

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA

BRUNO DE ARAÚJO LIMA

**AMOSTRAGEM DA EMISSÃO DE MATERIAL
PARTICULADO EM AMBIENTES EXTERNOS**

Itapeva - SP
2011

BRUNO DE ARAÚJO LIMA

**AMOSTRAGEM DA EMISSÃO DE MATERIAL
PARTICULADO EM AMBIENTES EXTERNOS**

Trabalho de Graduação apresentado no Campus Experimental de Itapeva - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como requisito para a conclusão do curso de Engenharia Industrial Madeireira

Orientador: Prof^a. Dr^a. Maria Angélica Martins Costa

Itapeva - SP
2011

FICHA CATALOGRÁFICA

Lima, Bruno de Araújo

L732a Amostragem da emissão de material particulado em ambientes externos /
Bruno de Araújo Lima – – Itapeva, 2011
73 f.: il.

Trabalho de Graduação do Curso Engenharia Industrial Madeireira
apresentado ao Campus Experimental de Itapeva – UNESP, 2011

Orientador: Profª. Drª. Maria Angélica Martins Costa

Banca examinadora: Prof. Dr. Carlos Alberto Oliveira de Matos;
Profª. Msc. Juliana Esteves Fernandes.

Inclui bibliografia

1. Ar - Poluição. 2. Amostragem ambiental. 3. Poluentes I. Título. II.
Itapeva - Curso de Engenharia Industrial Madeireira.

CDD 628.53

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA

**AMOSTRAGEM DA EMISSÃO DE MATERIAL
PARTICULADO EM AMBIENTES EXTERNOS**

BRUNO DE ARAÚJO LIMA

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO
COMO PARTE REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
GRADUADO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL MADEIREIRA

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO
DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL MADEIREIRA

Prof. Dr. José Cláudio Caraschi
Coordenador de Curso

BANCA EXAMINADORA:

Prof^a. Dr^a. Maria Angélica Martins Costa
Orientador – Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Prof. Dr. Carlos Alberto Oliveira de Matos
Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Prof. Msc. Juliana Esteves Fernandes
Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Dedico este trabalho, primeiramente, a Deus. Segundo, aos familiares, amigos e professores que me incentivaram e me deram suporte nessa fase da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, pois ele me deu o sopro de vida e hoje posso desfrutar dela com alegria e satisfação.

Agradeço aos meus pais, Jair e Cristina, que graças aos esforços e sacrifícios me encaminharam e me apoiaram em bons ou em maus momentos para que chegasse até aqui.

A toda minha família pelo apoio dado nessa jornada, principalmente minhas avós.

Agradeço à indústria pela oportunidade de realizar os trabalhos em sua área fabril.

Agradeço aos meus colegas e amigos que me ajudaram direta ou indiretamente nessa etapa da minha vida e que também compartilharam vários momentos importantes.

Agradeço a todas as pessoas que de alguma forma me ensinaram algo, dentre eles professores, técnicos e amigos e, especialmente, a professora Maria Angélica, que me ajuda sempre e que considero como parte da minha família.

“A melhor maneira que o homem dispõe para se aperfeiçoar, é aproximar-se do número 1.”

Pitágoras

RESUMO

A preocupação da sociedade com relação à poluição se torna cada vez maior e necessária. Essa poluição gera prejuízo para quem está em contato, tanto em termos econômicos quanto em qualidade de vida. Entre os principais poluentes do ar está o material particulado, sendo o mais prejudicial à saúde humana as partículas finas e ultrafinas (abaixo de 2,5 μm de diâmetro). Com isso, este trabalho teve como objetivo mensurar a poluição do ar por material particulado através de amostragens em um centro urbano, em uma indústria siderúrgica, em uma carvoaria convencional e em um incêndio florestal. Os equipamentos utilizados para a amostragem das partículas foram o DataRam4 (modelo DR 4000) e o Impactador de Andersen, ambos desenvolvidos pela empresa *THERMO SCIENTIFIC*. O primeiro equipamento utiliza um sistema de nefelometria e o segundo um sistema gravimétrico de amostragem. Durante as amostragens realizadas, pode-se observar em alguns casos a dificuldade na respiração, mal estar e baixa visibilidade que esse tipo de poluente pode causar. Em grande parte dos casos estudados os resultados foram preocupantes. Na indústria, na carvoaria e na floresta foram medidos valores altos de concentração para partículas de menores diâmetros. Os picos de concentrações emitidas foram: 40.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 182.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 400.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para a indústria, carvoaria e a floresta, respectivamente. Já no centro urbano os resultados foram satisfatórios, sempre ficando dentro do limite permitido pelas normas vigentes até o momento no país.

Palavras-chave: Material Particulado. Qualidade do Ar. Poluição do Ar.

ABSTRACT

The concern of the society with regard to the pollution is becoming each bigger and necessary time. This pollution generates damage for who is in contact, as much in economic terms how much in quality of life. The particulate matter is one of the main polluting the air, being the most harmful to human health, fine particles and ultra fine (below 2.5 μm in diameter). With this, this work had as objective to mensurar the pollution of air for material particulado through samplings in an urban center, in a siderurgical industry, a conventional coal bunker and a forest fire. The equipment used for the sampling of particles had been the DataRam4 (model DR 4000) and the Impactador de Andersen, both developed by company THERMO SCIENTIFIC. The first equipment uses a system of nefelometry and the second uses a gravimetrical system of sampling. During the carried through samplings, it can be observed in some cases the difficulty in the breath, badly be and low visibility that this type of pollutant can cause. In most cases the results were disturbing. In industry, conventional coal bunker and in the forest were measured values high concentration for particles smaller diameters. Peak concentrations issued were: 40,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 182,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 400,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for the industry, conventional coal bunker and forest, respectively. Already in the urban centre were satisfactory results, always staying within the limit allowed by the rules in force so far in the country.

Keywords: Particulate Matter. Air Quality. Air Pollution.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Classificação dos materiais particulados inaláveis	18
FIGURA 2 – Setores industriais mais poluidores	20
FIGURA 3 – Fumaça emitida em uma queimada	21
FIGURA 4 – Penetração do material particulado no sistema respiratório do ser humano	23
FIGURA 5 – Visibilidade em uma avenida tomada pela fumaça	25
FIGURA 6 – DataRam4 - Modelo DR-4000	27
FIGURA 7 – Esquema ótico do equipamento	28
FIGURA 8 – Acessórios do DataRam4.....	29
FIGURA 9 – Impactador de Cascata de Oito Estágios Andersen	29
FIGURA 10 – Esquema de impactação em cada estágio	30
FIGURA 11 – Locais de amostragem no interior da fábrica	32
FIGURA 12 – Visão geral do setor de matéria prima da empresa	33
FIGURA 13 – Vista do forno onde foi realizada a amostragem	34
FIGURA 14 – Vista geral da carvoaria “Bicarbrás”	35
FIGURA 15 – Visão geral do pátio de ligas	36
FIGURA 16 – Carvoaria em operação	37
FIGURA 17 – Locais de amostragem na carvoaria convencional	38
FIGURA 18 – DataRam4 durante a amostragem na carvoaria	38
FIGURA 19 – Visão geral do local de amostragem no centro urbano.....	39
FIGURA 20 – Equipamentos alocados no centro de Itapeva-SP	40
FIGURA 21 – Área escolhida para queimada experimental	41
FIGURA 22 – Equipamentos alocados a 13 metros de altura durante a queimada	42
FIGURA 23 – Concentração de partículas amostradas no setor da matéria prima	44
FIGURA 24 – Variação diametral de partículas amostradas no setor da matéria prima.....	45
FIGURA 25 – Concentração de partículas em relação a sua variação de diâmetro.....	45
FIGURA 26 – Concentração de material particulado amostrado no forno	46
FIGURA 27 – Variação diametral do material particulado amostrado no forno	47
FIGURA 28 – Concentração de partículas em relação a sua variação de diâmetro.....	48
FIGURA 29 – Concentração de material particulado amostrado na carvoaria Bicarbrás...49	
FIGURA 30 – Variação diametral das partículas amostradas na carvoaria Bicarbrás.....	49
FIGURA 31 – Concentração de partículas em relação a sua variação de diâmetro	50

FIGURA 32 – Concentração de material particulado amostrado no pátio.....	51
FIGURA 33 – Variação diametral do material particulado amostrado no pátio	51
FIGURA 34 – Concentração de partículas em relação a sua variação de diâmetro	52
FIGURA 35 – Concentração de partículas amostradas no 1º dia na carvoaria	53
FIGURA 36 – Diâmetro das partículas amostradas no 1º dia na carvoaria	54
FIGURA 37 – Concentração de partículas em relação a sua variação de diâmetro	55
FIGURA 38 – Concentração de partículas amostradas no 2º dia na carvoaria	56
FIGURA 39 – Diâmetro das partículas amostradas no 2º dia na carvoaria	57
FIGURA 40 – Concentração de partículas em relação a sua variação de diâmetro	57
FIGURA 41 – Concentração de partículas amostradas no 3º dia na carvoaria	58
FIGURA 42 – Diâmetro das partículas amostradas no 4º dia na carvoaria	59
FIGURA 43 – Concentração de partículas em relação a sua variação de diâmetro	60
FIGURA 44 – Concentração de material particulado amostrado no centro da cidade.....	61
FIGURA 45 – Diâmetro do material particulado amostrado no centro da cidade	62
FIGURA 46 – Massa de partículas capturadas pelo impactador de cascata	63
FIGURA 47 – Concentração de material particulado durante a queimada	64
FIGURA 48 – Diâmetro do material particulado emitido durante a queimada.....	65
FIGURA 49 – Concentração de partículas em relação a sua variação de diâmetro.....	65
FIGURA 50 – Massa de partículas capturadas pelo impactador de cascata na Amazônia .66	
FIGURA 51 – Filtros depois da amostragem realizada na queimada da	67

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Padrões nacionais de qualidade do ar para partículas.....	26
TABELA 2 – Características de cada estágio do Impactador de Andersen	31
TABELA 3 – Horário de amostragem para cada ponto	37

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS.....	15
2.1 Objetivo Geral.....	15
2.2 Objetivos Específicos.....	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3.1 Material Particulado.....	16
3.1.1 Composição.....	16
3.1.2 Classificação.....	17
3.1.3 Fontes.....	18
3.1.3.1 Áreas Urbanas.....	19
3.1.3.2 Áreas Industriais.....	20
3.1.3.3 Incêndios Florestais.....	21
3.1.4 Efeitos.....	22
3.1.4.1 Efeitos na saúde.....	22
3.1.4.2 Visibilidade.....	24
3.2 Padrões de Qualidade.....	25
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
4.1 Equipamentos.....	27
4.1.1 DataRam4 – Modelo DR-4000.....	27
4.1.2 Impactador de Andersen.....	29
4.2 Amostragens.....	31
4.2.1 Indústria.....	32
4.2.1.1 Setor da matéria prima	32
4.2.1.2 Forno.....	33
4.2.1.3 Carvoaria “Bicarbrás”	34
4.2.1.4 Pátio de ligas.....	35
4.2.2 Carvoaria Convencional.....	36

4.2.3 Área Urbana.....	39
4.2.4 Floresta Amazônica.....	40
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
5.1 Indústria.....	43
5.1.1 Setor da matéria prima	43
5.1.2 Forno.....	46
5.1.3 Carvoaria “Bicarbrás”	48
5.1.4 Pátio de ligas.....	50
5.2 Carvoaria Convencional.....	52
5.2.1 Dia 1.....	53
5.2.2 Dia 2.....	55
5.2.3 Dia 3.....	58
5.3 Área Urbana.....	60
5.3.1 Resultados do DataRam4.....	61
5.3.2 Resultados do Impactador de Andersen.....	62
5.4 Floresta Amazônica.....	63
5.4.1 Resultados do DataRam4.....	63
5.4.2 Resultados do Impactador de Andersen.....	66
6. CONCLUSÕES.....	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70

1. INTRODUÇÃO

A poluição do ar consiste na presença ou emissão de matéria e energia em quantidades que ultrapassem os padrões de qualidade estabelecidos pela legislação ambiental e que possam interferir negativamente no meio ambiente e na vida e bem estar de todos os seres vivos. Grande parte dos poluentes do ar provém principalmente da queima de combustíveis para fins de transporte, aquecimento e produção industrial. Devido a esses fatores, há uma crescente preocupação da sociedade com essa forma de poluição, principalmente com as emissões industriais para a atmosfera, pois durante a queima desses combustíveis são emitidas, além dos gases de combustão, partículas finas incombustas conhecidas como particulados. Essas partículas contribuem para o desencadeamento de uma série de doenças, pois quando sua concentração no ar aumenta, sérios problemas de saúde ao homem acabam ocorrendo, já que seu trato respiratório acaba sendo atingido e seriamente afetado.

Segundo HUSAR et al. (1999) apud ALVES et al. (2005) os primeiros estudos sobre os efeitos do material particulado na atmosfera foram realizados no final do século 19. Material Particulado são partículas muito pequenas suspensas no ar, na forma de líquidos ou sólidos. Seu diâmetro aerodinâmico, ou seja, diâmetro considerado como esfera perfeita, já que as partículas têm formato heterogêneo, é sempre menor que 100 μm . As partículas acima de 10 μm são conhecidas como poeiras e costumam ser depositadas próximas à sua fonte de emissão. As partículas com diâmetros menores que 10 μm , chamadas de PM₁₀ e também de "fumo" ou "fumaça", podem ser inaladas. Elas causam danos na saúde humana, sendo que os de diâmetro entre 10 e 2,5 μm podem atingir os brônquios e bronquíolos e partículas menores que 2,5 μm , conhecidas como PM_{2,5}, podem atingir os alvéolos pulmonares (CARMO et al., 2001 apud ARBEX et al., 2004).

Para que não haja efeitos nocivos à saúde é necessária a mínima emissão de poluentes à atmosfera, já que deixar de emití-los é impossível do ponto de vista produtivo. A forma de mensurar essa emissão é chamada de amostragem. Esse monitoramento é fundamental, uma vez que os seus resultados permitem um acompanhamento da qualidade do ar e a elaboração de diagnósticos que podem auxiliar os órgãos responsáveis em ações direcionadas ao controle das emissões. A amostragem consiste em determinar a concentração mássica, o tamanho e a composição das partículas através do monitoramento do ar ambiente

ou da emissão em tempo real. O monitoramento ambiental consiste em determinar as fugitivas, ou seja, as partículas que estão suspensas no ambiente, muitas vezes emitidas próximas do local onde se encontram. O monitoramento em tempo real consiste na amostragem do particulado diretamente no duto ou chaminé, ou seja, no exato momento em que é lançado na atmosfera.

Vários são os equipamentos utilizados para se amostrar material particulado. Neste trabalho dois deles foram utilizados: o DataRam4 (Modelo DR-4000) e o Impactador de Andersen, também conhecido como Impactador de cascata. Sendo que o primeiro é um equipamento capaz de realizar amostragem contínua de particulado e apresentar em função do tempo de coleta total, o diâmetro aerodinâmico médio, a concentração, a temperatura e a umidade relativa das partículas. Por sua vez, o Impactador de Andersen permite a amostragem do material particulado atmosférico seco e úmido, possibilitando uma análise gravimétrica com precisão.

Os padrões de qualidade do ar no país são definidos pela Resolução CONAMA 03/90, onde a concentração máxima de partículas inaláveis emitidas é de no máximo 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por um período de 24 horas, sendo que este valor não pode ser excedido mais de uma vez durante todo o ano. A CETESB (2007) considera que concentrações acima desse valor não são aceitáveis. Acima de 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ o nível de qualidade do ar é considerado péssimo.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo desse trabalho foi realizar a amostragem de material particulado em determinados ambientes externos, a fim de detectar a situação da qualidade do ar em cada local analisado. Serão avaliados os valores de concentração e diâmetro das partículas.

2.2 Objetivos Específicos

- Amostrar o material particulado em um pátio de indústria;
- Amostrar o material particulado em carvoarias;
- Amostrar o material particulado em uma área urbana de grande movimentação;
- Amostrar o material particulado em um incêndio florestal na Amazônia.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O objetivo desta revisão foi realizar um levantamento das características do material particulado emitido em centros urbanos, pátios de indústrias e até em incêndios florestais, e especificar os efeitos desse tipo de material e as normas vigentes relacionadas.

3.1 Material Particulado

Material particulado ou PM, do termo em inglês *particulate matter*, pode ser definido como poluente atmosférico que consiste em uma mistura de partículas sólidas, líquidas ou ambas, que estão suspensas na atmosfera e representam uma mistura complexa de compostos orgânicos e inorgânicos (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2005) ou qualquer substância, com exceção da água pura, que existe como sólido ou líquido na atmosfera e tem dimensões microscópicas (LORA, 2002). Também é conhecido como aerossol, termo criado por Schumauss em 1920, que designa as suspensões relativamente estáveis de partículas sólidas ou gotículas dispersas num gás com dimensões inferiores a 100 µm (ALVES, 2005). Este tipo de material é classificado de acordo com o tamanho da partícula, que é determinado a partir do seu diâmetro aerodinâmico.

3.1.1 Composição

O material particulado pode ser composto por carbono, hidrocarbonetos derivados do carvão, cinzas inorgânicas produzidas pela combustão de combustíveis sólidos, sulfato de amônio (pela conversão de dióxido de enxofre), emissões industriais de óxido de ferro (procedentes de siderúrgicas) ou poeira de cimento (pedreiras) (HOLLAND et al., 1979 apud DUCHIADE, 1992). Basicamente são compostos de um núcleo de carbono elementar, ao qual podem estar agregados gases, compostos orgânicos, sulfatos, nitratos e metais, dependendo da

fonte de emissão. Com a combustão de biomassa madeirável os particulados apresentam uma alta relação de carbono e hidrogênio, o que os torna conhecidos como *black carbon*.

3.1.2 Classificação

De acordo com a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB (2005), o material particulado pode ser classificado conforme sua dimensão:

- **Partículas totais em suspensão (PTS):** são as partículas com tamanho menor que 50 μm . Algumas delas são inaláveis podendo causar problemas à saúde e outras causam problemas ligadas ao ambiente onde estão suspensas, como baixa visibilidade.
- **Partículas inaláveis grossas (PM₁₀):** são classificadas genericamente como partículas com tamanho entre 10 e 2,5 μm . Comprometem a saúde da população exposta a elas, pois atingem a parte superior do sistema respiratório e ficam suspensas na atmosfera por algumas horas.
- **Partículas inaláveis finas (PM_{2,5}):** são as partículas com tamanho inferior a 2,5 μm . São geradas principalmente pela queima de combustível fóssil por veículos e pela queima de biomassa por indústrias. São consideradas muito prejudiciais à saúde, pois penetram na regiões mais profundas dos pulmões podendo alcançar a região dos alvéolos pulmonares. E, além disso, podem ficar suspensas no ar por dias ou até mesmo algumas semanas, fazendo com que sejam carregadas para regiões mais distantes.
- **Partículas inaláveis ultrafinas:** também conhecidas como nanopartículas, são abordadas de diferentes maneiras na literatura, podendo ser definidas como as partículas com tamanho menor que 0,3 μm ou com tamanho menor que 0,1 μm . Podem entrar no corpo humano através da pele, pulmão e trato gastrointestinal e podem penetrar nas células epiteliais e se acumular nos gânglios linfáticos (NEL et al, 2006 apud KUMAR et al., 2010).

A Figura 1 mostra a variação diametral dos particulados e a proporção da diferença das suas dimensões segundo DONALDSON (2001) apud ARBEX et al. (2004).

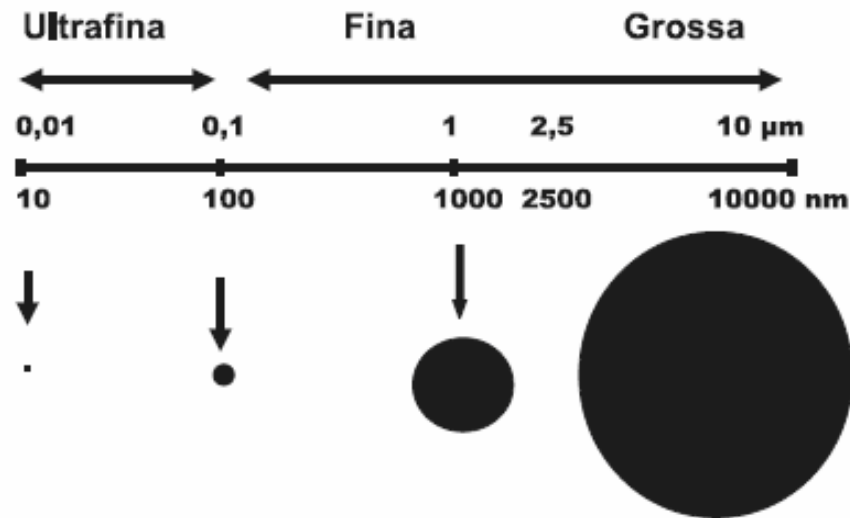


Figura 1. Classificação dos materiais particulados inaláveis. Fonte: DONALDSON (2001) apud ARBEX et al. (2004).

3.1.3 Fontes

Os materiais particulados podem ter origem natural e origem antropogênica.

Dentre as principais fontes naturais estão as poeiras do solo, que podem provir de desertos ou atividade agrícola, as emissões vulcânicas, responsáveis pelo lançamento de 15-90 toneladas por ano de particulados na atmosfera, as emissões marinhas, onde se estima um lançamento de cerca de 3.300 toneladas por ano de particulados na atmosfera e as partículas biogênicas, constituídos por componentes vegetais, matéria húmica e partículas microbianas (ALVES, 2005). Essas partículas provenientes de ambientes marinhos, florestas e oceanos têm, normalmente, concentração entre 2 e 3 vezes menor que a concentração de material particulado em áreas urbanas (KUMAR et al., 2010).

As principais fontes antropogênicas se encontram em ambientes urbanos. As partículas são emitidas para atmosfera por indústrias, através da queima de combustíveis em fornos e caldeiras de geração de energia, por veículos movidos a combustíveis como gasolina e diesel, e sistemas de aquecimento residenciais, não tão comuns no Brasil, entre outros.

Como o foco deste trabalho foi a mensuração da quantidade de material particulado em áreas urbanas, indústrias e incêndios florestais, a revisão foi feita especificamente para esses casos.

3.1.3.1 Áreas Urbanas

Segundo JOHANSSON et al. (2007) veículos movidos a combustíveis fósseis são a principal fonte antropogênica de partículas em áreas urbanas, chegando a cerca de 90%. Uma reportagem do Jornal da Band exibido no dia 30 de maio de 2011 afirmou que o valor da concentração das partículas em um corredor de tráfego é cerca de 3 vezes maior que a média da cidade. Para condições iguais de pilotagem e do veículo, os movidos a diesel contribuem com cerca de 1-10 vezes mais em termos de concentração em comparação com os veículos movidos a gasolina (KITTELSON et al., 2004). COLVILE et al. (2001) encontraram, em um estudo em Londres, que as emissões de PM₁₀ de veículos movidos a diesel é muito maior do que as de veículos a gasolina, sendo cerca de 67% e cerca de 11% do total de material particulado emitido, respectivamente. Esses valores confirmam outros estudos que indicam que fontes veiculares são responsáveis por até 77% do total em massa de PM₁₀ em ambientes urbanos (AQEG, 1999 apud KUMAR et al., 2010). Levando em conta a concentração desse material, esse tipo de fonte é responsável por até 86% do total presente na atmosfera (PEY et al., 2009). Os veículos de motor à diesel lançam na atmosfera partículas de tamanhos inferiores a 0,13 µm enquanto os veículos à gasolina lançam partículas inferiores a 0,60 µm (HARRIS e MARICQ, 2001).

Outra fonte importante na emissão de material particulado é a interação entre superfícies, ou seja, o atrito entre o solado de sapatos e o chão, por exemplo. Neste contexto, o atrito entre as superfícies de pneus e da estrada são responsáveis pela geração de cerca de 70% das partículas, em massa, principalmente na faixa de tamanho 2,5-10 µm (AQEG, 1999 apud KUMAR et al., 2010). Demolições e construções, aeroportos, fornos de padarias e pizzarias e lareiras residenciais são outros exemplos de fontes urbanas emissoras de partículas. Porém, esse tipo de fonte não é tão relevante, pois são problemas pontuais, em locais muito específicos, não afetando a situação urbana no geral (KUMAR et al., 2010). Nas estações do outono e inverno a emissão para a atmosfera se torna mais grave, pois neste período do ano são encontradas as maiores concentrações de partículas (GOMISCEK et al., 2004) com maiores diâmetros (WU et al., 2006).

3.1.3.2 Áreas Industriais

O desenvolvimento industrial tem originado em todo o globo um aumento crescente da emissão de poluentes atmosféricos. O material particulado é emitido pelas indústrias em decorrência das operações de estocagem, manuseio e transporte de matérias-primas e, principalmente, pela queima de combustíveis utilizados nas várias etapas do processo produtivo (BRASIL, 1990 apud JACOMINO et al., 2009). Segundo JACOMINO et al. (2009), em seu trabalho no município de Sete Lagoas – MG, o setor industrial que mais contribui com a emissão de material particulado na atmosfera é o setor siderúrgico, conforme é mostrado na Figura 2. Indiretamente, a produção de carvão vegetal, que alimenta o setor siderúrgico, contribui muito com a poluição, pois se aproveitam de 30 a 40 % da madeira na forma de produto final e o excedente é lançado na atmosfera na forma de material particulado e gases.

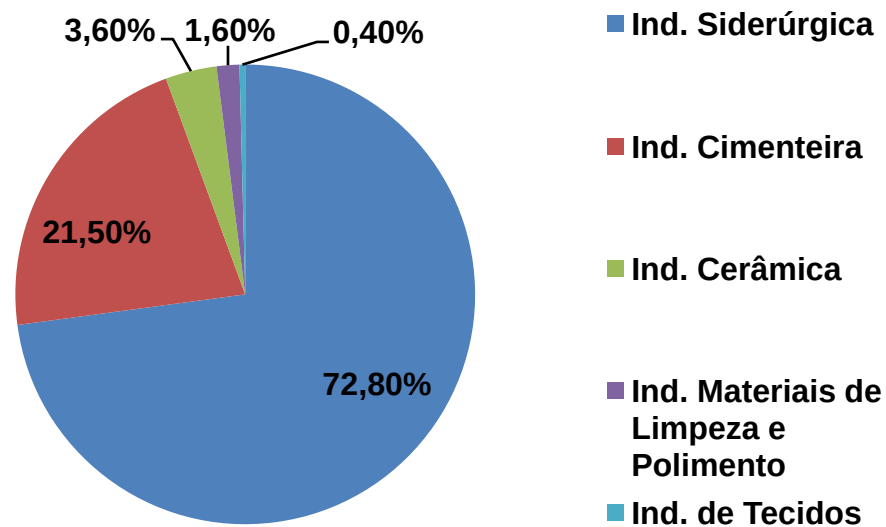


Figura 2. Setores industriais mais poluidores. Fonte: JACOMINO et al. (2009).

QUEIROZ et al. (2006) e JACOMINO et al. (2009) consideraram, a partir de análises da granulometria do material particulado, que o diâmetro aerodinâmico da maior parte do material emitido pelas empresas era menor que 10 μm .

3.1.3.3 Incêndios Florestais

É um processo de queima de biomassa, que pode ocorrer por razões naturais ou por iniciativa humana (Figura 3). Ela é dividida em três fases, a fase de ignição, a fase de chamas e a fase de incandescência, sendo a última a responsável pela emissão da maior concentração de material particulado (WARD et al., 1992 apud FREITAS et al., 2005). Os maiores responsáveis pela emissão de particulados através de incêndios são os países em desenvolvimento nos trópicos, pois que emitem aproximadamente 87% das emissões globais (ANDREAE, 1991).



Figura 3. Fumaça emitida em uma queimada.

No Brasil as queimadas ocorrem principalmente durante os meses de julho a outubro nas regiões Norte e Centro-Oeste. Esse período coincide com a estação seca e é exatamente nesta época do ano que a concentração de material particulado inalável apresenta valores máximos. A maior parte desses incêndios ocorre em áreas de Cerrado e Floresta Tropical (COUTINHO et al., 2002). Especificamente na floresta amazônica no estado brasileiro de Rondônia, os valores máximos de concentração de aerossol chegaram a 250.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ARTAXO et al., 2002), enquanto que em casos nos EUA o valor máximo chegou a 247.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 425.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para um incêndio na Floresta Nacional de Wenatchee no ano

de 2006 e para vários focos de incêndio no norte do estado da Califórnia, respectivamente (STRAND et al., 2010).

O tempo de permanência do material particulado emitido pelas queimadas na atmosfera pode chegar a uma semana (KAUFMAN, 1995). Essas partículas formam uma espessa camada de fumaça que pode cobrir regiões com concentrações tão altas que as comunidades expostas sofrem grave risco de efeitos deletérios à saúde (BARNE et al., 2008). Além disso, DAMOAH et al. (2004) e SAPKOTA et al. (2005) apud KUMAR et al. (2010) apontaram que a fumaça de grandes incêndios pode se locomover bastante, impactando negativamente a qualidade do ar através de fronteiras internacionais.

3.1.4 Efeitos

Os efeitos provocados pelo material particulado são danosos à saúde de seres humanos e animais, a vegetação e solo e alterações das propriedades da atmosfera (LORA, 2002). Ocorrem alterações na dinâmica de formação de nuvens (KAUFMAN, 1995), mudanças no espectro de gotas de nuvem (ANDREAE et al., 2004) e estabilização termodinâmica (LONGO et al., 2004), afetando o balanço de radiação e o ciclo hidrológico, pois o aumento da concentração de partículas de aerossol impõe a produção de gotas de nuvem menores e em maior número, provocando o resfriamento da atmosfera e diminuição da produção de chuva (FREITAS et al., 2005). Na vegetação os particulados agem como severos fitotóxicos, ou seja, penetram nas plantas através da respiração normal, o que provoca a destruição da clorofila e a interrupção da fotossíntese (LORA, 2002).

Os principais efeitos diretos provocados pela emissão de partículas são fatores estéticos e a saúde humana, e serão destacados nesta seção.

3.1.4.1 Efeitos na Saúde

OTT (1982) definiu a exposição humana como evento em que uma pessoa entra em contato com certa concentração de um poluente durante um determinado período de tempo. O ser humano exposto a tais condições está sujeito, além dos efeitos respiratórios, a

eventos cardiovasculares, tais como ataques e distúrbios do ritmo cardíaco (NEL et al., 2006) e (OBERDÖRSTER et al., 2005). O efeito nas doenças respiratórias se prolonga até quatro dias após a exposição ao material particulado, enquanto para doenças cardiovasculares o efeito ocorre apenas no mesmo dia. Para uma exposição em longo prazo, BRUGGE et al. (2007) constataram um aumento no risco dessas doenças cardiovasculares morte, além do fato de ocorrer uma diminuição de aproximadamente 1 ano e meio de vida.

De acordo com DONALDSON (2001) apud ARBEX et al. (2004) as partículas mais prejudiciais a saúde são as finas e ultrafinas, que constituem 94% do total na atmosfera, pois transpõem a barreira epitelial e atingem o interstício pulmonar. A Figura 4 mostra a penetração das partículas no organismo humano.

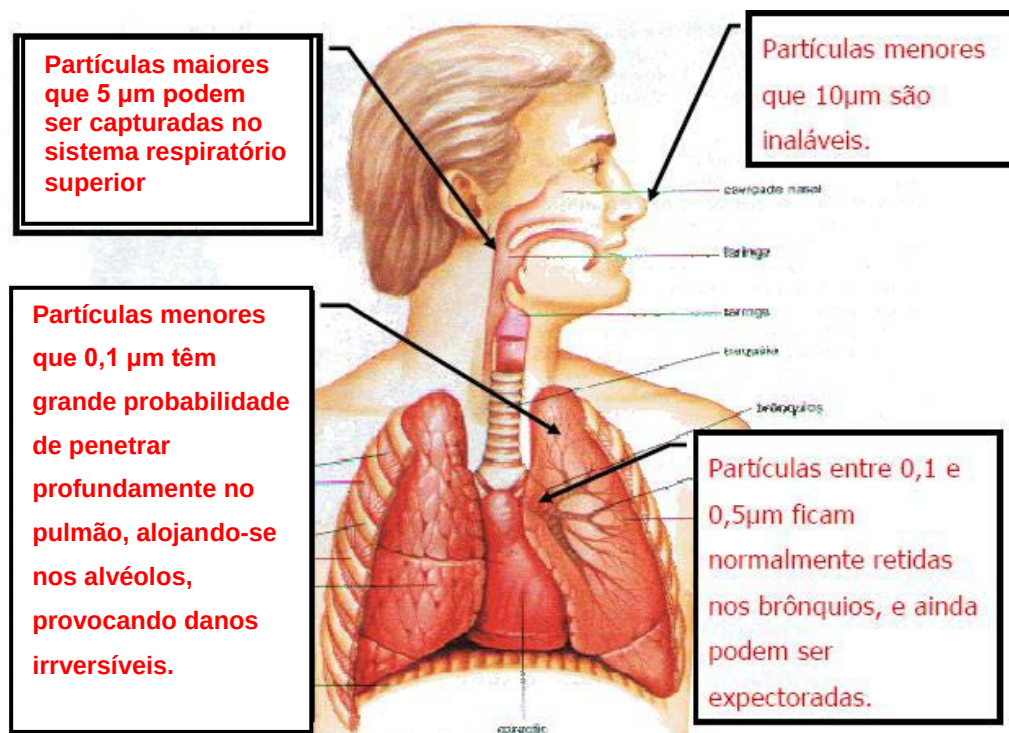


Figura 4. Penetração do material particulado no sistema respiratório do ser humano.

As partículas ultrafinas podem rapidamente passar pelo sistema de circulação sanguínea e se acumular nos pulmões, fígado e bexiga (NEMMAR et al., 2002). São as mais difíceis de ser removidas do organismo. Para partículas depositadas nas regiões alveolar, apenas cerca de 20% das partículas ultrafinas são removidas, enquanto que cerca de 80% de partículas acima de 0,5 µm podem ser extraídas (OBERDÖRSTER et al., 2006).

O material particulado é responsável por 800.000 mortes em todo o mundo, das quais 35.000 ocorrem na América Latina. A população mais suscetível aos efeitos desse tipo

de poluição são as crianças, os idosos e as pessoas com doenças cardiorrespiratórias prévias (MASCARENHAS et al., 2005). Alguns dos possíveis efeitos em crianças são retardo mental, déficit de atenção, hiperatividade e câncer (WOODRUFF et al., 2004). Já nos adultos, principalmente nos idosos, os efeitos podem ser aumento na mortalidade por doenças respiratórias e cardiovasculares, desencadeamento de crise asmática, diminuição da função pulmonar e infarto agudo do miocárdio (CASTRO et al., 2003).

BRAGA et. al. (2007) estudaram o aumento de atendimentos de emergência por doenças respiratórias e cardiovasculares devido a exposição ao material particulado produzido por uma mineradora na cidade de Itabira – MG. Em alguns dias houve picos de emissão de materiais particulados, acarretando em um aumento de até 4% no atendimento de doenças respiratórias em crianças com menos de 13 anos nos dois dias subsequentes. Já para os adolescentes com idades entre 14 e 19 anos este percentual pode chegar a até 12% nos três dias subsequentes ao aumento da emissão. Em um estudo no estado do Acre, MASCARENHAS et al. (2005) detectaram que em setembro de 2005 houve um aumento de 45% no número de hospitalizações por doenças respiratórias, em relação ao ano anterior, devido a grande concentração de fumaça proveniente das queimadas na região. Foram 2922 atendimentos, sendo 48% realizados em crianças (0 a 9 anos), 9% em adolescentes (10 a 19 anos), 36% em adultos (20 a 59 anos) e 8 % em idosos (a partir de 60 anos). Os sinais e sintomas incluíam tosse, febre, dispnéia, dor de garganta, dor torácica, sibilância, expectoração e coriza. No caso de hospitalizações em uma região produtora de carvão vegetal, DIAS et al. (2002) atestaram que entre os 7566 pacientes atendidos pelos postos de saúde no município do Vale do Jequitinhonha – MG no ano de 2001, 14,88% foram diagnosticados com acometimento de vias aéreas superiores.

3.1.4.2 Visibilidade

O acúmulo de partículas suspensas na atmosfera causa uma redução da visibilidade (HORVATH, 2008 apud KUMAR et al., 2010). A visibilidade é inversamente proporcional ao aumento da umidade relativa e da pressão atmosférica e proporcional ao aumento da temperatura e velocidade do vento (TSAI, 2005 apud KUMAR et al., 2010). A Figura 5 mostra um trecho movimentado de uma avenida na cidade de Sorocaba-SP que foi tomada pela fumaça proveniente de uma queimada em um terreno baldio.



Figura 5. Visibilidade em uma avenida na cidade de Sorocaba-SP que foi tomado pela fumaça.
Fonte: www.redebomdia.com.br

Dos constituintes do ar poluído, as partículas são as principais responsáveis pelo espalhamento e absorção de luz, chegando a 90% em áreas rurais e 99% em áreas urbanas (HORVATH, 1994 apud KUMAR et al., 2010), enquanto que os gases poluentes têm contribuição relativamente pequena (JACOBSON, 2005 apud KUMAR et al., 2010). As partículas de carbono podem contribuir para uma redução de 40-50% da visibilidade com a absorção de luz. Outras partículas (principalmente as que contêm sulfato, nitrato e carbono orgânico) podem reduzir a visibilidade em 60-95% (TANG et al., 1981 apud KUMAR et al., 2010).

Nas áreas urbanas a principal fonte são os veículos. As emissões de partículas dos veículos a diesel contribuem mais para a redução da visibilidade do que as emissões provenientes dos veículos a gasolina, pois absorvem mais luz do que dispersam (KITTELSON, 1998).

3.2 Padrões de Qualidade

O padrão de qualidade do ar é definido legalmente como um limite máximo para a concentração de um componente atmosférico que garanta a proteção da saúde e do bem estar das pessoas (DERISIO, 1992 apud LORA, 2002).

A primeira nação preocupada com a qualidade do seu ar foram os EUA, onde, na década de 70, a USEPA - Associação de Proteção Ambiental promulgou o primeiro Plano Nacional de Qualidade do Ar Ambiente, onde o limite de PM₁₀ era de 260 µg/m³ para 24 horas e 75 µg/m³ para a média anual. Atualmente os limites para emissão de partículas em um período de 24 horas e para a média anual são 150 µg/m³ e 50 µg/m³, respectivamente (KUMAR et al., 2010).

Na Europa esse processo de regulamentação foi mais tardio, ocorrendo apenas no final do século 20, mais precisamente no ano de 1999. Inicialmente os limites de concentração para PM₁₀ eram de 50 µg/m³ e 40 µg/m³ para 24 horas e a média anual, respectivamente. A meta é que para o ano de 2015 os limites sejam de 25 µg/m³ para ambos (KUMAR et al., 2010).

No Brasil os padrões foram estabelecidos pelo IBAMA - Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e aprovados pelo CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente e cada estado possui um órgão responsável pelo controle, fiscalização, monitoramento e licenciamento das atividades geradoras de poluição, sendo a CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental o órgão responsável no estado de São Paulo. As normas brasileiras foram baseadas nas normas americanas regulamentadas pela USEPA, onde a resolução nº 3 da CONAMA de 28/06/90 estabelece um limite diário de 150 µg/m³ para PM₁₀ (CETESB, 2006). O estado de São Paulo pretende, no futuro, adotar o limite de 50 µg/m³ sugerido pela OMS – Organização Mundial de Saúde o qual leva em conta a fração de PM_{2,5}.

A Tabela 1 mostra os padrões de qualidade do ar com relação ao material particulado. O padrão primário, aplicado à ambientes urbanos, corresponde ao limite máximo tolerável à saúde da população e o padrão secundário relaciona-se ao mínimo de efeito adverso a todo o meio ambiente.

Tabela 1. Padrões nacionais de qualidade do ar para partículas.
Fonte: Resolução CONAMA nº 03 de 28/06/90)

Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão Primário (µg/m³)	Padrão Secundário (µg/m³)
Partículas Totais em Suspensão	24 horas	240	150
	Média geométrica anual	80	60
Partículas Inaláveis	24 horas	150	150
	Média aritmética anual	50	50

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Equipamentos

Foram utilizados dois equipamentos amostradores de material particulado. O DataRam4 (modelo DR-4000) e o Impactador de Andersen, ambos desenvolvidos pela THERMO SCIENTIFIC.

4.1.1 DataRam4 – Modelo DR-4000

O DataRam4 (Figura 6) é um equipamento certificado pela FCC – *Federal Communications Commission* e pela CE – Comunidade Européia. Ele é capaz de realizar amostragem contínua de particulado e apresentar em função do tempo de coleta total, o diâmetro aerodinâmico médio das partículas e a concentração mássica, em μm e $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Os diâmetros amostrados variam de 0 a 4 μm e as concentrações variam de 0 a 400000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Além disso, com o DataRam4 é possível avaliar a temperatura e a umidade relativa do fluxo gasoso em tempo real durante as análises.



Figura 6. DataRam4 - Modelo DR-4000.

O sistema trabalha com amostragem de ar ativa, sendo que os feixes de luz, duas fontes de iluminação com pico de 660 nm e outro a 800 nm, funcionam alternadamente com pulso de 27 segundos de frequência, são emitidos de forma simétrica e em mesmo ângulo. A leitura do diâmetro das partículas acontece através de uma relação diretamente proporcional à quantidade de luz emitida pelo sistema e refletida para um dispersor comum, situado a 60° ($\pm 18^\circ\text{C}$) do receptor direto dos sinais emitidos. Já a concentração, é calculada pelo volume de amostras coletadas considerando uma densidade de $2,6 \text{ g/cm}^3$, padrão do equipamento e valor próximo a maioria dos particulados amostrados. A Figura 7 ilustra a configuração do sistema sensível ótico do DataRam4.

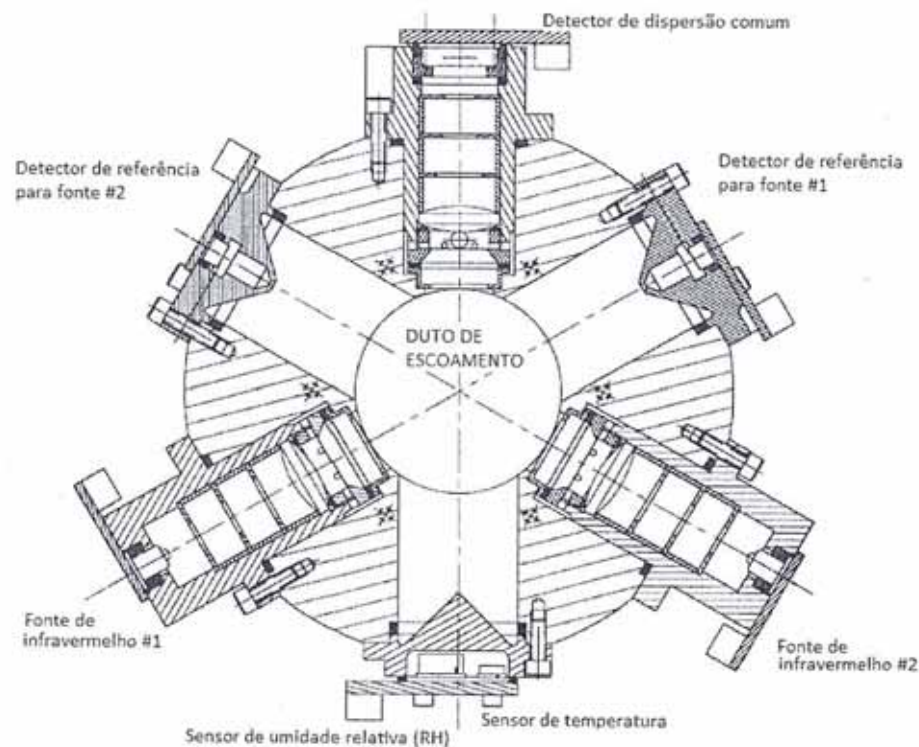


Figura 7. Esquema ótico do equipamento. Fonte: Manual do equipamento.

O DataRam4 pode ser utilizado com vários acessórios, incluindo uma sonda isocinética (Figura 8a) que possibilita a coleta em chaminés, um diluidor de partículas que pode diminuir a temperatura de coleta (Figura 8b); seletor de partículas de PM₁₀, PM_{2,5} e PM_{1,0} (Figura 8c), aquecedor para diminuir a umidade de partículas (Figura 8d) e uma entrada de amostragem omnidirecional (Figura 8e) para amostragens em ambientes externos. Nesse caso, a sonda isocinética não será utilizada.

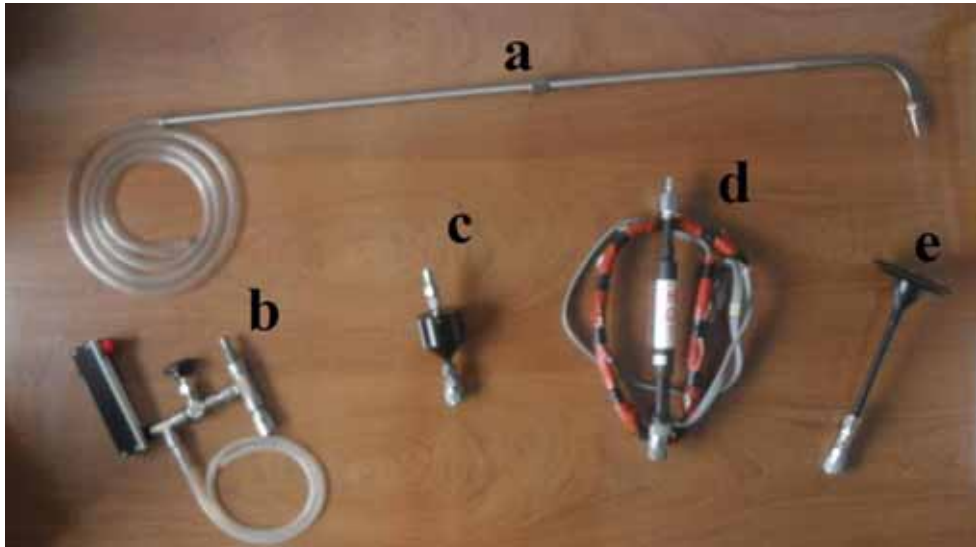


Figura 8. Acessórios do DataRam4. **(a)** Sonda Isocinética, **(b)** Diluidor de Partículas, **(c)** Seletor de Partículas, **(d)** Aquecedor e **(e)** Entrada de Amostragem Omnidirecional.

4.1.2 Impactador de Andersen

O Impactador de Andersen (Figura 9), também conhecido como impactador de cascata, permite a amostragem do material particulado atmosférico numa vazão de sucção de 28,3 L/min, proporcionada pela bomba de sucção. É um amostrador multi-estágios e multi-orifícios projetado para medir a distribuição de tamanhos, que varia entre 0,0 a 10,0 μm e os níveis de concentração mássica de partículas. Este equipamento permite a coleta de partículas secas e úmidas, possibilitando uma análise gravimétrica com precisão.



Figura 9. Impactador de Cascata de Oito Estágios Andersen.

Os Impactadores em Cascata Andersen são constituídos de estágios de classificação consistindo em uma série de boquilhas e superfícies de impacto. São 8 estágios de coleta, numerados como 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 e um estágio de retenção, nomeado como F. O estágio 0 é uma fase de orifício único. O estágio F contém o prato de coleta para a fase 7 e o filtro de retenção. Cada etapa contém um anel de vedação. Em cada estágio, uma corrente de partículas passa através da boqueira e vai de encontro à superfície. Quanto maior a velocidade das partículas nas boqueiras, menor o diâmetro coletado em cada estágio. A Figura 10 mostra o esquema de impactação das partículas.

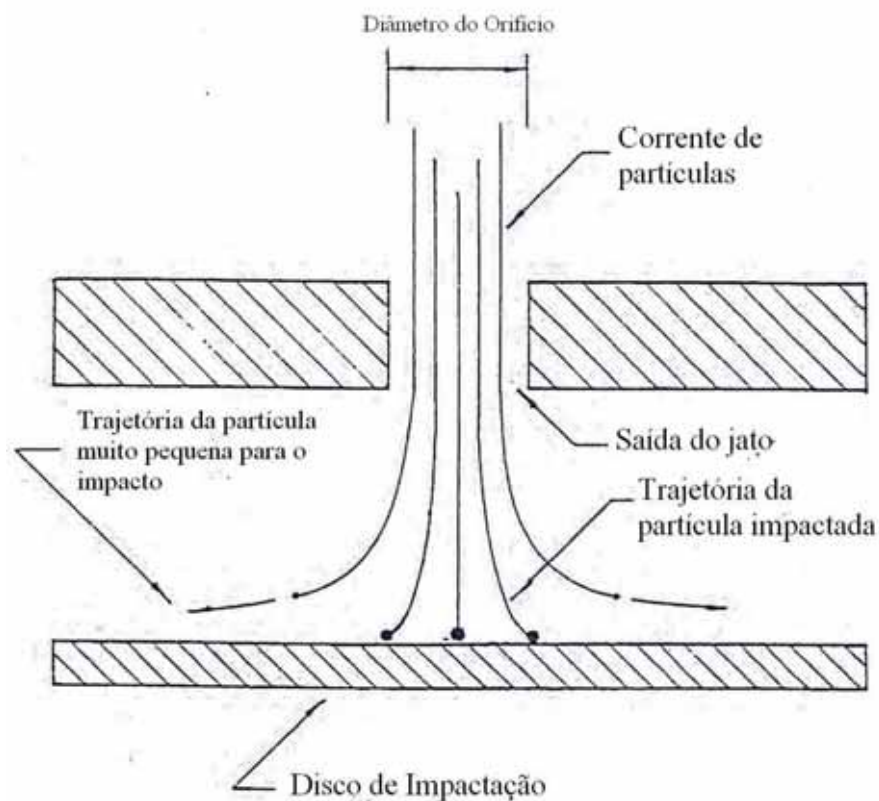


Figura 10. Esquema de impactação em cada estágio. Fonte: Manual do equipamento.

A faixa de tamanho de partículas coletadas em cada uma das oito etapas depende da velocidade em cada estágio e a distância entre os orifícios e as superfícies de coleta. A combinação de uma taxa de fluxo constante e orifícios de diâmetro sucessivamente menor aumenta a velocidade do ar, tal como faz o efeito de cascatas do amostrador, resultando na impactação de partículas cada vez menores em etapas sucessivas. Cada estágio é responsável por captar uma faixa de tamanho das partículas, de acordo com o número e dimensão de orifícios. Os dados de cada estágio podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2. Características de cada estágio do Impactador de Andersen.

Estágio	Faixa de tamanho (μm)	n° de orifícios	Diâmetro dos orifícios (μm)
0	9,0 - 10,0	96	2550
1	5,8 - 9,0	96	1887
2	4,7 - 5,8	400	914
3	3,3 - 4,7	400	711
4	2,1 - 3,3	400	533
5	1,1 - 2,1	400	342
6	0,7 - 1,1	400	254
7	0,4 - 0,7	201	254
F	< 0,4	-	-

4.2 Amostragens

A amostragem de material particulado em ambientes externos deve ser executada com alguns cuidados. A entrada de amostragem deve estar longe e acima de quaisquer obstruções que possam afetar a sua representatividade. O equipamento amostrador deve estar cerca de 1m ou mais acima da superfície onde é realizado o monitoramento. Deve-se também evitar climas chuvosos ou úmidos, pois partículas com umidade maior que 65% podem ter seu diâmetro aumentado devido às gotículas de água. Essa variação de tamanho também ocorre de lugar para lugar e com o tempo, principalmente para a fração de PM_{2,5}.

Neste trabalho o monitoramento ocorreu em quatro áreas. No pátio de uma indústria, no pátio de uma carvoaria convencional, em uma área urbana de grande movimentação e em um incêndio florestal na Amazônia. Em nenhuma situação o processo de amostragem de partículas interferiu no trabalho ou na rotina dos locais estudados.

4.2.1 Indústria

A indústria escolhida para realizar o monitoramento está situada na região de Itapeva-SP. Seus principais produtos são as ligas de ferro manganês alto carbono (FeMnAC) e ferro silício manganês (FeSiMn), usados na produção de aço. Porém, também produz carvão vegetal e “briquetes” com sobras do processo para uso interno ou reaproveitamento.

As amostragens foram realizadas em 4 setores da fábrica. No setor da matéria prima (1), em um dos fornos (2), na carvoaria automatizada (3) e no pátio (4). A Figura 11 mostra a localização desses setores dentro da fábrica.



Figura 11. Locais de amostragem no interior da fábrica. Fonte: Google Earth.

4.2.1.1 Setor da matéria prima

Neste setor há o armazenamento e o controle da matéria prima para as ligas e de alguns reagentes. São utilizados o minério de manganês, o minério de silício (quartzo) e o

minério de ferro (hematita) como matéria prima para a produção das ligas. Os reagentes são carvão mineral e carvão vegetal, que atuam como redutores, e o calcário dolomítico, que atua como material fundente. A área possui movimentação média de maquinários e há muito desprendimento de poeiras e partículas do material trabalhado e do solo. A Figura 12 mostra uma visão geral da área.



Figura 12. Visão geral do setor de matéria prima da empresa.

O equipamento foi colocado bem no telhado do barracão onde a matéria prima é armazenada. A amostragem foi realizada com uma vazão de 2 L/min, durou 6 horas e os dados foram armazenados a cada 15 segundos.

4.2.1.2 Forno

As matérias primas e os reagentes são colocados no interior do forno para que a liga seja formada através de reações químicas somadas a um intenso calor. O local é restrito, onde não há grandes movimentações. A Figura 13 mostra uma visão geral da área.



Figura 13. Vista do forno onde foi realizada a amostragem.

A empresa possui 5 fornos, e o equipamento foi alocado no Forno 3 próximo a chamada cúpula, onde há a queima de madeira para a geração de calor para o processo. A amostragem foi realizada com uma vazão de 2 L/min, durou 6 horas e os dados foram armazenados a cada 15 segundos.

4.2.1.3 Carvoaria “Bicarbrás”

A carvoaria automatizada entrou em funcionamento recentemente, portanto não opera com 100% de eficiência. Aqui há a produção de carvão mais acelerada que em uma carvoaria convencional, pois a madeira é seca antes de sua carbonização e o processo todo é melhor controlado se comparado a métodos convencionais de produção de carvão. O processo tem a duração de 2 a 3 dias no total. A Figura 14 mostra uma visão geral da área.



Figura 14. Vista geral da carvoaria “Bicarbrás”.

O equipamento foi colocado bem no centro da carvoaria e ficou a cerca de 1 metro do chão. A amostragem foi realizada com uma vazão de 2 L/min, durou 6 horas e os dados foram armazenados a cada 15 segundos.

4.2.1.4 Pátio de ligas

Neste local as ligas que saem dos fornos são armazenadas e preparadas. Os minérios são quebrados manualmente por colaboradores e depois reduzidos ainda mais por britadores mecânicos, para que fiquem nas dimensões desejadas pelos clientes. É um local de movimentação excessiva de caminhões, escavadeiras e trabalhadores, além de ser uma área toda de terra. A Figura 15 mostra uma visão geral da área.



Figura 15. Visão geral do pátio de ligas.

O equipamento foi colocado no teto do britador do local. A amostragem foi realizada com uma vazão de 2 L/min, durou 6 horas e os dados foram armazenados a cada 15 segundos.

4.2.2 Carvoaria Convencional

A carvoaria escolhida para realizar o monitoramento pertence à mesma indústria produtora de ferro ligas. Ela está situada em uma fazenda na região de Itapeva-SP e produz o carvão a ser utilizado como redutor nos fornos de produção das ligas. São 91 fornos ativos que produzem, em média, 4,5 toneladas de carvão cada um. O processo dura, no total, cerca de 7 dias, podendo ser acelerado de acordo com a necessidade. Primeiro ocorre o enchimento dos fornos com a madeira e, em seguida, a sua carbonização. Esse período dura 3 dias. Após a carbonização, com o forno já fechado por completo, acontece o resfriamento, que dura mais 4 dias. Logo após esse período o carvão é retirado do forno. A Figura 16 mostra a carvoaria em operação.



Figura 16. Carvoaria em operação.

O DataRam4 foi alocado em 4 pontos dentro da carvoaria a cerca de 2 metros de altura em relação ao solo. As amostragens duraram em média 6 horas por dia. Para uma amostragem mais representativa, foi realizada uma espécie de rodízio, onde o equipamento ficou 1 hora e 30 minutos em cada ponto. E a cada dia o ponto inicial de amostragem era o subsequente ao dia anterior. Dessa maneira, o equipamento amostrou as partículas emitidas em cada ponto de amostragem em todos os períodos do dia. A Tabela 3 mostra o rodízio do equipamento pela carvoaria. O Impactador de cascata não foi utilizado nesse local devido ao fato de não haver energia elétrica disponível. A Figura 17 mostra a planta da carvoaria e os pontos de amostragem.

Tabela 3. Horário de amostragem para cada ponto.

	Dia 1				Dia 2				Dia 3			
	9:00 a 10:30	10:35 a 12:05	12:10 a 13:40	13:45 a 15:15	9:00 a 10:30	10:35 a 12:05	12:10 a 13:40	13:45 a 15:15	9:00 a 10:30	10:35 a 12:05	12:10 a 13:40	13:45 a 15:15
Ponto 1	X					X					X	
Ponto 2		X					X					X
Ponto 3			X					X	X			
Ponto 4				X	X					X		



Figura 17. Locais de amostragem na carvoaria convencional. Fonte: Google Earth.

A amostragem nesse local ocorreu entre os dias 6 e 8 de abril de 2011. Os locais onde o equipamento foi posicionado abrangem a região dos fornos que estavam em processo de carbonização na época da amostragem. O DataRam4 amostrou os particulados a uma vazão de 2 L/min e a aquisição dos dados ocorreu em um intervalo de 15 segundos. Junto ao equipamento foi utilizada a entrada de amostragem omnidirecional (Figura 18).



Figura 18. DataRam4 durante a amostragem.

4.2.3 Área Urbana

O local escolhido para realizar amostragem de material particulado foi um ponto na região central da cidade de Itapeva-SP, mais precisamente no início do calçadão Dr. Pinheiro. Este local está situado na latitude 23°58'58,14"S e longitude 48°52'34,11"W. O motivo dessa escolha foi o fato de ser um dos locais mais movimentados da cidade, sendo que há um grande fluxo de pessoas e automóveis (Figura 19). Segundo o censo do IBGE de 2009, no município existem 31122 veículos regularizados, sendo 26381 movidos a gasolina e álcool (entre automóveis e motos) e 4741 movidos a diesel (entre caminhões, maquinários e ônibus).



Figura 19. Visão geral do local escolhido para realização das amostragens no centro urbano.

Os equipamentos foram alocados no telhado de um estabelecimento comercial e realizaram amostragens com duração média de 7 horas em 4 dias durante a semana e com duração de 2 horas em um sábado. Esses eventos ocorreram no período de 28/02/11 à 05/03/11, onde a velocidade do vento variou entre 1 e 3 m/s. O DataRam4 amostrou os particulados a uma vazão de 2 L/min e a aquisição dos dados ocorreu em um intervalo de 15 segundos. Junto ao equipamento foi utilizada a entrada de amostragem omnidirecional. Já o impactador de Andersen, amostrou os particulados a uma vazão de 28,3 L/min. Foram utilizados dois conjuntos de filtros de fibra de vidro, para haver o tempo de secagem

necessário entre os dias de amostragem. O primeiro conjunto foi utilizado nos dias ímpares e o segundo nos dias pares. Esses filtros foram devidamente secos em estufa e pesados antes e depois das amostragens. Os equipamentos podem ser vistos na Figura 20.



Figura 20. Equipamentos alocados em um telhado comercial no centro de Itapeva-SP.

4.2.4 Floresta Amazônica

O local escolhido para a queimada foi uma área rural particular no município de Cruzeiro do Sul-AC. A propriedade está localizada a aproximadamente 80 km da cidade de Cruzeiro do Sul, na margem direita da rodovia federal BR-364, sentido Cruzeiro do Sul – Tarauacá, a cerca de 200 m de altitude. A área foi selecionada mediante visitas ao campo, observando-se os critérios de relevo plano, solo não inundável (terra alta), e com presença de floresta primária. Os proprietários foram informados sobre os detalhes da pesquisa e concordaram em se tornar parceiros pela assinatura de um termo de consentimento de uso de parte de sua área durante o período de realização da pesquisa. A área tinha 4 hectares e sua mata foi previamente derrubada para que estivesse seca na data do experimento (Figura 21).



Figura 21. Área escolhida para queimada experimental.

A queimada ocorreu no dia 09/09/10. O fogo se iniciou por volta das 15 horas (horário local). A fase de ignição e a fase de chamas tiveram duração de pouco menos de 1 hora e a fase de incandescência durou dias. Os equipamentos amostraram os particulados por cerca de 3 horas, ou seja, as duas primeiras fases completas e parte da ultima fase. O DataRam4 amostrou os particulados a uma vazão de 2 L/min e a aquisição dos dados ocorreu em um intervalo de 10 segundos. Junto ao equipamento foram utilizados o seletor de partículas PM_{2,5} e a entrada de amostragem omnidirecional. Já o impactador de Andersen, amostrou os particulados a uma vazão de 28,3 L/min. Nele foram utilizados filtros de fibra de vidro previamente secos em estufa por um período de 24 horas. Esses filtros foram pesados antes das amostragens. Ambos os equipamentos foram alocados em uma torre a uma altura de 13 metros. A Figura 22 mostra os equipamentos na torre durante a queimada.



Figura 22. Equipamentos alocados a 13 metros de altura durante a queimada.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos serão apresentados para cada local analisado. O DataRam4 foi utilizado em todos os lugares onde foram realizadas as amostragens e o Impactador de Andersen foi utilizado apenas na área urbana e no incêndio florestal.

5.1 Indústria

A maior parte das partículas são emitidas pelos fornos diretamente e por suas chaminés. Também há muito material particulado que se desprende da matéria prima e de outros materiais, como o carvão. Outro tipo de particulado encontrado são as poeiras, pois em todos os locais onde foram realizadas as amostragens há a passagem de carros, caminhões ou outros tipos de máquinas. Além disso, grande parte das vias de acesso é de terra. Com isso, há, em alguns casos, a dificuldade de respiração e da visibilidade.

Os resultados obtidos foram divididos para cada dia de amostragem.

5.1.1 Setor da matéria prima

Neste setor da empresa as partículas provêm do desprendimento direto da matéria prima e da movimentação dos veículos. Os valores de concentração durante o período de amostragem são mostrados na Figura 23.

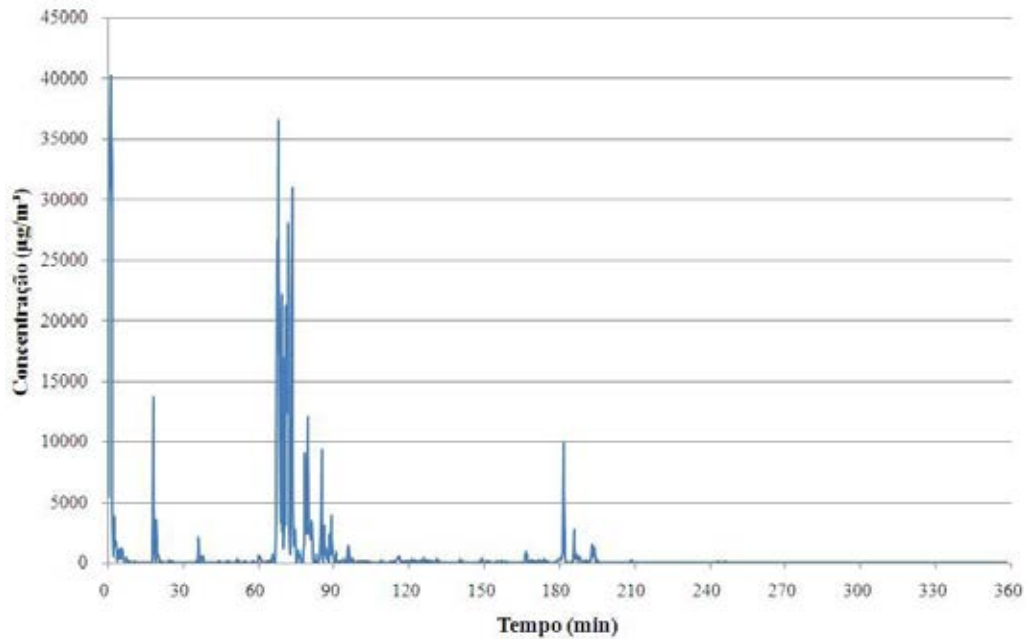


Figura 23. Concentração de material particulado amostrado no setor da matéria prima.

Foram encontrados valores de concentração altos, porém, em 70% do tempo total de amostragem a faixa de concentração de maior ocorrência foi de 0 a 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. O valor máximo atingido foi de aproximadamente 40.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Notou-se que os picos foram atingidos nos processos de carregamento e descarregamento de material e nos períodos de grande movimentação no setor. A média emitida durante a amostragem foi de 596 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, porém, notou-se que não houve um padrão ou constância na emissão, o que torna esse valor não tão significativo.

A Figura 24 mostra a variação do diâmetro das partículas pelo tempo de amostragem neste setor.

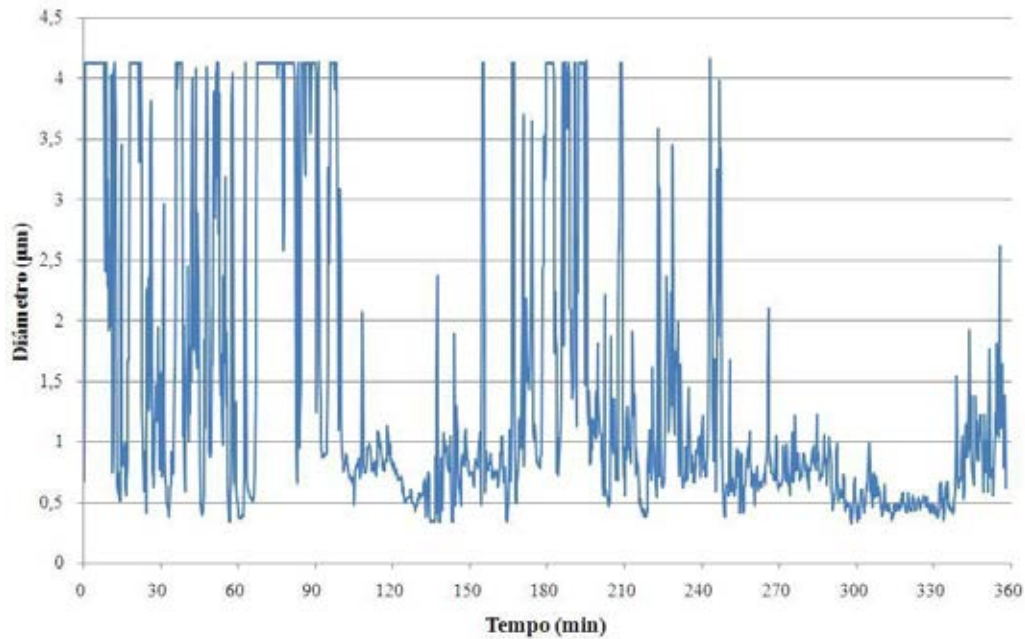


Figura 24. Variação diametral do material particulado amostrado no setor da matéria prima.

Foram amostradas partículas de diversos tamanhos, e essa variação se dá pela poeira no local. O diâmetro médio encontrado foi de $1,46 \mu\text{m}$ e o diâmetro mínimo foi de $0,32 \mu\text{m}$. A maior ocorrência se deu na faixa de $0,4$ a $0,9 \mu\text{m}$, correspondendo a cerca de 50% de frequência durante toda a amostragem.

A Figura 25 mostra a relação entre a concentração de particulados emitida durante a amostragem e a variação de diâmetro.

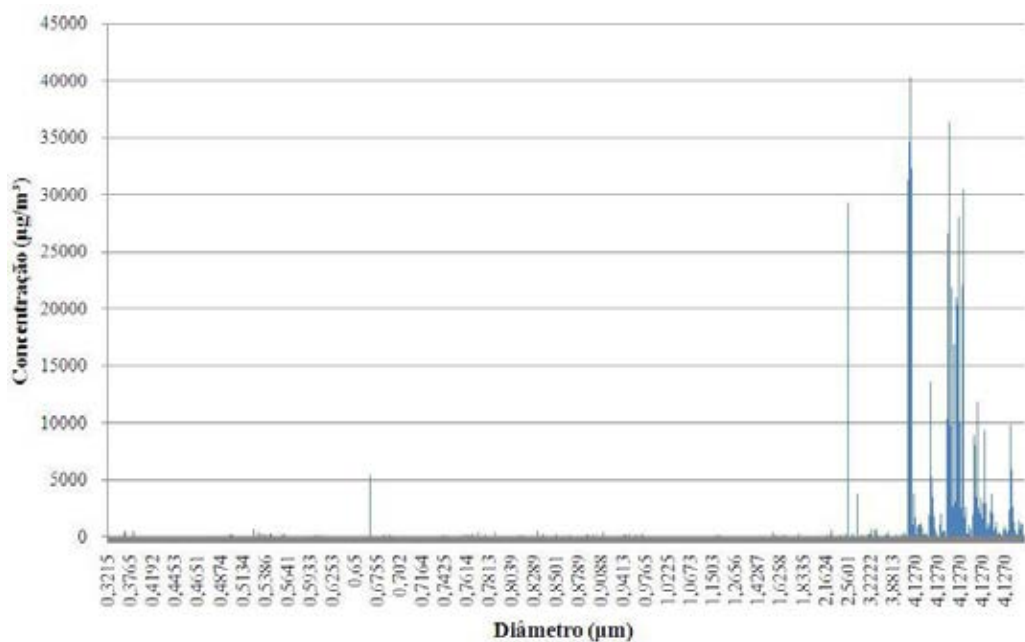


Figura 25. Concentração de material particulado em relação à variação de diâmetro das partículas.

Com a Figura 25 foi possível observar que para as maiores concentrações foram emitidas as maiores partículas, que apesar de serem prejudiciais a saúde, o mal que provocam é de menor intensidade se comparado ao das partículas ultrafinas.

5.1.2 Forno

Este é um setor mais restrito da empresa, então não há muita movimentação ou interferência humana. As partículas provem diretamente do processo de queima dos combustíveis. Os valores de concentração durante o período de amostragem são mostrados na Figura 26.

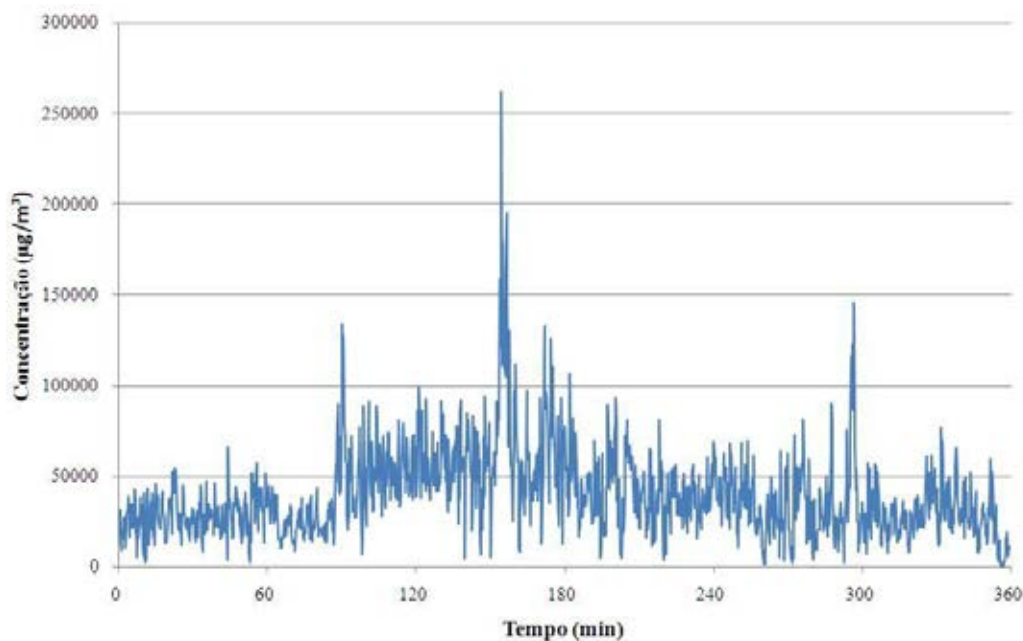


Figura 26. Concentração de material particulado amostrado no forno.

Todos os valores de concentrações encontrados estiveram acima do limite de emissão. O valor mais baixo atingido foi de 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e o valor máximo foi de 260000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. A média emitida durante a amostragem foi de 39.442 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e a faixa de concentração de 20.000 a 50.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ foi a que teve maior ocorrência, pois teve uma frequência de cerca de 40% do tempo total de amostragem. Neste local também não houve uma emissão constante.

A Figura 27 mostra a variação do diâmetro das partículas pelo tempo de amostragem neste setor.

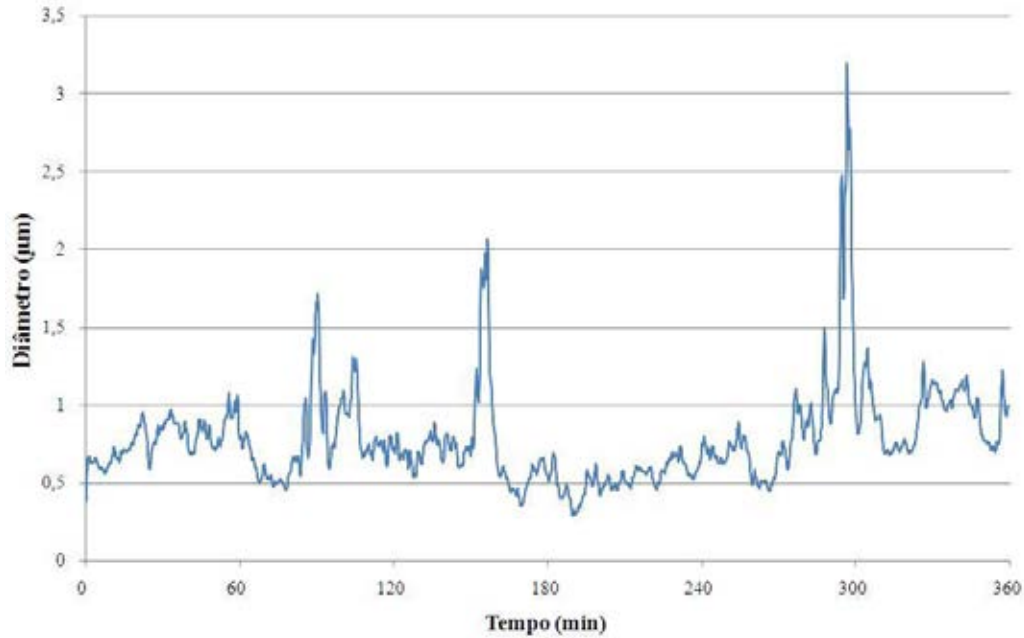


Figura 27. Variação diametral do material particulado amostrado no forno.

Foram amostradas partículas mais homogêneas, havendo apenas alguns picos. O diâmetro médio encontrado foi de $0,77\ \mu\text{m}$ e o diâmetro mínimo foi de $0,29\ \mu\text{m}$. A maior ocorrência se deu na faixa de $0,5$ a $0,8\ \mu\text{m}$, correspondendo a cerca de 55% de frequência durante toda a amostragem.

A Figura 28 mostra a relação entre a concentração de particulados emitida durante a amostragem e a variação de diâmetro.

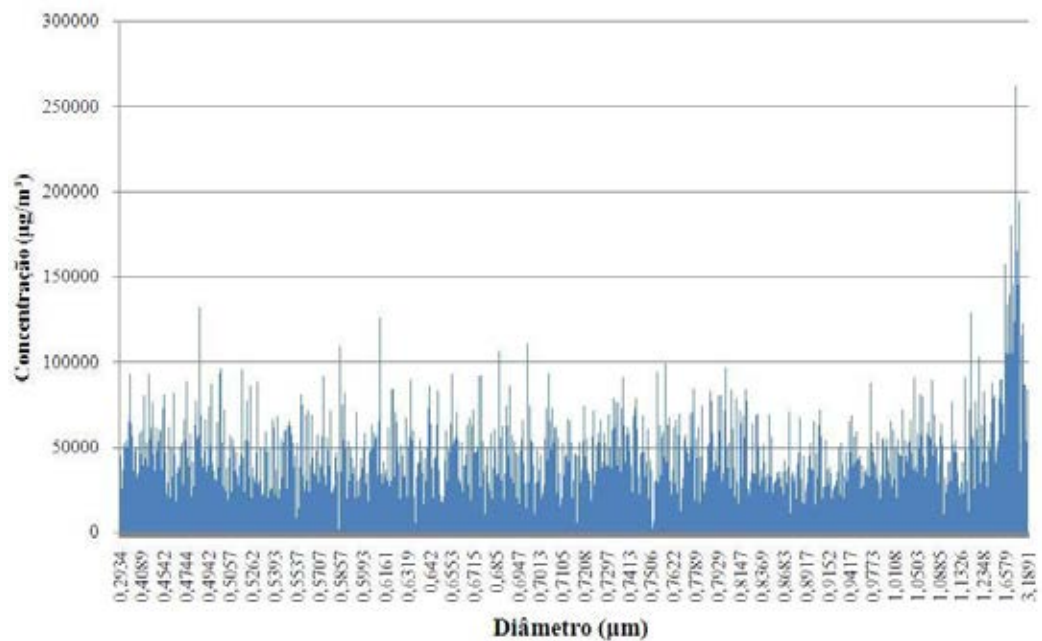


Figura 28. Concentração de material particulado em relação à variação de diâmetro das partículas amostradas.

Neste caso não houve uma diferença considerável na concentração das partículas emitidas na faixa entre 0,29 e 1,65 μm , onde a concentração foi a média emitida. Para as partículas maiores que 1,65 μm até o máximo encontrado, que foi de 3,19 μm , as concentrações emitidas foram maiores.

5.1.3 Carvoaria “Bicarbrás”

Neste setor da empresa as partículas provem do desprendimento direto da matéria prima e da movimentação dos veículos. Os valores de concentração durante o período de amostragem são mostrados na Figura 29.

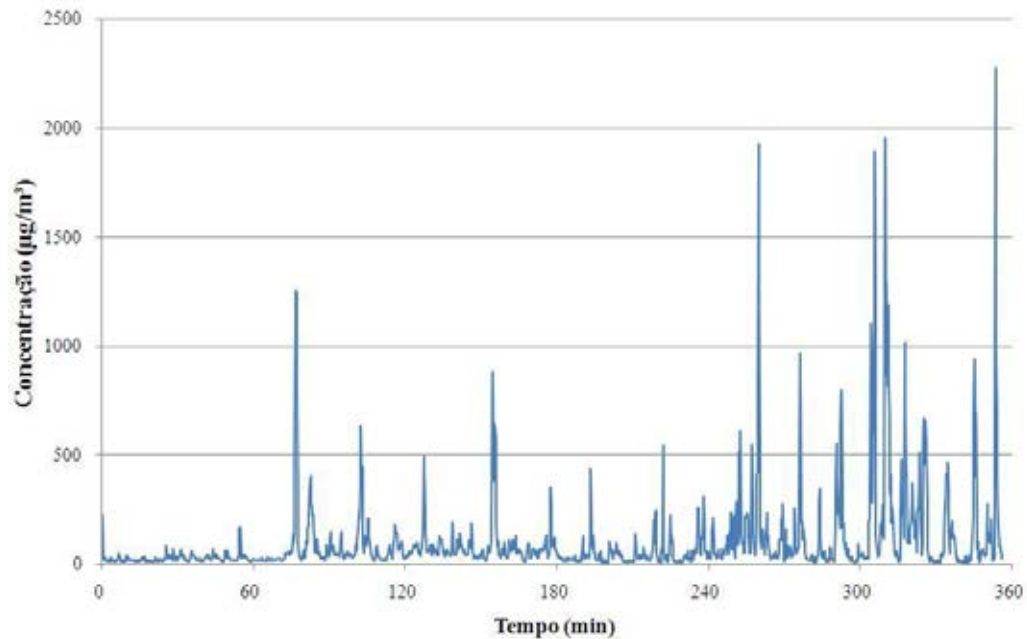


Figura 29. Concentração de material particulado amostrado na carvoaria “Bicarbrás”.

Apesar de haver vários picos de concentração esse local teve uma constância na emissão do particulado, onde a média de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ está dentro do intervalo de confiança, diferindo assim do limite permitido por norma. Os picos se devem a movimentação nos arredores. O valor máximo encontrado foi de $2.273 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

A Figura 30 mostra a variação do diâmetro das partículas pelo tempo de amostragem neste setor.

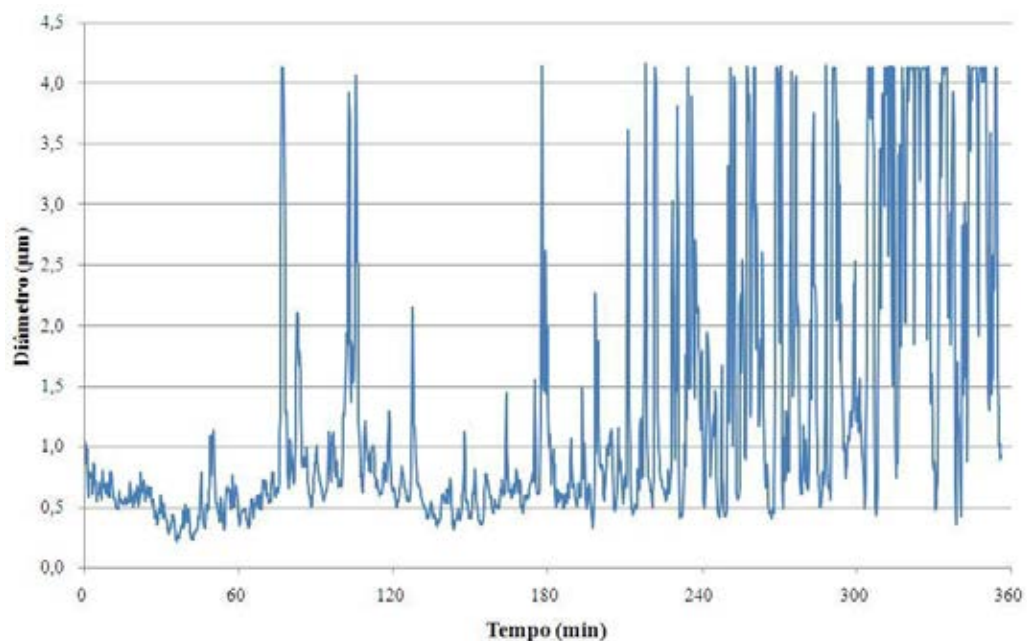


Figura 30. Variação diametral do material particulado amostrado na carvoaria “Bicarbrás”.

As partículas nesse local tiveram muita variação. O diâmetro máximo encontrado foi de 4,13 μm e o diâmetro mínimo foi de 0,22 μm . Durante o período de amostragem a média do tamanho das partículas foi de 1,29 μm . A maior ocorrência se deu na faixa de 0,5 a 0,7 μm , correspondendo a cerca de 30% de frequência durante toda a amostragem.

A Figura 31 mostra a relação entre a concentração de particulados emitida durante o período de amostragem e a variação de diâmetro.

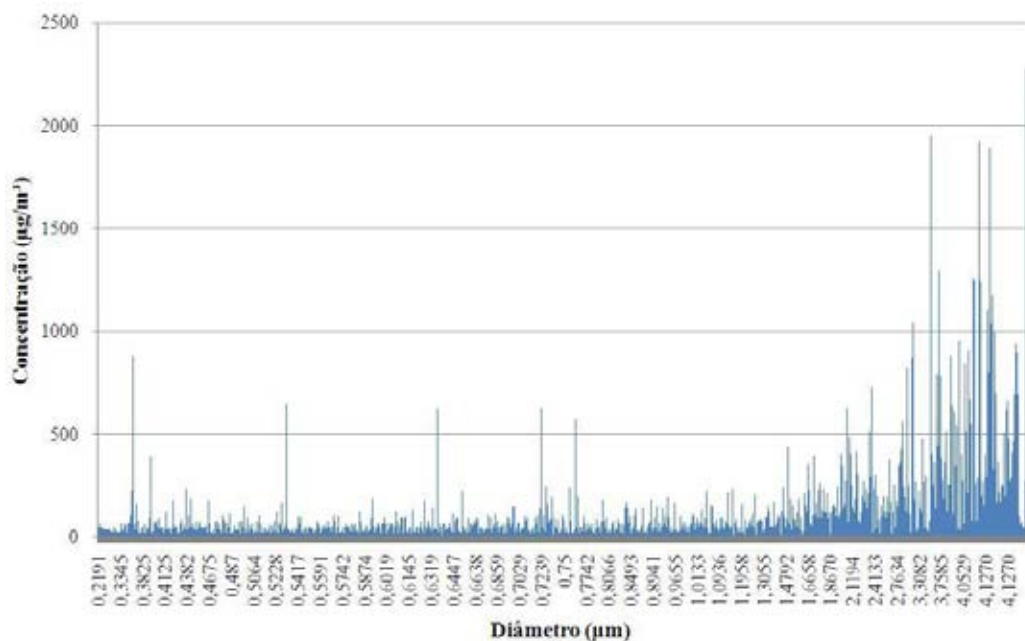


Figura 31. Concentração de material particulado em relação à variação de diâmetro das partículas amostradas.

As maiores concentrações encontradas correspondem aos maiores diâmetros de partículas. Para partículas com diâmetros a partir de 2 μm há um aumento na concentração de material particulado no ar.

5.1.4 Pátio de Ligas

Neste setor da empresa há muita poeira devido à grande movimentação de maquinário e matéria prima. Os valores de concentração durante o período de amostragem são mostrados na Figura 32.

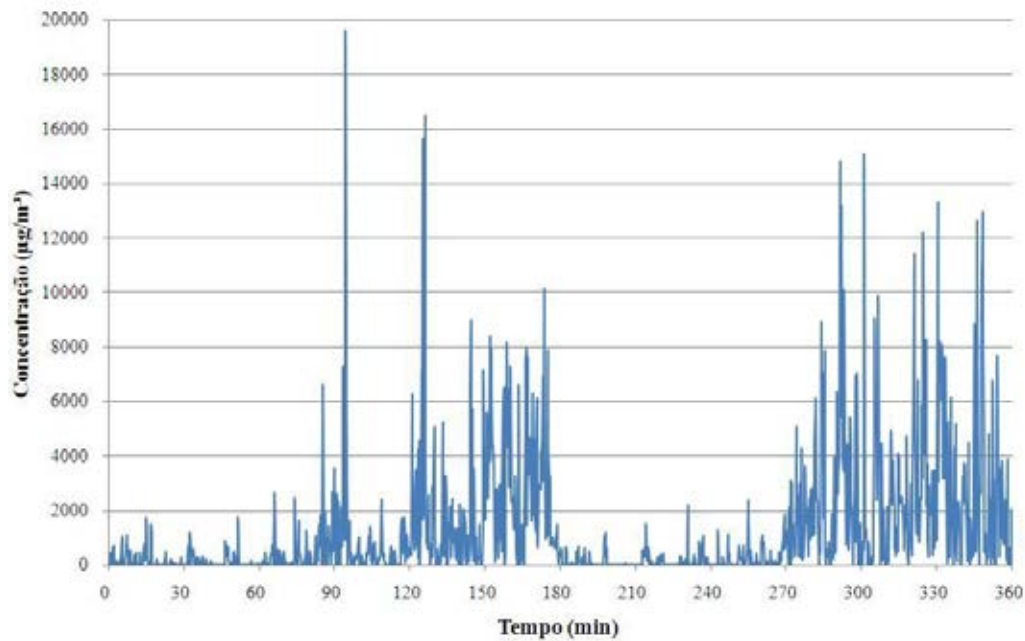


Figura 32. Concentração de material particulado amostrado no pátio.

Houve muita variação da concentração nos horários de carga e descarga de material no setor. O valor máximo atingido foi de aproximadamente $19.500 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A média emitida durante a amostragem foi de $1.223 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e representa bem a situação de emissão de partículas, pois houve um padrão nesse local.

A Figura 33 mostra a variação do diâmetro das partículas pelo tempo de amostragem neste setor.

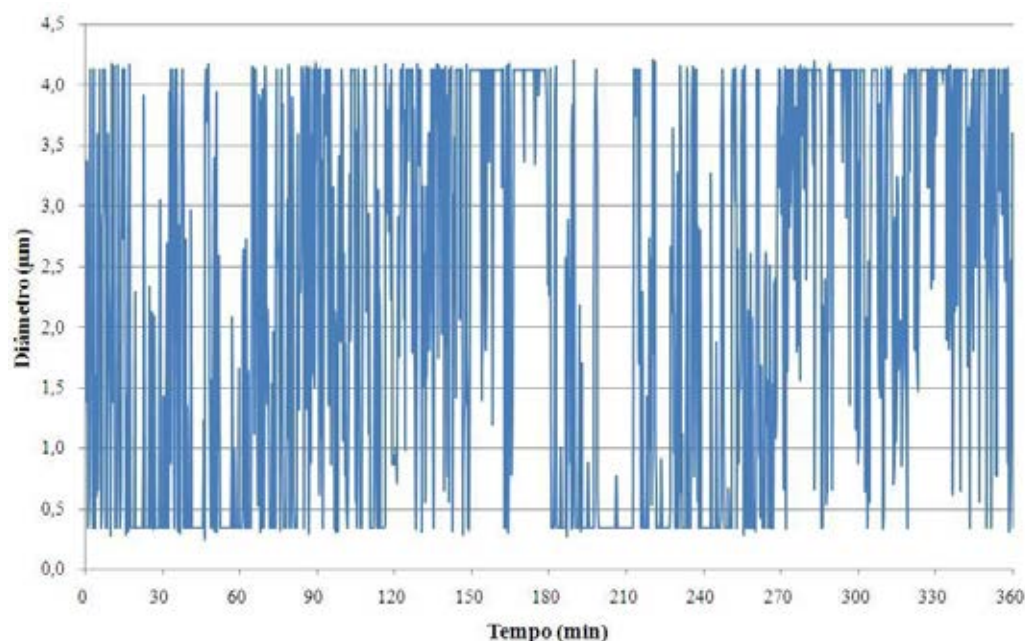


Figura 33. Variação diametral do material particulado amostrado no pátio.

O diâmetro médio encontrado foi de 2,23 μm e o diâmetro mínimo foi de 0,34 μm . A maior ocorrência se deu na faixa de 0,3 a 0,4 μm e para poeiras, evidenciando a grande quantidade de poeira no local.

A Figura 34 mostra a relação entre a concentração de particulados emitida durante a amostragem e a variação de diâmetro.

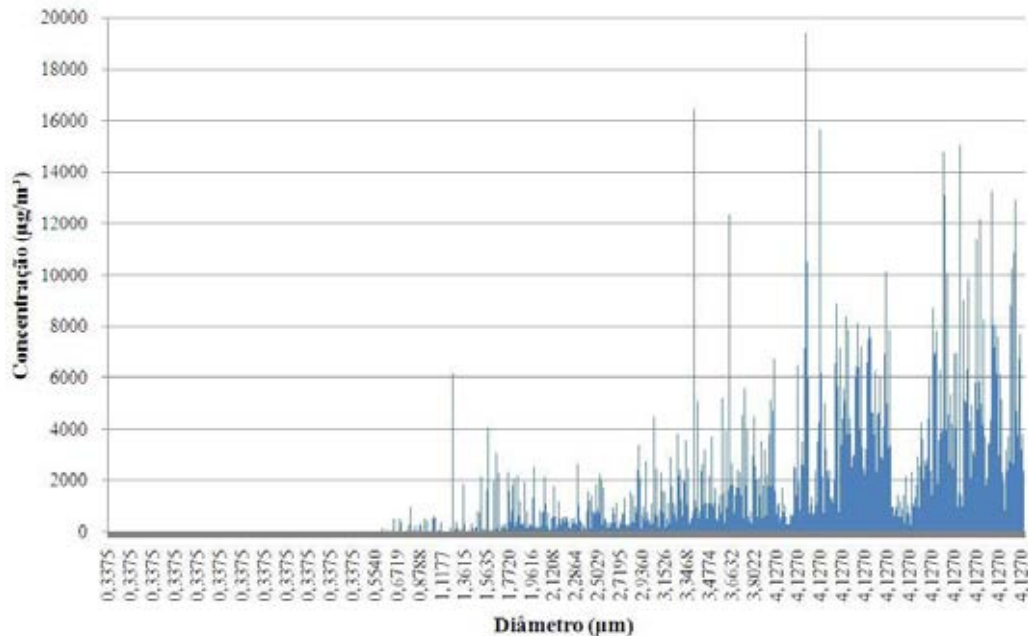


Figura 34. Concentração de material particulado em relação à variação de diâmetro das partículas amostradas.

Essa Figura mostra que há no local uma grande concentração de partículas de diâmetros maiores que 3 μm .

5.2 Carvoaria Convencional

As condições de trabalho em uma carvoaria convencional são muito precárias. Mesmo com máscara e óculos de segurança a movimentação é muito difícil, devido à grande quantidade de fumaça. Essa fumaça torna o ar difícil de ser respirado e afeta muito a visibilidade, além da irritação que causa nos olhos. Predominou as partículas finas nesse local. Vale lembrar que além da fumaça proveniente dos fornos há, durante o dia todo, a poeira

proveniente da movimentação de caminhões e tratores para o abastecimento de madeira e recolhimento do carvão.

Os resultados obtidos foram divididos para cada dia de amostragem.

5.2.1 Dia 1

No primeiro dia de amostragem os fornos próximos aos locais de amostragem estavam no início da carbonização. Nessa fase do processo, existem aberturas em toda a sua superfície para controle da temperatura. Aberturas essas que agem como “dampers”, liberando o calor junto com a fumaça para a atmosfera. A Figura 35 mostra a variação da concentração pelo tempo de amostragem em todos os pontos.

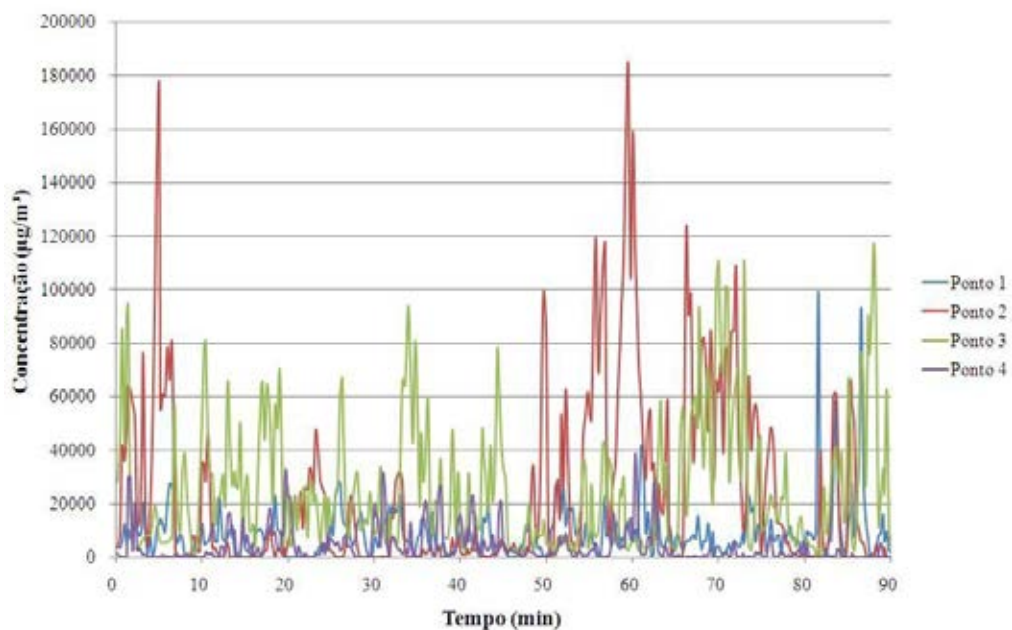


Figura 35. Concentração de material particulado amostrado no 1º dia na carvoaria para todos os pontos.

Nesse dia não houve um padrão de emissão. Houve uma variação grande da concentração amostrada devido à constante mudança de direção do vento. Os pontos 2 e 3 ficaram no meio da fumaça grande parte do tempo. Os outros pontos ficaram um pouco afastados, com o vento levando a fumaça para o amostrador em menos intensidade. Em alguns momentos o equipamento mediu valores baixíssimos de concentração, quando não

havia fumaça indo à sua direção. Em contrapartida, qualquer quantidade de fumaça indicava concentrações que ultrapassavam o limite de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ facilmente. A média de concentração para os pontos 2 e 3, foi de 24.000 e $26.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Para o ponto 1 a média emitida foi de $9.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e para o ponto 4 de $4.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Esses valores mostram que, mesmo em pontos um pouco fora da fumaça propriamente dita, a poluição provocada é de grande intensidade. O máximo valor atingido nesse dia foi de $182.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A faixa de concentração de 0 a $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ foi a que teve maior ocorrência, porém, com uma frequência de cerca de 10% do tempo total de amostragem. Concentrações maiores tiveram frequências menores.

A Figura 36 mostra a variação do diâmetro das partículas pelo tempo de amostragem em todos os pontos.

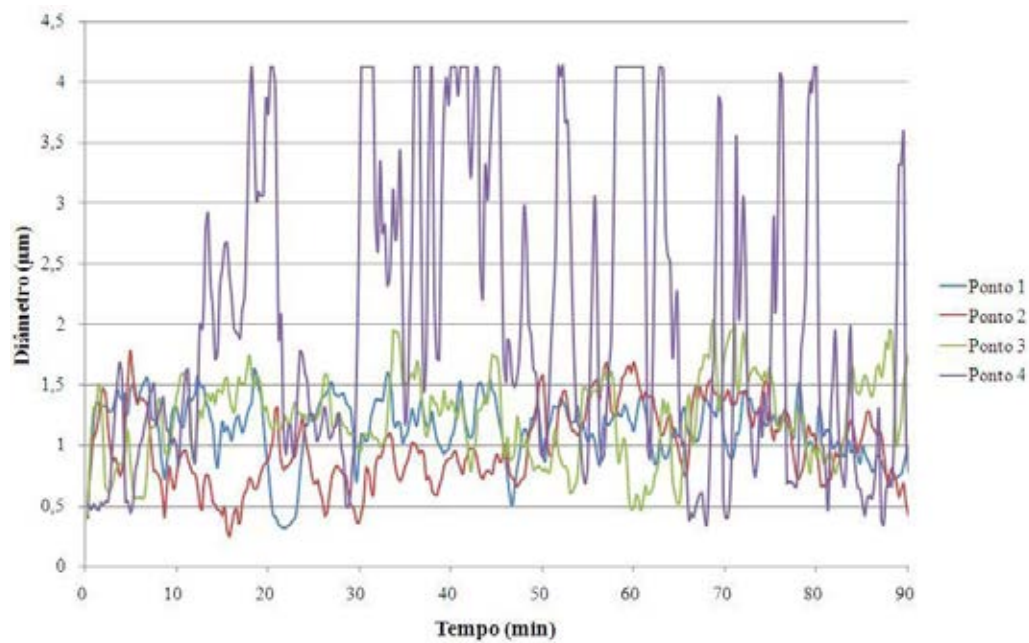


Figura 36. Concentração de material particulado amostrado no 1º dia na carvoaria para todos os pontos.

Os diâmetros de partículas encontrados tiveram comportamento parecido nos três primeiros pontos. A média de tamanho nesses pontos foi de cerca de $1 \mu\text{m}$. O valor mínimo e máximo foi de $0,25$ e $2,10 \mu\text{m}$, respectivamente. No ponto 4 ocorreram vários picos, que podem ser explicados pelo fato de alguns fornos próximos ao equipamento estarem sendo fechados com argila, ocasionando o desprendimento de poeiras.

A Figura 37 mostra a relação entre a concentração de particulados emitida durante a amostragem e a variação de diâmetro.

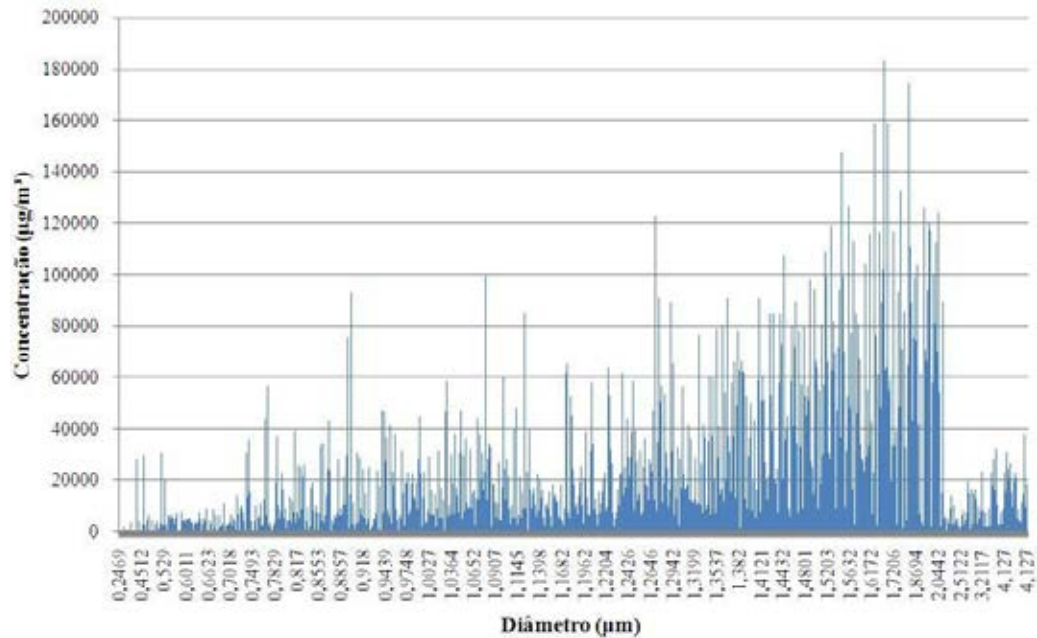


Figura 37. Concentração de partículas em relação ao diâmetro no 1º dia de amostragem.

As maiores concentrações medidas referem-se às partículas finas para a atmosfera. Partículas com diâmetros entre 1,17 e 2,04 µm foram emitidas numa concentração que variam de 20.000 a 180.000 µg/m³.

5.2.2 Dia 2

No segundo dia de amostragem os fornos próximos aos locais de amostragem estavam no meio do processo de carbonização. Nessa fase do processo, as aberturas começam a ser fechadas à medida que o fogo se espalha pelo forno. A Figura 38 mostra a variação da concentração pelo tempo de amostragem em todos os pontos.

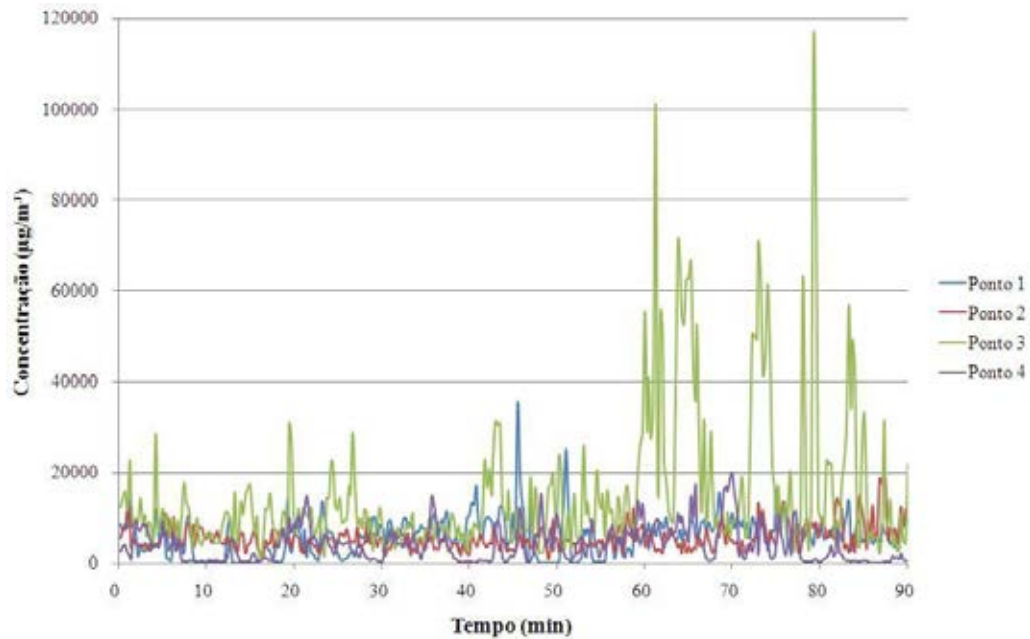


Figura 38. Concentração de material particulado amostrado no 2º dia na carvoaria para todos os pontos.

Nesse dia a fumaça ficou mais estática do que no dia anterior e não houve uma emissão com um padrão constante de particulado à atmosfera. Dessa maneira, todos os pontos ficaram próximos da fumaça. Mesmo assim, em alguns momentos o equipamento mediu valores de concentração próximos de zero. A média de concentração foi de $5.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para os dois primeiros pontos, de $15.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o ponto 3 e de $3.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o ponto 4. Apenas no ponto 3 houve picos de concentração, que podem ser explicados pelo fato de ter máquinas trabalhando próximo ao equipamento. O máximo valor atingido nesse dia foi de $115.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

A Figura 39 mostra a variação do diâmetro das partículas pelo tempo de amostragem em todos os pontos.

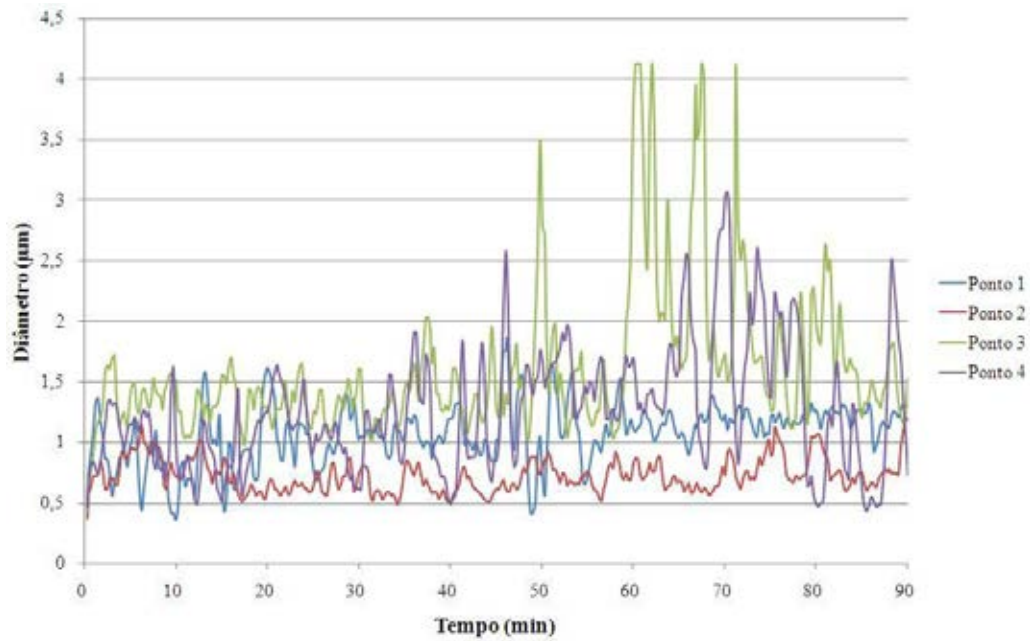


Figura 39. Concentração de material particulado amostrado no 2º dia na carvoaria para todos os pontos.

Os diâmetros de partículas encontrados tiveram comportamento parecido em todos os pontos. A média do tamanho nesses pontos foi de cerca de 1,20 μm . O valor mínimo e máximo foi de 0,36 e 4,13 μm , respectivamente. Os picos que ocorreram podem ser explicados pelo fato de ter máquinas trabalhando próximo ao equipamento.

A Figura 40 mostra a relação entre a concentração de particulados emitida durante a amostragem e a variação de diâmetro.

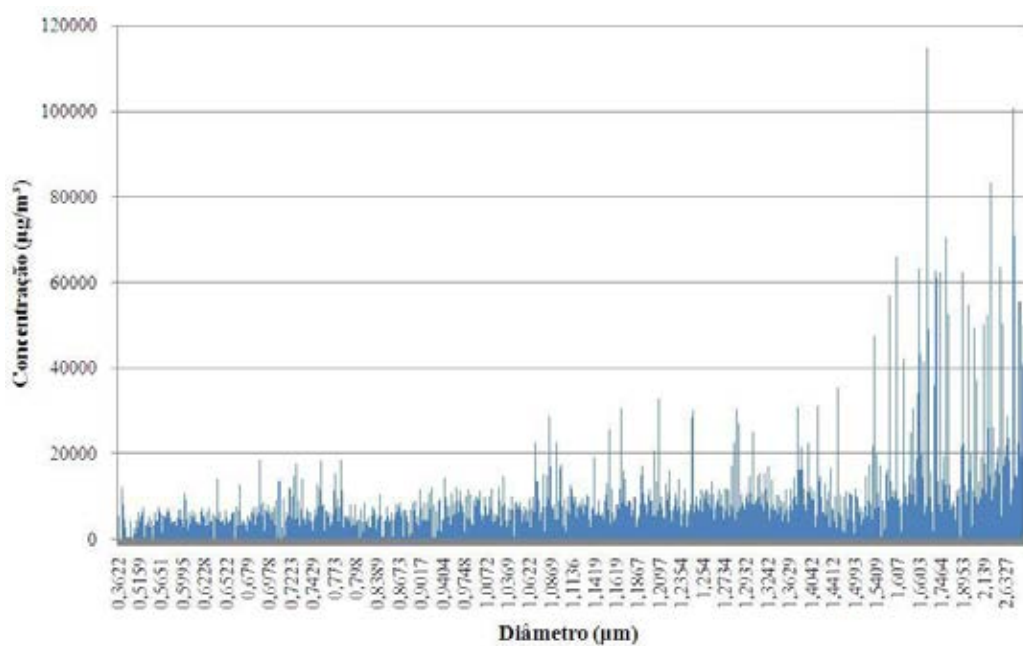


Figura 40. Concentração de partículas em relação ao diâmetro no 2º dia de amostragem.

As maiores concentrações medidas também se referem aos diâmetros intermediários, ou seja, há a emissão de altas concentrações de partículas finas para a atmosfera. Partículas com diâmetros entre 1,50 e 2,66 μm foram emitidas numa concentração que varia na faixa de 20.000 a 115.000 $\mu\text{g m}^{-3}$, que está acima dos padrões de qualidade do ar.

5.2.3 Dia 3

No terceiro dia de amostragem os fornos próximos aos locais de amostragem estavam no fim do processo de carbonização. Nessa fase do processo, as aberturas estão quase ou totalmente fechadas. A Figura 41 mostra a variação da concentração pelo tempo de amostragem em todos os pontos.

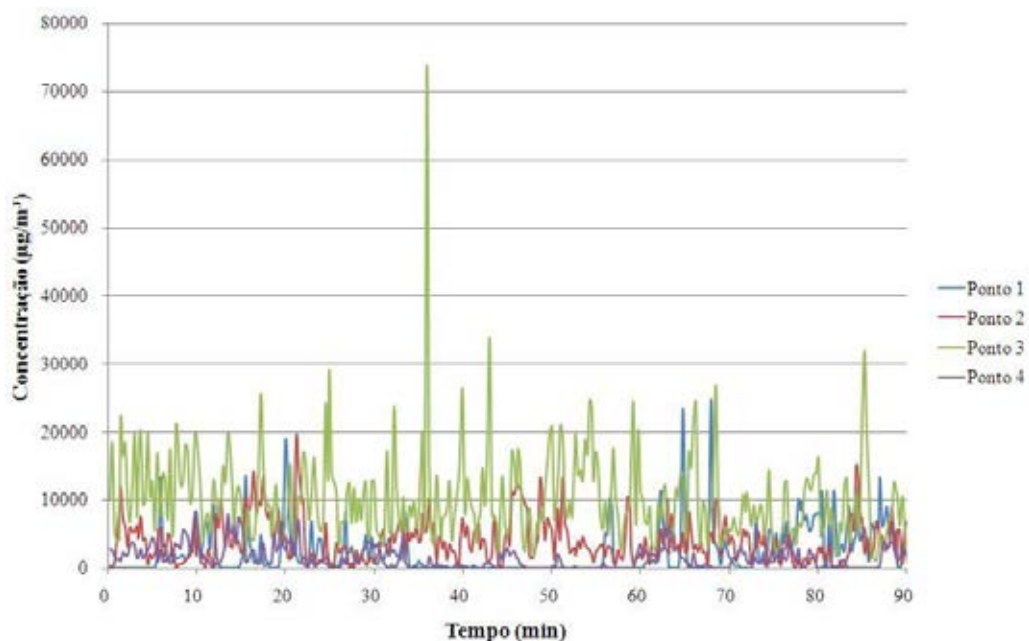


Figura 41. Concentração de material particulado amostrado no 3º dia na carvoaria para todos os pontos.

Esse dia foi parecido com os dias anteriores, pois também não houve padrão na emissão de particulado. A média de concentração foi de 2.000 $\mu\text{g/m}^3$ para o ponto 1, de 4.000 $\mu\text{g/m}^3$ para o ponto 2, de 10.000 $\mu\text{g/m}^3$ para o ponto 3 e de 1.500 $\mu\text{g/m}^3$ para o ponto 4. No ponto 3 a concentração foi, no geral, maior que nos outros pontos, pois ainda havia máquinas

trabalhando próximo ao equipamento. O máximo valor atingido nesse dia foi de 74.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

A Figura 42 mostra a variação do diâmetro das partículas pelo tempo de amostragem em todos os pontos.

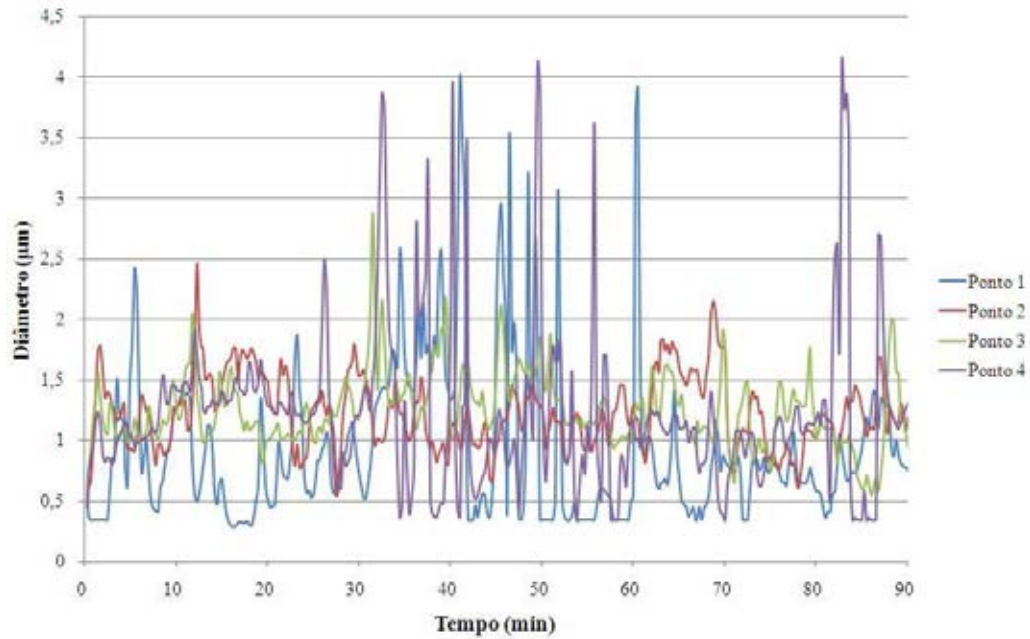


Figura 42. Diâmetro de material particulado amostrado no 3º dia na carvoaria para todos os pontos.

Os diâmetros de partículas encontrados tiveram comportamento parecido nos pontos 2 e 3. Nos pontos 1 e 4 houve uma grande variação do diâmetro das partículas, devido à movimentação de maquinário e fechamento com argila de alguns fornos próximos ao equipamento amostrador. A média do tamanho nesses pontos foi de cerca de 1,20 μm . O valor mínimo e máximo foi de 0,28 e 4,13 μm , respectivamente.

A Figura 43 mostra a relação entre a concentração de particulados emitida durante a amostragem e a variação de diâmetro.

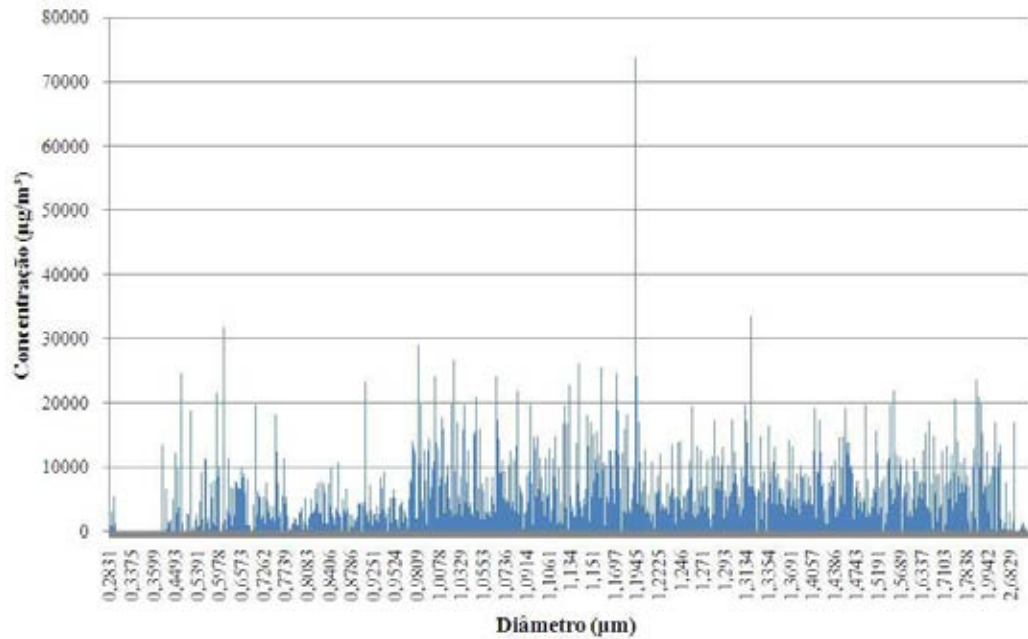


Figura 43. Concentração de partículas em relação ao diâmetro no 3º dia de amostragem.

Nesse caso as emissões foram, no geral, constantes, havendo um leve aumento nas concentrações medidas para diâmetros intermediários. Partículas com diâmetros entre 0,98 e 2,68 μm foram emitidas numa concentração que varia de 12.000 a 70.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

5.3 Área Urbana

Em todos os dias que foram realizados as amostragens, o limite de 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ não foi ultrapassado em nenhuma oportunidade e mesmo o limite de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sugerido pela OMS e meta do estado de São Paulo foi alcançado em apenas uma oportunidade. O diâmetro de partículas encontrado foi na maior parte do tempo entre 0,3 a 0,4 μm . Abaixo seguem os resultados obtidos na amostragem realizada na região central do município de Itapeva-SP, para ambos os equipamentos.

5.3.1 Resultados do DataRam4

A Figura 44 mostra a variação da concentração pelo tempo de amostragem em todos os dias.

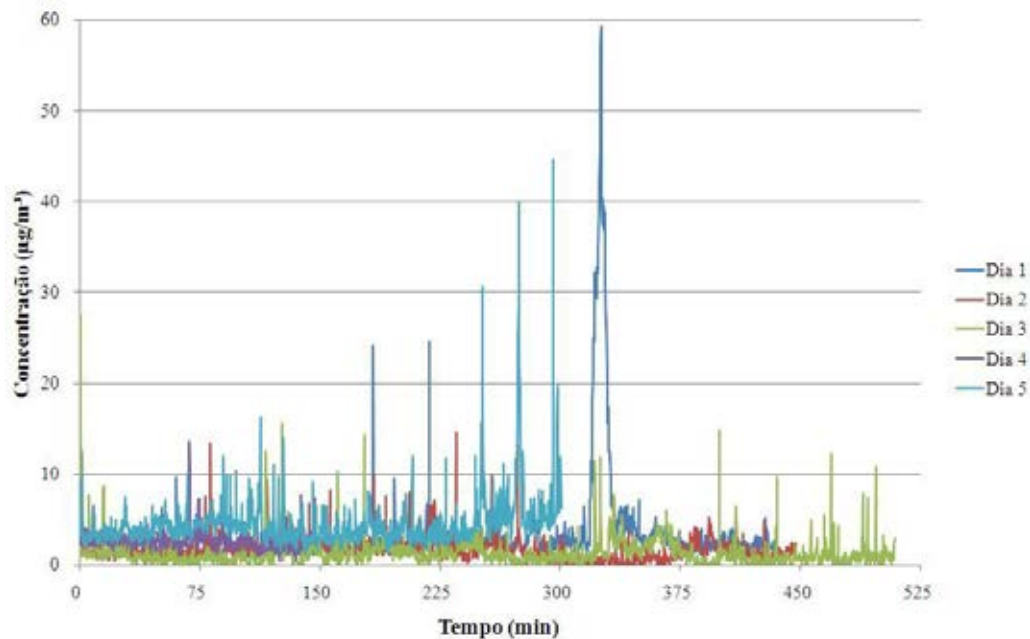


Figura 44. Concentração de material particulado amostrado no centro da cidade.

Na maior parte do tempo a concentração ficou abaixo de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. A concentração máxima atingida foi de 59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Durante as amostragens, foi possível observar que os picos da concentração ocorreram quando houve um maior fluxo de carros na rua adjacente ao local onde o equipamento estava alocado. Em dois dos três dias de amostragem houve um padrão de emissão no local, fazendo com que a média representasse bem a situação de emissão. Porém, os outros dias onde não houve padrão evidenciou como pode haver variação em um mesmo local.

Comparando os dias de amostragem, o 5º dia foi o que teve, no geral, as maiores concentrações medidas. O que pode ser explicado pelo fato de ser um sábado, ou seja, um dia que normalmente tem uma maior movimentação na região.

A Figura 45 mostra a variação diametral das partículas emitidas durante a queimada.

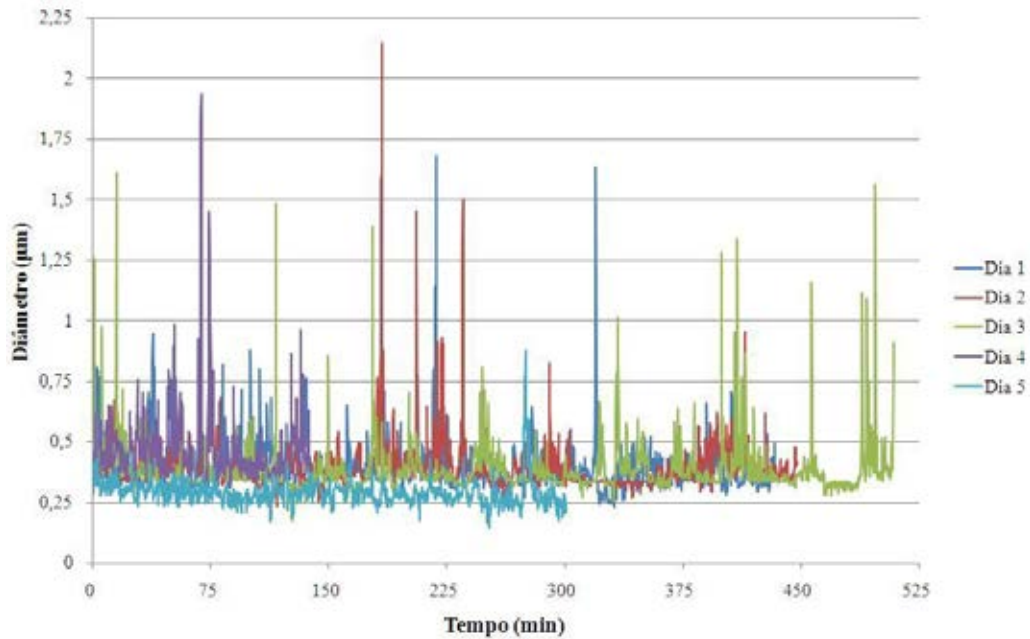


Figura 45. Variação diametral do material particulado amostrado no centro da cidade.

Foram emitidas partículas com diâmetro entre 0,15 e 2,15 μm durante o período de amostragem. O menor valor foi medido no 5º dia de amostragem e o maior valor no 2º dia. Pelo gráfico é possível observar a igualdade das partículas emitidas em todos os dias de amostragem, com exceção do 5º dia, onde as partículas emitidas, no geral, foram menores.

Os resultados obtidos foram parecidos com o que COLVILE et al. (2001) atestaram em seu trabalho, pois foi possível observar que os maiores valores de concentração foram amostrados nos períodos de maior movimentação de veículos movidos a diesel, nos momentos de carregamento e descarregamento do comércio por caminhões. Em contrapartida, os valores amostrados de diâmetros das partículas foram maiores que 0,15 μm , o que difere do trabalho de HARRIS e MARICQ (2001) que dizia que as partículas provenientes de emissões veiculares são inferiores a 0,13 μm para veículos movidos a diesel e inferiores a 0,60 μm para veículos movidos a gasolina.

5.3.2 Resultados do Impactador de Andersen

A Figura 46 mostra a massa de particulados coletada pelo impactador posicionado na área urbana para todos os dias de amostragem.

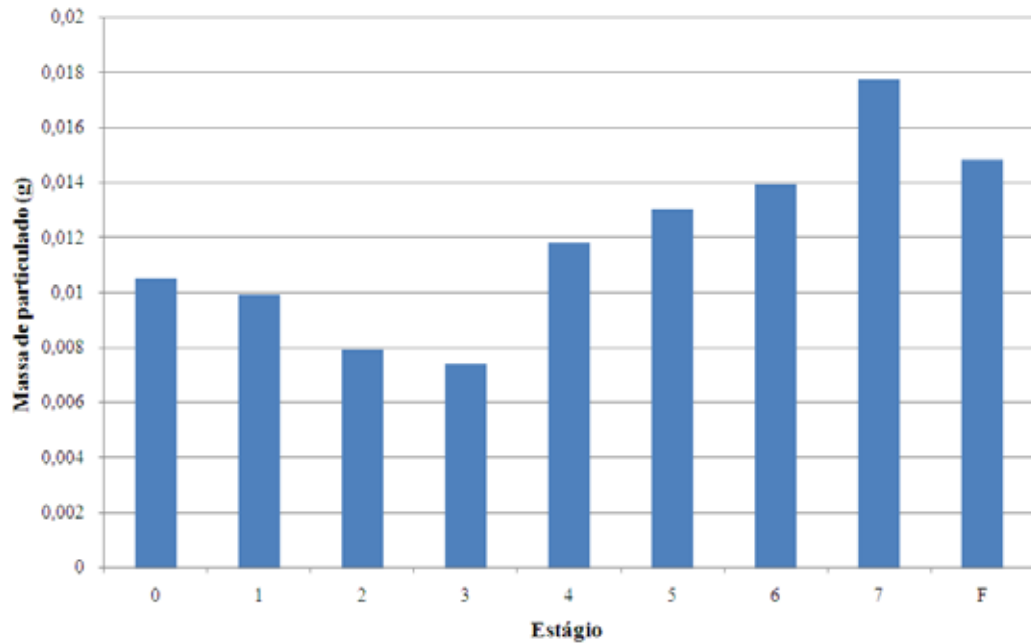


Figura 46. Massa de material particulado capturada em todos os estágios do impactador de cascata.

Podemos observar que a maioria dos estágios teve uma captura entre 0,010 e 0,018 g de material particulado. Os estágios que tiveram mais massa retida nos filtros foram os estágios correspondentes aos diâmetros menores, sendo o estágio 7 com a maior massa entre todos, ou seja, houve uma maior concentração de partículas com diâmetro entre 0,4 e 0,7 μm . O estágio F, ou backup como é chamado, também teve uma massa considerável e corresponde aos diâmetros de partículas menores que 0,4 μm .

5.4 Floresta Amazônica

A primeira impressão é que a queimada emite muita fumaça, tornando o ar difícil de ser respirado e baixando muito a visibilidade. Abaixo seguem os resultados obtidos na queimada da floresta amazônica para ambos os equipamentos.

5.4.1 Resultados do DataRam4

A Figura 47 mostra a variação da concentração pelo tempo de amostragem.

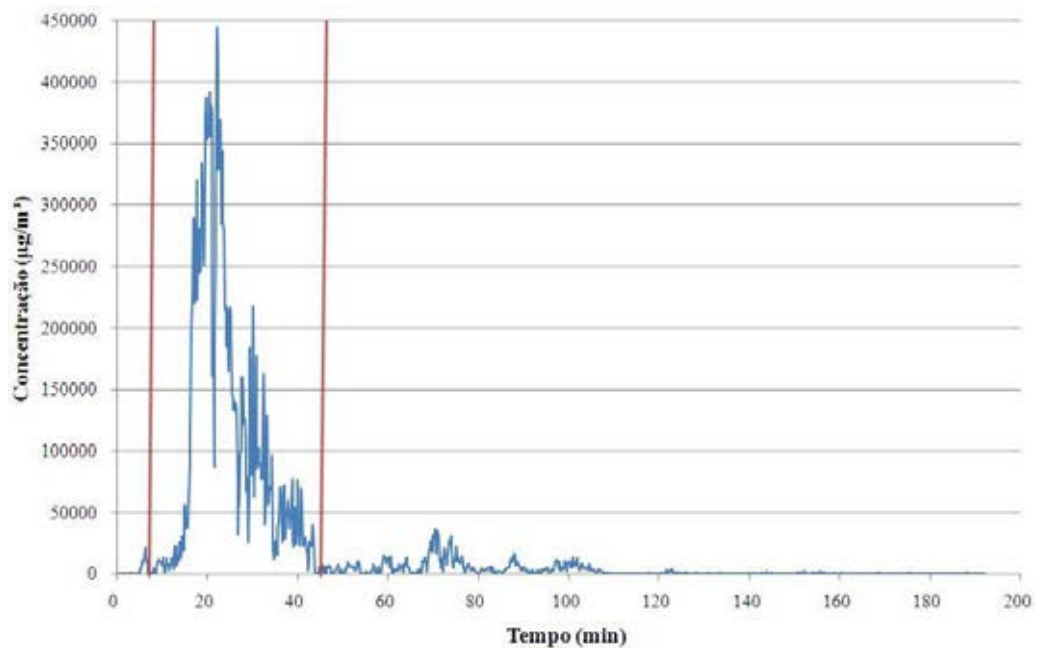


Figura 47. Concentração de material particulado durante a queimada.

A concentração máxima atingida foi de mais de 400.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, que está muito acima do previsto nas normas. A faixa de concentração de 0 a 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ foi a que teve maior ocorrência, com uma frequência de cerca de 40% do tempo total de amostragem. A média de emissão foi de 13.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, porém, como não houve uma emissão com constância considerável, esse valor não é representativo.

Na fase de chama ocorreram as maiores emissões, em massa, de material particulado, tendo uma média durante este período de cerca de 100.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Nas outras fases foi emitida uma média de 2.700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Valores esses que se assemelham aos obtidos por HOSSEINE et al. (2010) que atestaram que os maiores valores de concentração acontecem na fase de chamas, decaindo na fase de incandescência. Apesar de os maiores valores ocorrerem na fase de chama é válido lembrar que sua duração é muito menor que a duração da fase de incandescência, o que torna essa última fase a maior responsável pela emissão de partículas.

A Figura 48 mostra a variação diametral das partículas emitidas em relação ao tempo de amostragem.

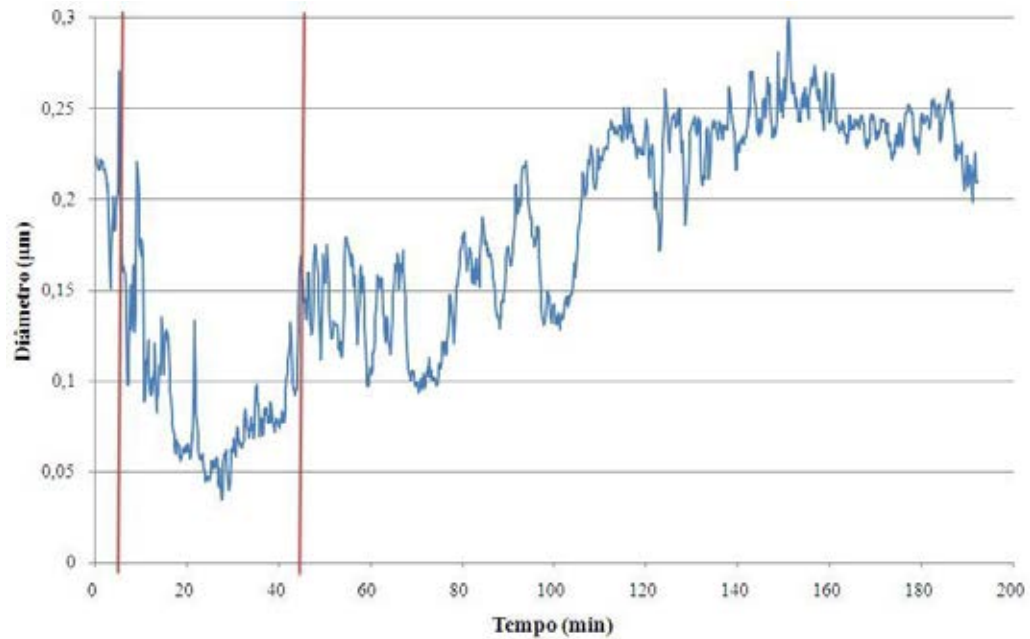


Figura 48. Diâmetro do material particulado emitido durante a queimada.

Foram emitidas partículas com diâmetro entre 0,035 e 0,300 μm durante o período de amostragem. A maior ocorrência se deu na faixa de 0,200 a 0,250 μm , correspondendo a cerca de 40% de frequência durante toda a amostragem. As menores partículas foram lançadas para a atmosfera na fase de chama. A média de emissão nessa fase foi de 0,090 μm . Nas fases de ignição e de incandescência foi de 0,190 μm e 0,200 μm , respectivamente.

A Figura 49 mostra a relação entre a concentração de particulados emitida durante a queimada e a variação de diâmetro.

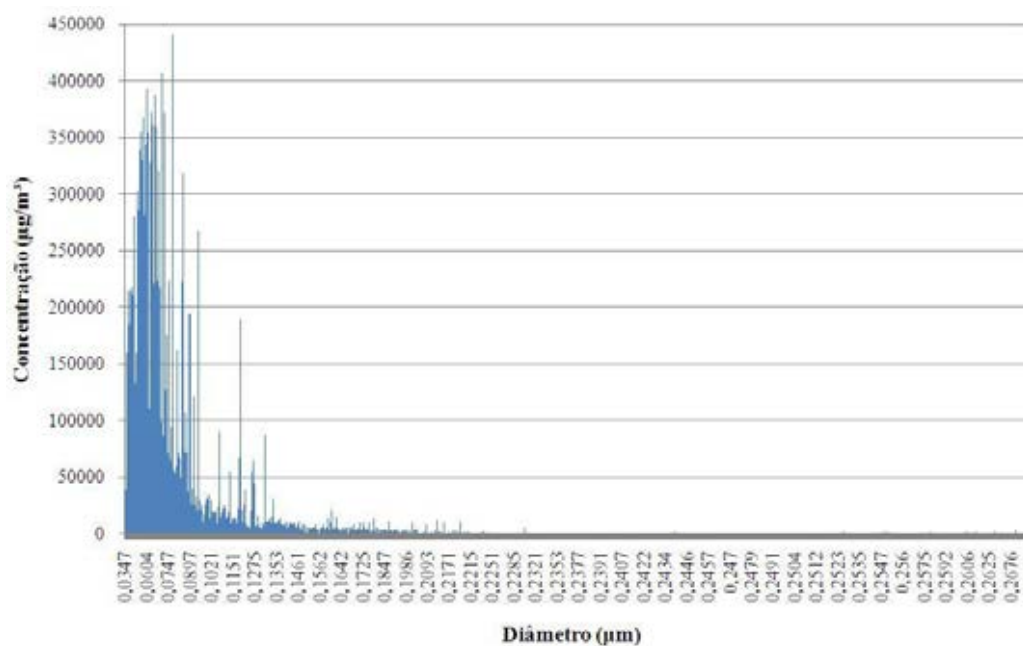


Figura 49. Concentração de particulado em relação à variação de diâmetro.

As maiores concentrações medidas referem-se aos menores diâmetros das partículas. Ou seja, há a emissão de altas concentrações de partículas ultrafinas para a atmosfera. Partículas com diâmetros entre 0,035 e 0,098 μm foram emitidas numa concentração que variam de mais de 400.000 a 32.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lembrando que para esta faixa de tamanho, os impactos na saúde e no clima, são efetivos.

Os diâmetros encontrados na queimada condizem com o dito por HOSSEINI et al. (2010), que em seu trabalho atestaram que partículas emitidas por queima biomassa variam em torno de 0,030 a 0,200 μm .

5.4.2 Resultados do Impactador de Andersen

A Figura 50 mostra a massa de particulados coletada pelo impactador posicionado na torre.

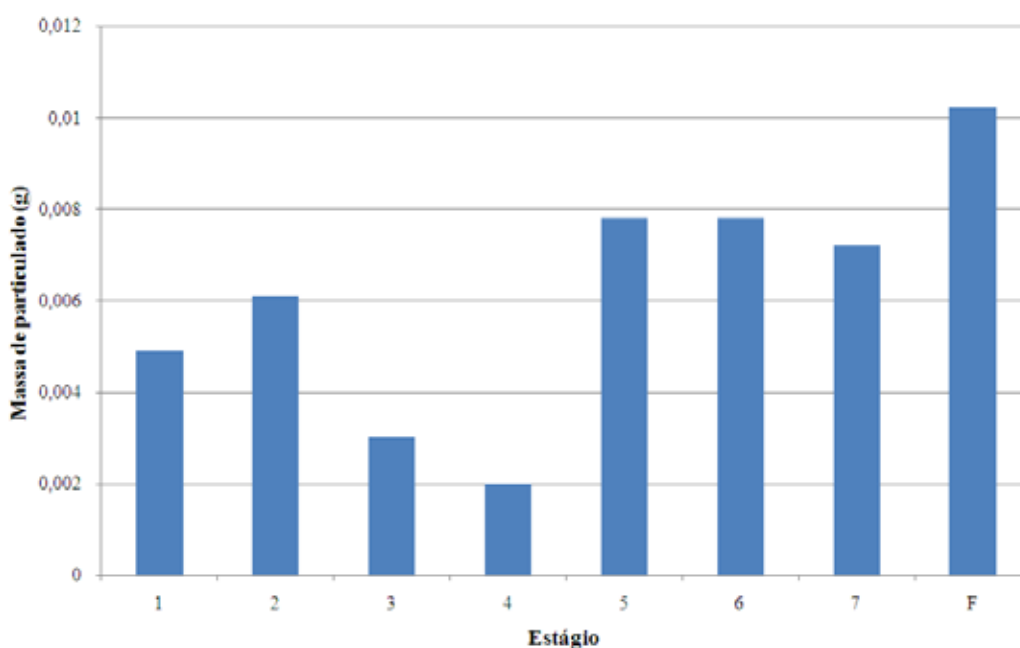


Figura 50. Massa de material particulado capturada em todos os estágios do impactador de cascata.

Observando os valores de massa de particulados coletada em cada estágio, o qual se refere a faixas de diâmetros, verificamos que o estágio que mais apresentou peso foi o estágio F, que na verdade é o estágio para o backup, no qual ficam retidas as menores partículas, de valores entre 0,0 e 0,4 μm .

A Figura 51 mostra os filtros retirados do impactador e verifica-se pela diferença de cor a presença de particulados no ultimo filtro.

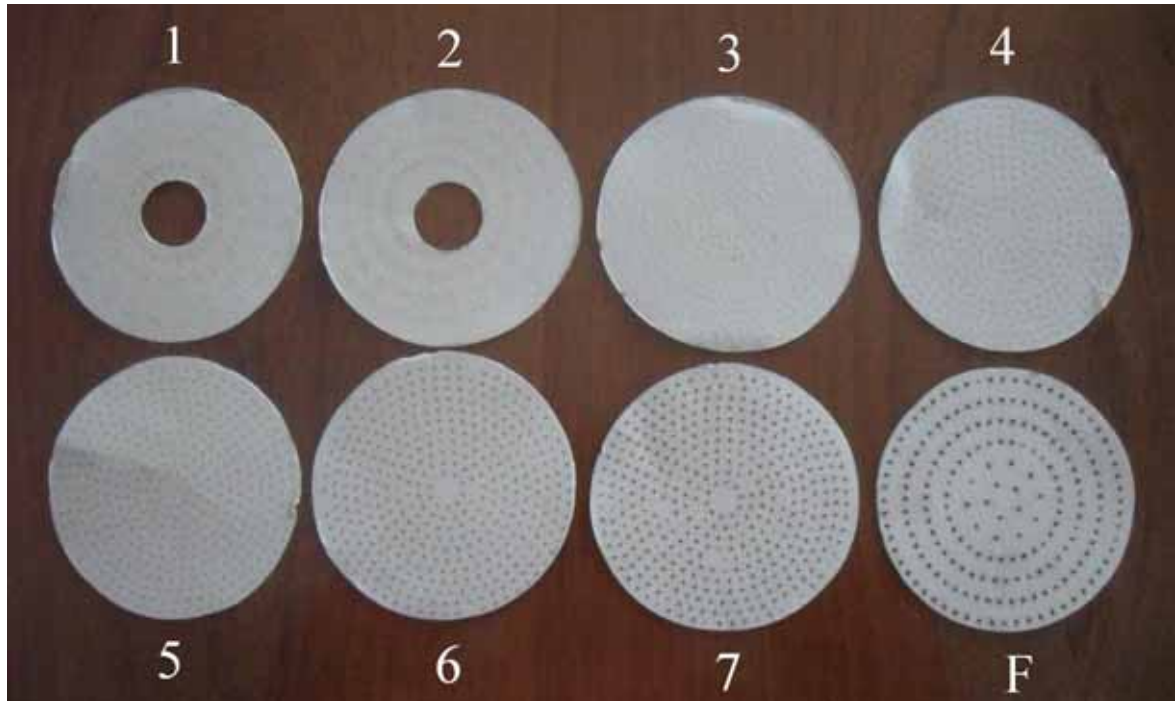


Figura 51. Filtros depois da amostragem realizada na queimada da floresta.

Os resultados gravimétricos mostram a presença de maior concentração de partículas nos últimos estágios, principalmente no estágio F, abaixo de $0,4\ \mu\text{m}$, confirmando os dados obtidos pelos amostradores.

Em análise dos resultados obtidos com essa amostragem, é possível observar que os amostradores ópticos apresentaram valores representativos e comparáveis, evidenciando sua precisão nas medições.

6. CONCLUSÃO

Em todos os casos estudados há a contribuição para a emissão de partículas para a atmosfera, cada um com suas proporções e particularidades.

Foi possível detectar que nem sempre a média é um valor representativo da situação em que ocorrem as emissões. Isso ocorre porque, na maioria dos casos, os valores que melhor representam a emissão não apresentam o mesmo comportamento da média. Além disso, a média considera os pontos discrepantes em seu cálculo.

Especificamente em relação aos testes experimentais realizados nos diversos setores da indústria podemos concluir que:

- As maiores contribuições para emissão de partículas na indústria é proveniente da movimentação e armazenamento de materiais e da poeira desprendida do solo
- A maior média de concentração emitida durante a amostragem ocorreu no forno, com o valor de cerca de 40.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. O menor ocorreu na carvoaria “Bicarbrás”, com o valor de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;
- O menor diâmetro médio de partículas emitidas durante a amostragem ocorreu na carvoaria “Bicarbrás”, com o valor de 0,22 μm . Na própria carvoaria, no setor da matéria prima e no pátio de ligas foram alcançados os maiores valores, atingindo o fundo de escala do aparelho de 4,13 μm , devido à quantidade de poeiras;
- Em todas as etapas do processo de produção de ligas as maiores concentrações se deram para as partículas grossas, com exceção do forno;

Especificamente em relação aos testes experimentais realizados na carvoaria convencional podemos concluir que:

- Nesse local a emissão de material particulado é muito intensa durante o período de carbonização. A visibilidade é muito debilitada e o ar se torna difícil de ser respirado;
- Durante o carregamento de madeira nos estoques e o carregamento de carvão nos caminhões há muito desprendimento de poeiras, contribuindo para a emissão de partículas grossas;
- A média de concentração emitida durante a amostragem foi de 16.560 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 7.450 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 4.490 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para o primeiro, segundo e terceiro dia de carbonização, respectivamente;
- Os diâmetros mínimos emitidos durante a amostragem foram de 0,24 μm , 0,36 μm e 0,28 μm , para o primeiro, segundo e terceiro dia de carbonização, respectivamente;

- Desconsiderando as poeiras ocasionadas pelo maquinário, as maiores concentrações se deram para as partículas finas. Partículas que são muito danosas ao sistema respiratório mais profundo, além de serem transportadas pelo vento a grandes distâncias;
- Em comparação com o novo sistema de produção de carvão implantado pela empresa, o sistema convencional perde muito em relação à emissão de poluentes a atmosfera, já que a menor média de concentração no ambiente foi de cerca de $4.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e na “Bicarbrás” foi de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Além disso, a carvoaria convencional possui condições de trabalho muito inferiores ao novo método.

Especificamente em relação aos testes experimentais realizados no centro do município de Itapeva-SP podemos concluir que:

- Nesse local a maior contribuição se dá pela emissão de automóveis;
- Em todos os dias de amostragem a média de concentração amostrada sequer ultrapassou o valor de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- Houve a emissão apenas de partículas finas e ultrafinas, tendo valores mínimos entre $0,14$ e $0,28 \mu\text{m}$ e valores máximos entre $0,87$ e $2,14 \mu\text{m}$;
- Partículas finas e ultrafinas, mesmo em baixas concentrações, são prejudiciais ao sistema cardiorrespiratório;
- Os resultados obtidos pelo Impactador de Andersen mostraram que houve uma maior concentração de partículas menores que $0,7 \mu\text{m}$, já que os estágios 7 e F reteram maior massa de particulado;

Especificamente em relação aos testes experimentais realizados com a queimada de biomassa amazônica em campo podemos concluir que:

- As concentrações de material particulado variaram de 60 a mais de $400.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valores elevados considerando a fração $\text{PM}_{2,5}$;
- A concentração média emitida durante todo o período de amostragem foi de $12.900 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- Os diâmetros médios amostrados durante o período de queimada variaram de $0,035$ a $0,259 \mu\text{m}$;
- Em relação a fases de combustão verificou-se que os menores diâmetros foram emitidos durante a fase de chamas, variando de $0,0347$ a $0,2500 \mu\text{m}$, para fase de incandescência os diâmetros foram um pouco mais elevados variando de $0,1$ a $0,3 \mu\text{m}$;
- Os resultados obtidos pelo Impactador de Andersen foram condizentes com os resultados obtidos pelo DataRam4, já que as maiores massas de material particulados ficaram retidas nos últimos filtros, que correspondem aos menores diâmetros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, C. **Aerossóis Atmosféricos: Perspectiva Histórica, Fontes, Processos Químicos de Formação e Composição Orgânica**. Quim. Nova, Vol. 28, nº 5, p. 859-870, 2005.
- ANDREAE, M. O. **Biomass burning: Its history, use and distribution and its impact on environmental quality and global climate**, in Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic and Biospheric Implications. MIT Press, Cambridge, Mass, p. 3-21, 1991.
- ARBEX, M. A. et al. **Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde**. Jornal Brasileiro de Pneumologia, 30(2), Mar/Abr, 2004.
- ARTAXO, P. et al. **Physical and chemical properties of aerosols in the wet and dry season in Rondônia, Amazonia**. J. Geophys. Res. 107 (D20), p. 49.1-49.14, 2002.
- BARNE, P. et al. **Infiltration of forest fire and residential wood smoke: an evaluation of air cleaner effectiveness**. Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology 18, p. 503-511, 2008.
- BRITO, J. O. **Carvão vegetal no Brasil: Gestões econômicas e ambientais**. Estudos Avançados, 4 (9), p. 221-227, 1990.
- BRUGGE, D.; DURANT, J. L.; RIOUX, C. **Near-highway pollutants in motor vehicle exhaust: a review of epidemiologic evidence of cardiac and pulmonary health risks**. Environmental Health 6, p. 23, 2007.
- CASTANHO, A. D. A. **A determinação quantitativa de fontes de material particulado na atmosfera da cidade de São Paulo**. Dissertação de mestrado. Instituto de Física – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- CASTRO, H.A.; GOUVEIA N.; ESCAMILLA-CEJUDO, J.A. **Questões metodológicas para a investigação dos efeitos da poluição do ar na saúde**. Revista Brasileira Epidemiológica 6: 135-49, 2003.
- CETESB. **Relatório de qualidade do ar no estado de São Paulo**. Publicação CETESB, São Paulo, 2005.
- CETESB. **Relatório de qualidade do ar no estado de São Paulo**. Publicação CETESB, São Paulo, 2006.
- CETESB. **Relatório de qualidade do ar no estado de São Paulo**. Publicação CETESB, São Paulo, 2007.

CETESB. **Relatório de qualidade do ar no estado de São Paulo**. Publicação CETESB, São Paulo, 2009.

CLEAN ENVIRONMENT BRASIL, Produtos e Tecnologias para o Meio Ambiente. **Manual de Instruções. DataRam4 – Modelo DR-4000**.

CLEAN ENVIRONMENT BRASIL, Produtos e Tecnologias para o Meio Ambiente. **Manual de Instruções. Impactador em Cascata de Andersen**.

COLVILE, R. N. et al. **The transport sector as a source of air pollution**. Atmospheric Environment 2001, p. 1537-1565, 2001.

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA 03/90: Controle da Poluição do ar – PRONAR**, 1990.

COUTINHO, L. M.; MIRANDA, H. S.; MORAIS, H. C. **O Bioma do Cerrado e o Fogo**. Revista do Instituto de Estudos Avançados da USP, 50 p., 2002.

DIAS, E. C. et al. **Processo de trabalho e saúde dos trabalhadores na produção artesanal de carvão vegetal em Minas Gerais, Brasil**. Caderno de Saúde Pública 18, p. 269-277, Jan/Fev, Rio de Janeiro, 2002.

DUCHIADE, M. P. **Poluição Do Ar e Doenças Respiratórias: Uma Revisão**. Cad. Saúde Pública, v.8, n.3 - Rio de Janeiro, Jul./Set, 1992.

FREITAS, S. R. **Emissões de queimadas em ecossistemas da América do Sul**. Estudos Avançados 19, 2005.

GOMISCEK, B. et al. **Spatial and temporal variations of PM1, PM2.5, PM10 and particle number concentration during the AUPHEP - project**. Atmospheric Environment 38, p. 3917-3934, 2004.

HARRIS, S. J.; MARICQ, M. M. **Signature size distributions for diesel and gasoline engine exhaust particulate matter**. Journal of Aerosol Science 32, p. 749-764, 2001.

HOSSEINE, S. et al. **Particle size distributions from laboratory-scale biomass fires using fast response instruments**. Atmospheric Chemistry Physics, 10, p. 8065–8076, 2010.

HUSAR, R. B. **Atmospheric Aerosol Science Before 1900**. History of Aerosol Science, Vienna, 1999.

JACOMINO, V. M. F. et al. **Avaliação da qualidade do ar em um pólo produtor de ferro-gusa**. Eng Sanit Ambient, Vol. 14, nº 4, p. 511-520, Out/Dez, 2009.

- JOHANSSON, C.; NORMAN, M.; GIDHAGEN, L. **Spatial & temporal variations of PM10 and particle number concentrations in urban air.** Environmental Monitoring and Assessment 127, p. 477-487, 2007.
- KITTELSON, D. B.; WATTS, W. F.; JOHNSON, J. P. **Nanoparticle emissions on Minnesota highways.** Atmospheric Environment 38, p. 9-19, 2004.
- KUMAR, P. et al. **A review of the characteristics of nanoparticles in the urban atmosphere and the prospects for developing regulatory controls.** Atmospheric Environment 44, p. 5035-5052, 2010.
- KURA, L. T. **Determinação de Índices que Quantificam o Material Particulado Inalável Emitido pela Queima da Biomassa na Amazônia Brasileira.** 2010. 80 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2010.
- LONGO, K. et al. **Numerical modelling of the biomass burning aerosol direct radiative effects on the thermodynamics structure of the atmosphere and convective precipitation.** 8th International Global Atmospheric Chemistry Conference, Christchurch, Nova Zelândia, 2004.
- LORA, E. E. S. **Prevenção e controle da poluição nos setores energético, industrial e de transporte.** 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência, , 364 p., 2002.
- MASCARENHAS, M. D. M. **Poluição atmosférica devida à queima de biomassa florestal e atendimentos de emergência por doença respiratória em Rio Branco, Brasil - Setembro, 2005.** Jornal Brasileiro de Epidemiologia 34, p. 42-46, 2008.
- MOREIRA, D. M. **Metereologia e poluição atmosférica.** Ambiente & Sociedade, Vol. XI, nº 1, p. 1-13. 2008.
- NEL, A. et al. **Toxic potential of materials at the nanolevel.** Science 311, p. 622-627, 2006.
- NEMMAR, A. et al. **Passage of inhaled particles in to the blood circulation in humans.** Circulation 105, p. 411-414, 2002.
- OBERDÖRSTER, G. **Principles for characterizing the potential human health effects from exposure to nano materials: elements of a screening strategy.** Particle and Fibre Toxicology 2, p. 1-35. 2005.
- PEY, J. et al. **Source apportionment of urban fine and ultra fine particle number concentration in a Western Mediterranean City.** Atmospheric Environment 43, p. 4407-4415, 2009.

- QUEIROZ, P. G. M. **Composição elementar do material particulado presente no aerossol atmosférico do município de Sete Lagoas, Minas Gerais.** Química Nova, Vol. 30, nº 5, p. 1233-1239, 2007.
- RAMOS, F. B.; AGUIAR FILHO, A. M.; ALBUQUERQUE, E. L. **Inventário de emissões veiculares da região metropolitana de salvador para o ano base de 2009:** A contribuição da frota de automóveis. IX Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Maringá – Paraná. 2011.
- SIOUTAS, C. et al. **Field evaluation of a modified DataRAM MIE scattering monitor for real-time PM_{2.5} mass concentration measurements.** Atmospheric Environment, 34, p. 4829-4838, 2000.
- STRAND, T. **PM_{2.5} measurements in wild fire smoke plumes from fire seasons 2005-2008 in the Northwestern United States.** Journal of Aerosol Science. 2010
- VENDRASCO, E. P.; DIAS, P. L. S.; FREITAS, E. D. **A case study of the direct radiative effect of biomass burning aerosols on precipitation in the Eastern Amazon.** Atmospheric Research, Vol. 94, Ed.3, p. 409-421, 2009.
- WHO, World Health Organization. **Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide.** Global update 2005, Summary of risk assessment, Geneva, 2006.
- WOODRUFF, T.J. et al. **Trends in environmentally related childhood illnesses.** Pediatrics. 113, 1133-40, 2004.