5/2008 13:07	19,67	1280	8	0	1,1	83,1	22,8
12	6/5/2008 13:08	19,56	1369	8	0	1,2	82,9	22,8
13	6/5/2008 13:09	19,67	1132	8	0	1,1	82,6	22,9
14	6/5/2008 13:10	19,8	1098	6	0	1	82,4	22,8
15	6/5/2008 13:11	19,83	1133	6	0	1	83,2	22,8
16	6/5/2008 13:12	19,96	1175	7	0	0,9	83,3	22,7
17	6/5/2008 13:13	19,85	1300	7	0	1	83,5	22,7
18	6/5/2008 13:14	19,77	465	7	0	1	82,6	22,7
19	6/5/2008 13:15	19,83	354	8	0	1	81,9	22,6
20	6/5/2008 13:16	19,84	473	8	0	1	81,5	22,5
21	6/5/2008 13:17	19,85	345	8	0	1	81,7	22,4
22	6/5/2008 13:18	19,84	367	9	0	1	82,1	22,4
23	6/5/2008 13:19	19,88	427	8	0	0,9	82	22,3
24	6/5/2008 13:23	19,88	397	9	0	1	78	22,4
25	6/5/2008 13:24	19,87	438	8	0	1	76,3	22,4
26	6/5/2008 13:25	19,86	448	8	0	1	73,8	22,5
27	6/5/2008 13:26	19,85	402	8	0	1	71,1	22,7
28	6/5/2008 13:27	19,95	368	8	0	0,9	68,6	22,8
29	6/5/2008 13:28	19,85	402	8	0	1	65,5	22,8
30	6/5/2008 13:29	19,88	384	8	0	0,9	64,5	22,4
31	6/5/2008 13:30	19,89	346	9	0	0,9	64,8	22,2
32	6/5/2008 13:31	19,88	277	8	0	0,9	63,7	22,3
33	6/5/2008 13:32	19,87	199	9	0	1	61,1	22,2
34	6/5/2008 13:33	19,85	156	9	0	1	60,1	22,2
35	6/5/2008 13:34	19,87	182	10	0	1	58,2	22
36	6/5/2008 13:35	20,01	178	8	0	0,8	57,9	21,9
37	6/5/2008 13:36	20,01	217	8	0	0,8	58,2	22
38	6/5/2008 13:37	20,16	231	9	0	0,7	57,5	22,1
39	6/5/2008 13:38	19,88	316	9	0	0,9	57,2	22,3
40	6/5/2008 13:39	19,87	361	9	0	1	57,3	22,4
41	6/5/2008 13:40	19,86	389	13	0	1	58,2	22,4
42	6/5/2008 13:41	19,86	401	10	0	1	58,6	22,5
43	6/5/2008 13:42	19,85	398	10	0	1	60	22,7
44	6/5/2008 13:43	19,94	496	9	0	0,9	61,4	22,9
45	6/5/2008 13:44	19,95	581	7	0	0,9	60,7	23,2
46	6/5/2008 13:45	19,84	745	7	0	1	59,6	23,2
47	6/5/2008 13:46	19,83	850	5	0	1	60,5	23,3
48	6/5/2008 13:47	19,82	829	6	0	1	60,9	23,5
49	6/5/2008 13:48	19,81	1041	6	0	1	62,5	23,8
50	6/5/2008 13:49	19,8	1255	5	0	1	63	24,1
51	6/5/2008 13:50	19,8	1165	5	0	1	62	24,3
52	6/5/2008 13:51	19,78	1136	6	0	1	61,9	24,4
53	6/5/2008 13:52	19,78	1345	6	0	1	60,6	24,4
54	6/5/2008 13:53	19,8	1286	6	0	1	60	24,1
55	6/5/2008 13:54	19,88	1455	6	0	0,9	61	24,1
56	6/5/2008 13:55	19,83	1595	6	0	1	61,6	24,1
57	6/5/2008 13:56	19,82	1488	6	0	1	64,1	24,4
58	6/5/2008 13:57	19,8	1730	6	0	1	65,2	24,7
59	6/5/2008 13:58	19,77	1675	6	0	1,1	66,4	25
60	6/5/2008 13:59	19,7	1567	6	0	1,1	64,6	25,5

Anexo B -04 - Dados de Análise de Gás em Chaminé de Processo de Produção de Ferro-liga-

Continuação

Amostra	Data e Hora	O2 [%]	CO [ppm]	NO [ppm]	SO2 [ppm]	CO2(%)	Tgas [°C]	Tamb [°C]
1	7/5/2008 12:04	19,73	718	12	0	1,1	77,8	19,7
2	7/5/2008 12:09	19,83	669	6	0	1	81,4	20,1
3	7/5/2008 12:10	19,62	809	8	0	1,2	81,5	20,5
4	7/5/2008 12:11	19,77	939	6	0	1,1	81,7	20,7
5	7/5/2008 12:12	19,35	1031	6	0	1,4	82,5	21
6	7/5/2008 12:13	19,46	1069	6	0	1,3	83,3	21,3
7	7/5/2008 12:14	19,57	914	7	0	1,2	82,5	21,6
8	7/5/2008 12:15	19,57	992	7	0	1,2	81,3	21,7
9	7/5/2008 12:16	19,72	938	7	0	1,1	82,3	21,8
10	7/5/2008 12:17	19,85	1016	6	0	1	81,7	22,1
11	7/5/2008 12:18	19,8	838	6	0	1	81,1	22,2
12	7/5/2008 12:19	19,87	774	6	0	1	81,5	22,4
13	7/5/2008 12:20	19,72	803	8	0	1,1	82,1	22,6
14	7/5/2008 12:21	19,66	766	8	0	1,1	82,6	22,9
15	7/5/2008 12:22	19,56	819	8	0	1,2	82,9	23
16	7/5/2008 12:23	18,91	1616	15	0	1,8	82,2	23,2
17	7/5/2008 12:24	19,52	863	9	0	1,3	81,7	23,2
18	7/5/2008 12:25	19,67	835	8	0	1,1	82,8	23,4
19	7/5/2008 12:26	19,7	740	8	0	1,1	83,1	23,6
20	7/5/2008 12:27	19,87	584	8	0	1	81,1	23,6
21	7/5/2008 12:28	19,86	561	8	0	1	81,3	23,5
22	7/5/2008 12:29	19,99	565	8	0	0,9	81,4	23,4
23	7/5/2008 12:30	20,15	417	8	0	0,7	82,6	23,3
24	7/5/2008 12:31	20,02	447	8	0	0,8	84,3	23,3
25	7/5/2008 12:32	19,86	381	8	0	1	85,4	23,4
26	7/5/2008 12:33	19,92	498	8	0	0,9	85,7	23,6
27	7/5/2008 12:34	19,9	478	8	0	0,9	85,8	23,7
28	7/5/2008 12:35	19,8	315	9	0	1	86	23,7
29	7/5/2008 12:36	20,13	265	8	0	0,7	86,6	23,9
30	7/5/2008 12:37	20,01	354	8	0	0,8	86,2	24
31	7/5/2008 12:38	20,09	407	8	0	0,8	86	24,1
32	7/5/2008 12:39	20,12	386	8	0	0,7	85,3	24,3
33	7/5/2008 12:40	20,09	414	8	0	0,8	85,4	24,4
34	7/5/2008 12:41	19,98	404	9	0	0,9	85,4	24,5
35	7/5/2008 12:42	20,04	412	8	0	0,8	85,6	24,7
36	7/5/2008 12:43	20,1	375	8	0	0,8	85,9	24,9
37	7/5/2008 12:43	20,09	363	8	0	0,8	86	25
38	7/5/2008 12:44	20,11	346	8	0	0,7	85,9	25,1
39	7/5/2008 12:45	20,11	328	8	0	0,7	86,1	25,2
40	7/5/2008 12:48	20,12	337	8	0	0,7	83,1	25,1
41	7/5/2008 12:49	20,15	280	8	0	0,7	81,9	25,1
42	7/5/2008 12:50	20,1	319	8	0	0,8	80,5	25,2
43	7/5/2008 12:51	20,23	257	8	0	0,6	77,5	25,1
44	7/5/2008 12:52	20,06	305	9	0	0,8	75,6	25,1
45	7/5/2008 12:53	20,11	355	8	0	0,7	73,7	25,2
46	7/5/2008 12:54	20,11	410	8	0	0,7	69,8	25,1
47	7/5/2008 12:55	20,22	356	8	0	0,6	68,3	25
48	7/5/2008 12:56	20,12	472	9	0	0,7	67,9	24,9
49	7/5/2008 12:57	20,12	471	10	0	0,7	67,9	25
50	7/5/2008 12:57	20,23	403	9	0	0,6	67,7	25
51	7/5/2008 12:58	20,26	328	8	0	0,6	68	25
52	7/5/2008 12:59	20,26	271	8	0	0,6	70,8	25,1
53	7/5/2008 13:00	20,25	253	8	0	0,6	72,5	25,2
54	7/5/2008 13:01	20,16	291	8	0	0,7	73,7	25,3
55	7/5/2008 13:02	20,28	254	8	0	0,6	75,1	25,3
56	7/5/2008 13:03	20,11	341	11	0	0,7	76,4	25,4
57	7/5/2008 13:04	20,23	285	9	0	0,6	77,9	25,5
58	7/5/2008 13:05	20,23	287	8	0	0,6	77,8	25,7
59	7/5/2008 13:06	20,23	280	8	0	0,6	76,5	25,9
60	7/5/2008 13:07	20,15	315	9	0	0,7	75,2	26
61	7/5/2008 13:08	20,08	328	12	0	0,8	74,5	26,1
62	7/5/2008 13:09	20,07	344	12	0	0,8	74,2	26,3
63	7/5/2008 13:10	20,06	366	12	0	0,8	73,3	26,4
64	7/5/2008 13:11	20,06	325	12	0	0,8	71,3	26,6
65	7/5/2008 13:12	20,17	292	10	0	0,7	69,9	26,7
66	7/5/2008 13:13	20,17	317	11	0	0,7	68,5	26,7
67	7/5/2008 13:14	20,12	324	12	0	0,7	68,1	26,8
68	7/5/2008 13:15	20,13	307	13	0	0,7	67,7	26,9
69	7/5/2008 13:16	20,13	334	12	0	0,7	68,2	26,9
70	7/5/2008 13:17	20,19	234	10	0	0,7	68,4	27
71	7/5/2008 13:18	20,06	266	12	0	0,8	68,9	26,9
72	7/5/2008 13:19	20,06	253	13	0	0,8	68,6	26,7
73	7/5/2008 13:20	19,9	388	15	0	0,9	69	26,5

Anexos B - 05 - Dados de Análise de Gás em Chaminé de Processo de Produção de Ferro-liga-
 Continuação

Amostra	Data e Hora	O2 [%]	CO [ppm]	NO [ppm]	SO2 [ppm]	CO2	Tgas [°C]	Tamb [°C]
1	12/5/2008 11:56	20,23	1348	1	0	0,6	70	18,6
2	12/5/2008 12:01	20,21	1027	4	0	0,7	70,7	18,9
3	12/5/2008 12:12	20,44	1065	5	0	0,5	69,6	19,6
4	12/5/2008 12:13	20,45	506	4	0	0,4	70,4	19,7
5	12/5/2008 12:14	20,26	630	6	0	0,6	71	19,8
6	12/5/2008 12:15	20,19	787	7	0	0,7	71,1	19,9
7	12/5/2008 12:16	20,36	592	6	0	0,5	71,3	20
8	12/5/2008 12:17	20,59	427	2	0	0,3	71,1	20
9	12/5/2008 12:19	20,48	663	5	0	0,4	70	20
10	12/5/2008 12:20	20,49	755	4	0	0,4	70,5	20
11	12/5/2008 12:21	20,35	743	6	0	0,5	70,6	20
12	12/5/2008 12:23	20,45	833	6	0	0,4	70,1	20,1
13	12/5/2008 12:25	20,46	608	6	0	0,4	69,9	20,1
14	12/5/2008 12:26	20,38	635	6	0	0,5	70	20,1
15	12/5/2008 12:33	20,58	517	1	0	0,3	68,2	20,7
16	12/5/2008 12:33	20,55	487	1	0	0,4	68,1	21
17	12/5/2008 12:34	20,52	555	1	0	0,4	66,6	21,3
18	12/5/2008 12:36	20,58	606	1	0	0,3	66,1	21,6
19	12/5/2008 12:36	20,61	786	1	0	0,3	64	21,9
20	12/5/2008 12:37	20,65	594	0	0	0,3	63,5	22,1
21	12/5/2008 12:40	20,65	576	1	0	0,3	62,6	22,5
22	12/5/2008 12:40	20,67	473	0	0	0,2	62,1	22,6
23	12/5/2008 12:42	20,62	426	0	0	0,3	62,3	22,8
24	12/5/2008 12:43	20,56	366	2	0	0,3	61,5	22,9

Anexo C - 01 - Dados de Amostragem de Material Particulado em Chaminé de Gerador de Vapor em Indústria de Álcool

PARÂMETRO	Símbolo	Unidade	MP-A1-01	MP-A1-02	MP-A1-03	MP-A1-04	MP-A1-05	MP-A1-06
Diâmetro Interno da Chaminé	Di	m	2,95	2,95	2,95	3,00	3,00	3,00
Área da Chaminé	Ac	m ²	6,83	6,83	6,83	7,07	7,07	7,07
Diâmetro da Boquilha	Db	mm	5,93	5,93	5,93	6,00	6,00	6,00
Área da Boquilha	Ab	mm ²	27,62	27,62	27,62	28,27	28,27	28,27
Coefficiente do Pitot 'S'	Cp	-	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
Fator de correção do medidor	Y	-	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
Pressão Atmosférica	Patm	mmHg	727,32	727,32	727,32	712,88	712,88	712,88
Pressão Estática na Chaminé	Pe	mmH2O	4,50	4,50	4,50	8,00	8,00	8,00
Temperatura Ambiente	Ta	K	312,00	313,00	313,00	304,00	304,00	305,00
Temperatura na Chaminé	T	K	375,54	375,42	375,79	384,04	380,25	377,00
Temperatura no Gasômetro	Tg	K	315,79	321,50	320,31	312,27	304,25	310,06
Pressão absoluta do gás na chaminé	P	mmHg	727,65	727,65	727,65	713,47	713,47	713,47
Pressão absoluta no gasômetro	Pg	mmHg	728,64	728,77494	728,72732	714,22	714,13	714,19
Volume do Gás Medido	Vg	m ³	1,03	1,07	1,06	1,01	0,97	1,01
Volume Medido em Condição Normal	Vgn	Nm ³	0,86	0,88	0,87	0,84	0,83	0,84
Umidade do Gás	Bag	%	28,61	27,23	28,78	30,23	30,06	25,60
Duração da Coleta	t	min	72,00	72,00	72,00	72,00	72,00	72,00
Médias das Raízes do dP	MrdP		3,21	3,38	3,32	3,23	3,12	3,20
Média das Pressões do Orifício	dH	mmH2O	17,92	19,79	19,14	18,24	16,99	17,84
Volume Médio Normal	VmN	Nm ³	0,87	0,88	0,87	0,84	0,83	0,84
Massa Molecular (Base Seca)	MMs	g/mol	30,12	30,12	30,12	30,16	30,16	30,16
Massa Molecular (Base Úmida)	MMu	g/mol	26,65	26,82	26,63	26,49	26,51	27,05
Massa de Material Part. Coletado	Mmp	g	0,24	0,24	0,24	0,15	0,29	0,17
Massa de água coletada	Mag	g	259,21	246,35	263,16	272,23	266,04	216,58
Volume de Vapor de água -borbulhadores	Vagcp	m ³	0,35	0,33	0,35	0,36	0,36	0,29
Velocidade Gases nas Cond. Chaminé	v	m/s	13,10	13,73	13,55	13,51	12,96	13,10
Vazão Gases nas Cond. da Chaminé	Q	m ³ /h	322288	337756	333481	343727,52	329803,43	333374,47
Vol. de Água nas Condições da Chaminé	Vag	m ³	0,46	0,44	0,47	0,51	0,49	0,40
Vazão Normal Base Seca	Qnbs	Nm ³ /h	160142	171122	165188	160041,98	155469,99	168619,68
Concentração. Cond. Normais Base Seca	C	mg/Nm ³	273,94	277,19	275,56	175,03	356,08	204,86
Taxa de Emissão na Base Seca			43,87	47,43	45,52	28,01	55,36	34,54
Volume Med. nas Cond. Chaminé	V	m ³	1,24	1,26	1,25	1,26	1,23	1,24
Isocinética da amostragem	I	%	109,13	104,05	106,49	107,03	108,55	102,13

Anexo C - 02 - Dados de Amostragem de Material Particulado em Chaminé de Gerador de Vapor em Indústria de Álcool- Continuação

PARÂMETRO	Símbolo	Unidade	MP-A2-01	MP-A2-02	MP-A3-01	MP-A3-02	MP-A3-03	MP-A3-04
Diâmetro Interno da Chaminé	Di	m	2,50	2,50	3,20	3,20	3,20	3,20
Área da Chaminé	Ac	m ²	4,91	4,91	8,04	8,04	8,04	8,04
Diâmetro da Boquilha	Db	mm	5,93	8,93	7,97	7,97	7,97	7,97
Área da Boquilha	Ab	mm ²	27,62	62,63	49,89	49,89	49,89	49,89
Coefficiente do Pitot 'S'	Cp	-	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
Fator de correção do medidor	Y	-	1,01	1,01	0,99	0,99	0,99	0,99
Pressão Atmosférica	Patm	mmHg	722,76	722,76	775,20	775,20	775,20	775,20
Pressão Estática na Chaminé	Pe	mmH2O	2,00	2,00	7,00	7,00	7,00	7,00
Temperatura Ambiente	Ta	K	311,00	311,00	304,00	304,00	304,00	304,00
Temperatura na Chaminé	T	K	412,21	408,54	369,67	372,54	363,79	367,04
Temperatura no Gasômetro	Tg	K	305,98	309,25	305,21	303,15	298,75	304,04
Pressão absoluta do gás na chaminé	P	mmHg	722,91	722,91	775,71	775,71	775,71	775,71
Pressão absoluta no gasômetro	Pg	mmHg	723,51	726,46	778,93	779,29	781,86	782,45
Volume do Gás Medido	Vg	m ³	0,77	1,35	1,56	1,61	2,00	2,13
Volume Medido em Condição Normal	Vgn	Nm ³	0,66	1,15	1,41	1,47	1,85	1,93
Umidade do Gás	Bag	%	23,15	24,98	32,41	30,87	24,62	23,59
Duração da Coleta	t	min	72,00	60,00	72,00	72,00	72,00	72,00
Médias das Raízes do dP	MrdP		2,58	2,47	2,97	3,11	3,98	4,17
Média das Pressões do Orifício	dH	mmH2O	10,19	50,37	50,68	55,61	90,56	98,54
Volume Médio Normal	VmN	Nm ³	0,66	1,15	1,42	1,47	1,86	1,95
Massa Molecular (Base Seca)	MMs	g/mol	29,32	29,32	30,02	30,02	30,02	30,02
Massa Molecular (Base Úmida)	MMu	g/mol	26,70	26,49	26,12	26,31	27,06	27,18
Massa de Material Part. Coletado	Mmp	g	4,15	8,88	0,69	0,61	0,96	0,73
Massa de água coletada	Mag	g	148,44	286,08	507,00	490,00	452,00	447,00
Volume de Vapor de água -borbulhadores	Vagcp	m ³	0,20	0,38	0,68	0,65	0,60	0,60
Velocidade Gases nas Cond. Chaminé	v	m/s	11,06	10,59	11,77	12,34	15,40	16,17
Vazão Gases nas Cond. da Chaminé	Q	m ³ /h	195455,70	187065,60	340879,85	357256,47	445904,73	468164,85
Vol. de Água nas Condições da Chaminé	Vag	m ³	0,29	0,56	0,83	0,81	0,73	0,73
Vazão Normal Base Seca	Qnbs	Nm ³ /h	94630,78	89200,29	173669,86	184733,77	257458,06	271557,97
Concentração. Cond. Normais Base Seca	C	mg/Nm ³	6300,75	7700,15	485,00	414,14	516,15	372,81
Taxa de Emissão na Base Seca			596,24	686,86	84,23	76,51	132,89	101,24
Volume Med. nas Cond. Chaminé	V	m ³	1,05	1,81	1,88	1,97	2,43	2,57
Isocinética da amostragem	I	%	101,41	99,41	107	105	95	95

Anexos D - 01 - Dados de Análise de Gás em Chaminé de Gerador de Vapor em Processo de Produção de Álcool- Continuação

Ponto	26/07/2008 Horário	O2	CO2	Temp Gás (°C)	Temp. Amb. (°C)	CO (ppm)	NOx (ppm)
1	16:22:00	7,4%	12,8%	73,4	29,4	5695	86
2	16:27:00	8,2%	12,0%	85,0	30,7	4731	85
3	16:34:00	9,7%	10,6%	90,3	31,7	641	119
4	16:37:00	8,4%	11,9%	90,8	32,0	4190	60
5	16:42:00	8,4%	11,9%	92,1	32,5	2665	68
6	16:47:00	8,2%	12,8%	92,4	33,1	5345	60
7	16:52:00	10,1%	10,3%	94,5	33,2	4713	142
8	16:57:00	8,4%	11,9%	96,1	33,0	4590	92
9	17:02:00	8,2%	12,0%	95,5	33,5	8522	119
10	17:07:00	8,1%	12,1%	94,7	34,3	3342	91
11	17:12:00	8,8%	11,7%	96,2	34,2	1974	85
12	17:18:00	8,3%	12,0%	97,6	34,3	6093	73
13	17:22:00	8,1%	12,1%	98,0	34,7	6056	60
14	17:28:00	8,2%	12,0%	98,6	33,9	5524	93

Anexos D - 02 - Dados de Análise de Gás em Chaminé de Gerador de Vapor em Processo de Produção de Álcool- Continuação

Ponto	27/07/2008 Horário	O2	CO2	Temp Gás (°C)	Temp. Amb. (°C)	CO (ppm)	NOx (ppm)
1	09:58:00	12,3%	8,2%	92,6	20,5	1241	56
2	10:03:00	12,7%	7,8%	81,5	21,8	51	114
3	10:08:00	10,6%	9,8%	82,5	23,2	876	90
4	10:13:00	10,6%	9,8%	94,6	24,2	321	94
5	10:18:00	10,7%	9,6%	95,5	25,1	942	50
6	10:23:00	10,1%	10,2%	95,1	26,0	2204	56
7	10:28:00	9,8%	10,5%	94,7	26,9	4466	52
8	10:33:00	9,8%	10,6%	86,6	27,3	4242	79
9	10:38:00	9,6%	10,7%	62,2	28,0	698	86
10	10:43:00	10,1%	10,2%	91,7	28,6	645	80
11	10:48:00	10,5%	9,9%	96,1	29,0	1189	56
12	10:53:00	10,0%	10,4%	91,0	29,1	504	99
13	10:58:00	10,6%	9,7%	93,6	29,6	394	68
14	11:03:00	9,8%	10,5%	88,2	29,8	2513	80
15	11:08:00	11,1%	9,3%	89,2	30,0	1792	55
16	11:13:00	12,5%	8,0%	99,8	29,6	331	68
17	11:18:00	12,7%	7,8%	100,7	29,3	86	113
18	11:23:00	13,9%	6,7%	103,9	28,9	38	132
19	11:28:00	12,7%	7,8%	100,3	29,2	149	69

Anexos D - 03 - Dados de Análise de Gás em Chaminé de Gerador de Vapor em Processo de Produção de Álcool- Continuação

Ponto	27/07/2008 Horário	O2	CO2	Temp Gás (°C)	Temp. Amb. (°C)	CO (ppm)	NOx (ppm)
1	12:39	9,9%	10,5%	105,8	27,6	1892	52
2	12:40	10,8%	9,6%	104,7	27,8	1035	58
3	12:41	8,7%	11,6%	103,1	28,1	4498	76
4	12:42	9,2%	11,1%	100,2	28,4	6221	77
5	12:43	9,7%	10,6%	99,1	28,6	4240	78
6	12:44	9,8%	10,5%	97,8	28,8	1982	75
7	12:45	9,6%	10,7%	91,8	28,9	3329	75
8	12:46	9,2%	11,1%	92,5	29,1	4070	75
9	12:47	9,0%	11,3%	85,9	29,3	3007	79
10	12:48	10,9%	9,5%	84,9	29,4	2891	70

Anexos D - 04 - Dados de Análise de Gás em Chaminé de Gerador de Vapor em Processo de Produção de Álcool- Continuação

Amostra	Data e Hora	O2 [%]	CO [ppm]	NO [ppm]	Tgas [°C]	CO2 [%]
1	19/11/2007 10:22	11,85	921	84	191,3	6,6
2	19/11/2007 10:27	10,37	820	111	193,1	7,7
3	19/11/2007 10:32	9,96	677	99	196,1	8
4	19/11/2007 10:33	9,34	766	113	196,2	8,4
5	19/11/2007 10:38	12,15	380	21	194	6,4
6	19/11/2007 14:22	10,46	357	103	183,6	7,6
7	19/11/2007 14:23	9,91	443	103	187,8	8
8	19/11/2007 14:24	9,81	630	108	189,1	8,1
9	19/11/2007 14:25	9,73	958	104	190,4	8,1
10	19/11/2007 14:26	10,8	549	100	190,5	7,4
11	19/11/2007 14:27	11,25	432	90	191,1	7
12	19/11/2007 14:28	11,25	491	92	191,7	7
13	19/11/2007 14:29	11,55	457	90	194,4	6,8
14	19/11/2007 14:30	11,47	465	84	195,8	6,9
15	19/11/2007 14:31	10,34	605	104	195,1	7,7
16	19/11/2007 14:32	12,06	450	77	194,5	6,4
17	19/11/2007 14:33	11,53	637	81	194,3	6,8
18	19/11/2007 14:34	11,54	546	84	194,4	6,8
19	19/11/2007 14:35	10,74	516	104	195,9	7,4
20	19/11/2007 14:36	10,65	546	107	196,5	7,5
21	19/11/2007 14:37	10,27	429	108	197,4	7,7
22	19/11/2007 14:38	10,49	535	110	197,7	7,6
23	19/11/2007 14:39	10,44	676	111	198,2	7,6
24	19/11/2007 14:40	11,08	813	98	197,2	7,2
25	19/11/2007 14:41	11,01	920	92	197	7,2
26	19/11/2007 14:42	11,97	819	76	197	6,5
27	19/11/2007 14:43	9,96	963	104	197,7	8

Anexos D - 05 - Dados de Análise de Gás em Chaminé de Gerador de Vapor em Processo de Produção de Álcool- Continuação

Amostra	Data e Hora	O2 [%]	CO [ppm]	NO [ppm]	Tgas [°C]	CO2 [%]	
1	20/11/2007 08:27	11,78	3171	92	146,8	6,7	
2	20/11/2007 08:29	12,71	4293	75	147,9	6	
3	20/11/2007 08:29	10,87	2297	104	148	7,3	
4	20/11/2007 08:30	12,09	567	111	148,2	6,4	
5	20/11/2007 08:32	9,82	311	126	149,1	8,1	
6	20/11/2007 08:33	9,64	210	139	149,4	8,2	
7	20/11/2007 08:36	9,46	216	143	149,7	8,3	
8	20/11/2007 08:36	9,3	418	139	149,8	8,4	
9	20/11/2007 08:38	10,01	300	143	149,8	7,9	
10	20/11/2007 08:38	10,44	953	125	150	7,6	
11	20/11/2007 08:40	9,86	807	129	151,3	8	
12	20/11/2007 08:40	10	592	135	151,7	7,9	
13	20/11/2007 08:41	10,38	766	136	152,4	7,7	
14	20/11/2007 08:42	9,72	981	140	151,8	8,2	
15	20/11/2007 08:44	11,54	1446	126	149,5	6,8	
16	20/11/2007 08:44	10,26	1211	136	148,5	7,8	
17	20/11/2007 08:45	9,86	369	155	148,4	8	
18	20/11/2007 08:46	10,45	878	135	147,9	7,6	
19	20/11/2007 08:47	11,31	1150	127	147,9	7	
20	20/11/2007 08:48	10,38	995	140	147,9	7,7	
21	20/11/2007 08:49	11,34	993	131	146,7	7	
22	20/11/2007 08:50	11,55	1384	104	146,2	6,8	
23	20/11/2007 08:51	11,43	932	131	146,2	6,9	
24	20/11/2007 08:52	10,67	617	137	146,2	7,5	
25	20/11/2007 08:53	11,73	616	123	147,3	6,7	
26	20/11/2007 08:54	12,93	872	109	147,7	5,8	
27	20/11/2007 08:55	13,73	762	101	148,1	5,2	
28	20/11/2007 08:56	13,33	642	106	147,5	5,5	
29	20/11/2007 08:57	13,71	487	104	147,6	5,3	
30	20/11/2007 09:11	11,35	1360	127	149,1	7	
31	20/11/2007 09:13	12,81	1389	106	147,3	5,9	
32	20/11/2007 09:14	11,4	1101	129	147,2	6,9	
33	20/11/2007 09:15	11,05	1030	136	147,9	7,2	
34	20/11/2007 09:16	11,79	1188	125	147,6	6,6	
35	20/11/2007 09:17	11,69	1596	121	146,7	6,7	
36	20/11/2007 09:18	11,34	1032	121	147,6	7	
37	20/11/2007 09:19	11,27	549	133	148,3	7	
38	20/11/2007 09:22	12,71	432	111	149,3	6	
39	20/11/2007 09:23	13,51	886	101	149,2	5,4	
40	20/11/2007 09:24	13,04	772	100	149,7	5,7	
41	20/11/2007 09:25	13,68	497	101	149,9	5,3	
42	20/11/2007 09:26	14,13	647	98	148,5	4,9	
43	20/11/2007 09:27	14,65	640	83	147,3	4,6	
44	20/11/2007 09:28	15,29	817	81	147,2	4,1	
45	20/11/2007 09:29	15,24	852	80	148	4,1	
46	20/11/2007 09:30	15,35	619	83	147,6	4,1	
47	20/11/2007 09:31	15,53	800	80	147,9	3,9	
48	20/11/2007 09:32	15,49	551	82	149,1	4	
49	20/11/2007 09:33	16,06	715	73	148,1	3,5	
50	20/11/2007 09:34	15,91	575	73	149,2	3,7	

Anexos D - 06 - Dados de Análise de Gás em Chaminé de Gerador de Vapor em Processo de Produção de Álcool- Continuação

Amostra	Data e Hora	O2 [%]	CO [ppm]	NO [ppm]	Tgas [°C]	CO2 [%]
51	20/11/2007 09:35	16,24	753	72	148	3,4
52	20/11/2007 09:36	16,19	361	72	148,6	3,5
53	20/11/2007 09:37	16,14	484	73	149,6	3,5
54	20/11/2007 09:38	16,22	429	72	150	3,4
55	20/11/2007 09:39	16,32	384	72	151,2	3,4
56	20/11/2007 09:41	16,6	301	65	150	3,2
57	20/11/2007 09:43	16,43	204	67	149,9	3,3
58	20/11/2007 09:43	16,6	257	64	149,9	3,2
59	20/11/2007 09:45	16,57	289	63	151,3	3,2
60	20/11/2007 09:45	16,81	471	58	151	3
61	20/11/2007 09:46	16,78	226	60	150,8	3
62	20/11/2007 09:48	16,78	148	59	151	3
63	20/11/2007 09:50	17,55	344	48	150,6	2,5
64	20/11/2007 09:51	17,94	887	39	149,8	2,2
65	20/11/2007 09:51	18,08	696	38	149,4	2,1
66	20/11/2007 09:54	18,1	273	40	149,9	2,1
67	20/11/2007 09:56	18,19	490	40	151,8	2
68	20/11/2007 09:57	17,96	250	42	153,2	2,2
69	20/11/2007 09:57	17,89	154	46	154	2,2
70	20/11/2007 09:59	17,93	159	42	157,1	2,2
71	20/11/2007 10:01	17,85	149	44	157,6	2,2
72	20/11/2007 10:03	19,34	1484	20	151,2	1,2
73	20/11/2007 10:04	18,44	1117	30	151,1	1,8
74	20/11/2007 10:05	18,5	1123	32	150,7	1,8
75	20/11/2007 10:06	18,26	171	38	149,6	2
76	20/11/2007 10:07	18,3	115	39	149,4	1,9
77	20/11/2007 10:08	18,25	62	40	150,9	2
78	20/11/2007 10:09	18,16	58	43	150	2
79	20/11/2007 10:15	15,63	266	78	146,2	3,9
80	20/11/2007 10:16	16,69	500	61	150,5	3,1
81	20/11/2007 10:17	16,84	440	58	151	3
82	20/11/2007 10:18	16,75	317	59	150,9	3
83	20/11/2007 10:18	16,99	328	56	150,9	2,9
84	20/11/2007 10:19	17,44	604	49	151,4	2,5
85	20/11/2007 10:20	17,52	763	48	153,5	2,5
86	20/11/2007 10:21	17,26	173	55	154,1	2,7
87	20/11/2007 10:22	17,41	147	52	155,1	2,6
88	20/11/2007 10:23	17,73	334	47	153,9	2,3
89	20/11/2007 10:24	17,76	254	48	152,5	2,3
90	20/11/2007 10:25	18,2	404	40	151,8	2
91	20/11/2007 10:26	18,46	698	40	151,5	1,8
92	20/11/2007 10:27	18,82	885	33	150,4	1,5
93	20/11/2007 10:28	18,82	855	33	150,5	1,5
94	20/11/2007 10:29	19,27	845	30	149,4	1,2
95	20/11/2007 10:31	18,96	1674	30	146,3	1,4
96	20/11/2007 10:32	19,14	2261	25	147,9	1,3
97	20/11/2007 11:15	14,94	1451	55	142,3	4,4
98	20/11/2007 11:16	16,55	3350	35	148,9	3,2
99	20/11/2007 11:17	11,74	3084	100	152,2	6,7
100	20/11/2007 11:18	10,29	961	134	153,7	7,7

Anexos D - 07 - Dados de Análise de Gás em Chaminé de Gerador de Vapor em Processo de Produção de Álcool- Continuação

Amostra	Data e Hora	O2 [%]	CO [ppm]	NO [ppm]	Tgas [°C]	CO2 [%]
101	20/11/2007 11:19	10,61	981	135	155,1	7,5
102	20/11/2007 11:20	11,87	998	118	156,1	6,6
103	20/11/2007 11:21	12,06	1552	109	156,6	6,4
104	20/11/2007 11:22	13,09	1818	90	156,7	5,7
105	20/11/2007 11:23	10,87	839	135	156,8	7,3
106	20/11/2007 11:24	10,5	700	143	157,5	7,6
107	20/11/2007 11:25	10,39	364	145	158,3	7,7
108	20/11/2007 11:26	10,87	558	130	157,1	7,3
109	20/11/2007 11:27	11,67	819	126	156,5	6,7
110	20/11/2007 11:28	12,15	1222	106	156,6	6,4
111	20/11/2007 11:33	16,38	2463	39	149,1	3,3
112	20/11/2007 11:35	13,1	2818	89	148,9	5,7
113	20/11/2007 11:35	13,77	2232	86	147,1	5,2
114	20/11/2007 11:36	13,48	3234	87	146,3	5,4
115	20/11/2007 11:37	10,29	662	138	146,6	7,7
116	20/11/2007 11:38	11,61	292	127	147,3	6,8
117	20/11/2007 11:39	10,72	295	144	147,5	7,4
118	20/11/2007 11:40	11,65	406	127	147,6	6,8
119	20/11/2007 11:41	14,67	2506	71	144,3	4,6
120	20/11/2007 11:42	13,3	2483	84	143,5	5,6
121	20/11/2007 11:43	11,22	1729	126	143,9	7,1
122	20/11/2007 11:44	9,66	608	151	146,2	8,2
123	20/11/2007 11:45	13,34	1112	99	143,8	5,5
124	20/11/2007 11:46	12,99	2040	91	143,1	5,8
125	20/11/2007 11:47	15,18	1485	63	141,9	4,2
126	20/11/2007 11:48	12,47	864	105	141,8	6,2
127	20/11/2007 11:51	17,71	5922	32	140,7	2,3
128	20/11/2007 11:52	18,19	3318	38	140,7	2
129	20/11/2007 11:53	19,39	1762	21	138,7	1,1
130	20/11/2007 11:54	19,27	2723	20	136,3	1,2
131	20/11/2007 11:55	13,82	4529	71	138,3	5,2
132	20/11/2007 11:56	10	1138	121	139,9	7,9
133	20/11/2007 11:57	11,39	563	134	140,8	6,9
134	20/11/2007 11:58	13,79	476	106	141,5	5,2
135	20/11/2007 11:59	15,06	2024	71	142,7	4,3
136	20/11/2007 12:00	12,04	220	133	144,6	6,5
137	20/11/2007 12:01	11,89	176	135	146	6,6
138	20/11/2007 12:02	14,09	173	104	148,6	5
139	20/11/2007 12:03	16,59	1358	55	149	3,2
140	20/11/2007 12:04	17,75	2609	37	148	2,3
141	20/11/2007 12:05	14,6	1148	78	152,1	4,6
142	20/11/2007 12:06	17,95	1751	36	150,8	2,2
143	20/11/2007 12:20	15,91	994	66	151,9	3,7
144	20/11/2007 12:20	15,04	118	85	153,8	4,3
145	20/11/2007 12:21	16,05	285	63	155,6	3,6
146	20/11/2007 12:22	18,05	2102	27	152,5	2,1
147	20/11/2007 12:24	16,82	2270	36	150,5	3
148	20/11/2007 12:25	17,31	1797	37	148,3	2,6
149	20/11/2007 12:26	17,66	1771	29	146,7	2,4
150	20/11/2007 12:26	18,79	1173	20	143,5	1,6
151	20/11/2007 12:27	18,62	1733	20	141,3	1,7
152	20/11/2007 12:28	19,03	1290	19	138,6	1,4
153	20/11/2007 12:33	17,38	2680	33	126,1	2,6
154	20/11/2007 12:34	18,12	3204	29	131,7	2,1
155	20/11/2007 12:34	17,58	2687	35	134,6	2,4
156	20/11/2007 12:35	17,04	2315	43	136,7	2,8

Anexos D - 08 - Dados de Análise de Gás em Chaminé de Gerador de Vapor em Processo de Produção de Álcool- Continuação

Ponto	15/09/2008 Horário	O2	CO2	Temp. Gás (°C)	Temp. Amb. (°C)	CO ppm	NOx ppm
1	8:36	16,5%	4,2%	87,3	21,5	482	32
2	8:38	15,3%	5,3%	86,3	21,7	107	63
3	8:45	13,1%	7,4%	81,6	22,4	42	92
4	8:46	10,0%	10,3%	87,0	22,4	554	91
5	8:47	10,5%	9,9%	87,3	22,4	243	117
6	8:48	9,3%	11,0%	86,9	22,5	302	102
7	8:49	16,9%	3,8%	86,1	22,5	347	30

Anexos D - 09 - Dados de Análise de Gás em Chaminé de Gerador de Vapor em Processo de Produção de Álcool- Continuação

Ponto	16/09/2008 Horário	O2	CO2	Temp. Gás (°C)	Temp. Amb. (°C)	CO ppm	NOx ppm
1	13:13	14,3%	6,3%	85,5	30,7	61	112
2	13:14	14,5%	6,1%	86,1	30,5	52	120
3	13:16	11,4%	9,0%	89,1	30,2	85	153
4	13:17	11,5%	8,9%	92,5	30,2	93	153
5	13:18	11,8%	8,7%	97,0	30,2	65	169
6	13:19	12,5%	8,0%	95,6	30,3	64	150
7	13:20	12,0%	8,4%	94,3	30,2	89	151
8	13:21	12,3%	8,2%	93,6	30,0	76	152
9	13:22	13,2%	7,3%	97,5	29,9	123	127
10	13:24	13,6%	6,9%	96,9	29,8	83	132
11	13:25	13,9%	6,7%	96,6	29,6	61	141
12	13:26	12,5%	8,0%	95,2	29,4	69	161
13	13:27	12,3%	8,2%	97,7	29,1	73	152
14	13:28	12,8%	7,7%	99,7	28,9	78	145
15	13:29	13,2%	7,3%	99,6	28,8	48	153
16	13:30	12,2%	8,2%	97,7	28,7	110	161
17	13:31	12,7%	7,8%	97,0	28,6	69	167
18	13:32	12,5%	8,0%	97,4	28,5	99	135
19	13:33	12,1%	8,3%	98,9	28,4	53	170
20	13:34	12,3%	8,1%	97,9	28,4	60	159
21	13:36	12,6%	7,9%	96,4	28,3	98	144
22	13:37	12,1%	8,3%	97,7	28,3	86	147
23	13:38	13,0%	7,5%	99,8	28,2	49	146
24	13:39	12,8%	7,7%	102,4	28,2	35	159
25	13:40	12,3%	8,1%	101,9	28,0	35	170
26	13:41	12,6%	7,9%	97,0	27,8	138	126
27	13:42	11,7%	8,8%	97,3	27,6	86	159
28	13:44	12,5%	7,9%	98,2	27,5	68	162
29	13:45	13,4%	7,1%	98,6	27,4	84	154
30	13:46	13,4%	7,2%	96,2	27,2	61	153

Anexos D - 10 - Dados de Análise de Gás em Chaminé de Gerador de Vapor em Processo de Produção de Álcool- Continuação

Ponto	15/09/2008 Horário	O2 (%)	CO2 (%)	Temp. Gás (°C)	Temp. Amb. (°C)	CO ppm	NOx ppm
1	16:53	12,2%	8,2%	83,1	27,1	42	147
2	16:54	13,2%	7,4%	94,8	27,0	33	170
3	16:56	13,6%	7,0%	94,4	27,2	49	145
4	16:57	12,8%	7,7%	94,9	27,5	28	167
5	16:58	14,0%	6,6%	94,5	27,6	23	145
6	16:59	14,2%	6,4%	92,9	27,6	24	148
7	17:00	13,0%	7,5%	91,2	27,6	47	138
8	17:01	13,1%	7,4%	90,0	27,6	44	158
9	17:02	13,2%	7,3%	90,9	27,5	108	119
10	17:03	12,3%	8,2%	90,8	27,3	35	171
11	17:04	12,8%	7,7%	93,2	27,1	37	152
12	17:06	12,0%	8,4%	93,2	27,0	74	145

Anexo E -01 - Análise Química do Material Particulado

Teores (%)																	
Origem	Identificação	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O	CaO	MnO	Fe ₂ O ₃	NiO	ZnO	Rb ₂ O	SrO	CdO	I
F2A01	Análise 01	3,40	4,40	6,00	17,00	0,20	8,00	19,00	4,40	26,00	3,50	0,02	4,20	0,09	0,12	0,16	0,38
F2A01	Análise 02	3,30	4,40	5,90	17,00	0,20	8,00	19,00	4,40	26,00	3,50	0,02	4,20	0,09	0,12	0,16	0,40
F2A01	Análise 03	3,30	4,40	6,00	17,00	0,21	7,90	19,00	4,40	26,00	3,50	0,03	4,20	0,09	0,12	0,14	0,40
F2A01	Média	3,33	4,40	5,97	17,00	0,20	7,97	19,00	4,40	26,00	3,50	0,02	4,20	0,09	0,12	0,15	0,39
F2A02	Análise 01	3,40	4,50	5,90	17,00	0,21	8,10	19,00	4,40	26,00	3,40	0,03	4,30	0,09	0,12	0,15	0,39
F2A02	Análise 02	3,40	4,50	5,80	17,00	0,21	8,20	19,00	4,40	26,00	3,40	0,01	4,30	0,09	0,12	0,15	0,38
F2A02	Análise 03	3,30	4,60	5,80	17,00	0,22	8,10	19,00	4,50	26,00	3,50	0,02	4,20	0,09	0,12	0,17	0,38
F2A02	Média	3,37	4,53	5,83	17,00	0,21	8,13	19,00	4,43	26,00	3,43	0,02	4,27	0,09	0,12	0,16	0,38
F2A03	Análise 01	3,50	4,50	5,40	16,80	0,19	8,20	18,80	4,30	26,80	3,30	0,02	4,35	0,08	0,14	0,19	0,39
F2A03	Análise 02	3,60	4,60	5,60	16,90	0,22	8,20	19,00	4,40	26,00	3,10	0,02	4,35	0,09	0,12	0,20	0,41
F2A03	Análise 03	3,50	4,50	5,50	16,90	0,21	8,30	19,00	4,30	26,00	3,10	0,02	4,40	0,09	0,12	0,16	0,38
F2A03	Média	3,53	4,53	5,50	16,87	0,21	8,23	18,93	4,33	26,27	3,17	0,02	4,37	0,09	0,13	0,18	0,39
F3A01	Análise 01	3,40	4,00	3,40	18,00	0,15	7,30	24,00	3,10	26,00	3,40	0,03	4,30	0,11		*	0,18
F3A01	Análise 02	3,40	3,90	3,40	18,20	0,15	7,20	24,00	3,10	26,00	3,40	0,03	4,30	0,11		*	0,16
F3A01	Análise 03	3,20	3,90	3,40	18,00	0,15	7,30	24,10	3,10	26,00	3,30	0,02	4,40	0,12		*	0,18
F3A01	Média	3,33	3,93	3,40	18,07	0,15	7,27	24,03	3,10	26,00	3,37	0,02	4,33	0,11			0,17
F3A02	Análise 01	3,50	4,00	3,20	17,00	0,14	7,70	26,00	2,80	26,00	2,60	0,02	4,40	0,12	0,05	*	0,21
F3A02	Análise 02	3,60	3,90	3,20	17,00	0,15	7,70	26,00	2,80	26,00	2,60	0,02	4,40	0,12	0,05	*	0,18
F3A02	Análise 03	3,50	4,00	3,20	17,00	0,14	7,70	26,00	2,70	26,00	2,60	0,02	4,40	0,12	0,05	*	0,22
F3A02	Média	3,53	3,97	3,20	17,00	0,14	7,70	26,00	2,77	26,00	2,60	0,02	4,40	0,12	0,05		0,20
F3A03	Análise 01	3,70	4,10	3,30	17,00	0,14	7,90	25,00	2,80	26,00	2,80	0,03	4,40	0,11		*	0,19
F3A03	Análise 02	3,70	4,10	3,20	17,00	0,14	7,90	25,00	2,80	26,00	2,80	0,02	4,40	0,12	0,05	*	0,20
F3A03	Análise 03	3,30	3,90	3,20	17,00	0,01	7,80	26,00	2,80	26,00	2,80	0,02	4,50	0,12	0,06	*	0,22
F3A03		3,57	4,03	3,23	17,00	0,10	7,87	25,33	2,80	26,00	2,80	0,02	4,43	0,12	0,05		0,20
F4A01	Análise 01		4,20	5,70	15,00	0,13	8,20	25,00	5,00	22,00	3,10	*	5,90	0,12	0,09	*	0,49
F4A01	Análise 02		4,00	5,50	14,60	0,12	7,90	24,50	4,70	24,00	2,90	0,02	5,70	0,12	0,09	0,13	0,48
F4A01	Análise 03		4,30	5,80	14,40	0,13	8,30	25,00	4,90	22,20	3,00	0,02	5,80	0,13	0,09	*	0,48
F4A01	Média		4,17	5,67	14,67	0,13	8,13	24,83	4,87	22,73	3,00	0,02	5,80	0,12	0,09	0,13	0,48

Anexo E - 02 - Análise Química do Material Particulado- Continuação

Teores (%)																	
Origem	Identificação	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O	CaO	MnO	Fe ₂ O ₃	NiO	ZnO	Rb ₂ O	SrO	CdO	I
F4A02	Análise 01		4,20	5,80	14,00	0,14	7,90	25,00	4,90	23,00	3,10	0,03	6,00	0,12	0,09	*	0,49
F4A02	Análise 02		4,20	5,80	14,00	0,13	7,90	25,00	4,90	23,00	3,10	0,03	6,00	0,13	0,09	0,15	0,49
F4A02	Análise 03		4,20	5,80	14,00	0,14	7,90	25,00	4,90	22,60	3,30	0,02	6,10	0,13	0,09	*	0,49
F4A02	Média		4,20	5,80	14,00	0,14	7,90	25,00	4,90	22,87	3,17	0,03	6,03	0,13	0,09	0,15	0,49
F4A03	Análise 01		4,20	5,80	14,00	0,13	8,10	25,00	5,00	22,30	3,00	0,02	6,10	0,13	0,09	*	0,54
F4A03	Análise 02		4,20	5,70	14,00	0,13	8,10	25,00	5,00	22,30	3,00	0,02	6,10	0,12	0,09	0,14	0,52
F4A03	Análise 03		4,10	5,60	13,80	0,12	7,90	24,80	4,90	23,00	2,90	0,01	6,30	0,12	0,08	0,14	0,46
F4A03	Média		4,17	5,70	13,93	0,13	8,03	24,93	4,97	22,53	2,97	0,02	6,17	0,12	0,09	0,14	0,51
F5A01	Análise 01	2,60	3,60	5,40	15,00	0,11	6,10	22,00	3,80	32,50	3,20	0,02	2,30	0,11	0,10	*	0,27
F5A01	Análise 02	3,10	4,00	5,70	15,20	0,13	6,50	22,30	4,00	30,00	3,40	0,02	2,20	0,12	0,09	*	0,28
F5A01	Análise 03	3,00	3,80	5,60	15,00	0,11	6,10	22,00	3,80	32,00	3,10	0,02	2,30	0,12	0,09	*	0,26
F5A01	Média	2,90	3,80	5,57	15,07	0,12	6,23	22,10	3,87	31,50	3,23	0,02	2,27	0,12	0,09		0,27
F5A02	Análise 01	3,10	4,10	6,40	17,00	0,13	6,70	25,00	4,70	23,00	4,00	0,03	2,40	0,11	0,10	*	0,28
F5A02	Análise 02	3,10	4,10	6,30	17,00	0,13	6,70	25,00	4,70	23,00	4,00	0,02	2,30	0,12	0,10	*	0,26
F5A02	Análise 03	3,10	4,10	6,30	17,00	0,13	6,70	25,00	4,60	23,00	4,00	0,03	2,30	0,11	0,10	*	0,26
F5A02	Média	3,10	4,10	6,33	17,00	0,13	6,70	25,00	4,67	23,00	4,00	0,03	2,33	0,11	0,10		0,27
F5A03	Análise 01	2,80	4,00	6,10	16,90	0,13	6,60	24,90	4,80	23,70	4,20	0,02	2,40	0,11	0,10	*	0,26
F5A03	Análise 02	3,00	4,20	6,40	16,90	0,13	6,60	24,90	4,70	23,40	4,10	0,03	2,30	0,11	0,09	*	0,26
F5A03	Análise 03	2,90	4,00	6,00	16,70	0,11	6,40	24,60	4,60	24,50	4,00	0,02	2,60	0,10	0,09	*	0,26
F5A03	Média	2,90	4,07	6,17	16,83	0,12	6,53	24,80	4,70	23,87	4,10	0,03	2,43	0,11	0,09		0,26