" ESTUDO COMPARATIVO DE MÉTODOS DE AMOSTRAGEM
E ANÁLISE DE PARTÍCULAS EM SUSPENSÃO NA
ATMOSFERA : UMA CRÍTICA "

Monografia apresentada como requisito parcial
de créditos para a obtenção do grau de " Dou
tor em Saúde Pública " por Fernando de Araújo
Guimarães.
we

DEPARTAMENTO DE SAÚDE AMBIENTAL
FACULDADE DE SAÚDE PÚBLICA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO.

ORIENTADOR : Dr. Carlos Celso do Amaral e Silva

1977

BIBLIOTECA
FACULDADE DE SAÚDE PÚBLICA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Sr. Wilson Acquaviva, químico superior, que foi de inestimável auxílio durante todos os testes de campo, na calibração, montagem e operação dos equipamentos; a Sra. Carmem Lúcia Cancigliero, matemática estatística, que colaborou decisivamente na elaboração deste trabalho na análise estatística dos dados obtidos e as Srtas. Maria Helena Casemiro e Vera Lia Meggiolaro que executaram toda a datilograrafia deste trabalho.

Agradeço ainda a todos aqueles que me incentivaram e à Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental que, forneceu os equipamentos necessários a esta investigação.

RESUMO

Vários métodos de amostragem e análise de partículas em suspensão na atmosfera foram discutidos. Os métodos mais utilizados, gravimétrico e refletância foram testados comparativamente e quanto à correlação entre seus resultados em dois locais distintos.

Os fatores intervenientes nos resultados obtidos foram estudados quanto à sua influência.

Os métodos gravimétrico e reflectância foram analisados quanto a exatidão dos resultados fornecidos e quanto ao seu significado higiênico em função da correlação existente entre concentração de partículas na atmosfera e danos à saúde.

A presente investigação levou o autor a concluir/por uma significativa diferença entre os resultados fornecidos pelos métodos em estudo, por uma correlação estratificada e variável de local para local entre eles, e por inadequacidade dos valores fornecidos por cada um dos métodos em estudo quanto ao fato de não fornecerem os valores de concentração de partículas na atmosfera mais correlacionados / com danos à saúde.

O autor sugere o uso ou o desenvolvimento de um / método que pelo menos separe as partículas nas frações respirável e não respirável e que permita uma análise posterior de cada uma das frações. Sugere ainda que concomitantemente sejam efetuados estudos epidemiológicos de correlação entre os valores obtidos e danos à saúde para determinação de novos padrões de qualidade do ar para partículas em suspensão na atmosfera.

SUMMARY

Various methods to evaluate concentrations of suspended particulate matter were discussed. The two most commonly used methods, gravimetric high volume sampler / and OECD reflectance method were tested to compare and correlate their results in two different places.

The interfering factors were studied to determine their influence on the results.

The hivol and reflectance methods were analysed according to the accuracy of the results and according to the hygienic significance as they correlate with health effects.

This investigation brought the author to the conclusion that there is a significant statistical difference between the results of the two methods. There are correlations between the methods, which are stratified, and vary from one place to the other. Finally, however the results are not the best estimate of the concentrations of suspended particulate matter that correlates with health effects.

The author suggests the use or the development of a new method that at least can separate the particles sampled into two fractions, one respirable and another / non-respirable.

Both fractions must be collected in such a way and in such quantities that allow for adequate analysis / afterwards. It is suggested also, that epidemiological / studies to correlate the results with health effects must be carried on at the same time in order to set new air quality standards for suspended particulate matter.

ÍNDICE

Página

1	TÍTULO	
11.	PÁGINA DE FACE	
111.	AGRADECIMENTOS	
1111.	RESUMO	
11111.	SUMMARY	
1.	INTRODUÇÃO	1
2.	ASPECTOS TEÓRICOS	5
2.1.	Material Particulado Disperso na Atmosfera	5
2.2.	Poeira Respirável	7
2.3.	Métodos de Amostragem e Análise de Partículas	9
2.4.	Fatores Intervenientes na Amostragem de Material Particu lado	22
2.5.	Erros de Leitura e Instrumentação	29
2.6.	Testes Estatísticos	30
2.7.	Análise de Custos	34
3.	SUMÁRIO DE INVESTIGAÇÕES ANTERIORES	36
4.	PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS	39
4.1.	Experimento nº 1: Comparação Hivol - Refletância	39
4.2.	Experimento nº 2: Teste do Método de Absorção de Raio β ..	45
4.3.	Experimento nº 3: Teste da Reproducibilidade do Método de Refletância	46
4.4.	Experimento nº 4: Teste da Influência da Velocidade de Captura	46
4.5.	Experimento nº 5: Teste da Influência do Comprimento dos Dutos	47
4.6.	Experimento nº 6: Teste da Influência da Velocidade de Transporte	48
5.	EXPERIMENTOS COMPLEMENTARES	48

ÍNDICE

Página

5.1. Experimento nº 7: Determinação da Distribuição do Tamanho da Partícula	49
5.2. Experimento nº 8: Observação da Cor e Aspecto das Amostras Coletadas	49
5.3. Experimento nº 9: Observação Microscópica de Amostras Coletadas em Filtros Membrana para Determinação de Tamanho de Partículas	49
6. RESULTADOS OBTIDOS - CÁLCULOS	53
6.1. Experimento nº 1	53
6.2. Experimento nº 2	57
6.3. Experimento nº 3: Teste de Reproducibilidade e Precisão.	58
6.4. Experimento nº 4: Comparação de Velocidades de Captura....	59
6.5. Experimento nº 5: Comparação do Comprimento dos Outos....	60
6.6. Experimento nº 6: Comparação de Velocidades de Transporte	61
6.7. Experimento nº 7	62
6.8. Experimentos 8 e 9	64
7. CÁLCULOS E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS	65
8. CONCLUSÕES	74
9. RECOMENDAÇÕES	76
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela

Página

1. PADRÕES DE QUALIDADE DO AR-PARTÍCULAS EM SUSPENSÃO	3
2. CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS USUAIS DE VARIOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE PARTÍCULAS EM SUSPENSÃO.....	21
3. EFICIÊNCIA DE COLETA DE FILTROS.....	28
4. CUSTO ANUALIZADO DOS MÉTODOS EM ESTUDO (Cr\$).....	35
5.1. Pares de Dados Obtidos em São Caetano do Sul.....	53
5.2. Pares de Dados Obtidos em São Paulo.....	54
6. RESULTADOS DO EXPERIMENTO Nº 2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	57
7.A- Resultados do Teste de Reproducibilidade	58
7.B- Resultados do Teste de Precisão	58
8. CONCENTRAÇÕES DE PARTÍCULAS EM SUSPENSÃO PARA DIFERENTES VELOCIDADES DE CAPTURA	59
9. CONCENTRAÇÕES DE PARTÍCULAS EM SUSPENSÃO PARA DIFEREN TES COMPRIMENTOS DE DUTO	60
10. CONCENTRAÇÕES DE PARTÍCULAS EM SUSPENSÃO PARA DIFEREN TES DIÂMETROS DE DUTO	61
11. MASSA FRACIONADA COLTADA NO ANDERSEN	62
12. PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS DAS CURVAS DE REGRESSÃO PARA SUAS DIVERSAS FORMAS : SÃO PAULO	67
SÃO CAETANO DO SUL	68
13. RESULTADOS DOS TESTES DE CORRELAÇÃO-HIVOL vs REFLETÂ CIA	73

ÍNDICE DE FIGURAS

<u>FIGURA</u>		<u>PÁGINA</u>
1	- DEFINIÇÃO DE POEIRA RESPIRÁVEL	8
2	- MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DA TAXA DE POEIRA SEDIMENTÁVEL	10
3	- MÉTODO DE AMOSTRAGEM DE FITA (TRANSMITÂNCIA DE LUZ)	12
4	- MÉTODO DO "HIGH VOLUME SAMPLER" - HIVOL	13
5	- MÉTODO DA REFLETÂNCIA DE LUZ - (OPS)	16
6	- MÉTODO DE ABSORÇÃO DE RAIOS β	18
7a.	- TREM DE CALIBRAÇÃO - MÉTODO DA REFLETÂNCIA DE LUZ..	42
7b.	- CALIBRAÇÃO - MÉTODO DO REFLETÔMETRO	43
8	- TREM DE CALIBRAÇÃO - MÉTODO DO HIVOL	44
9	- ESQUEMA DA CABEÇA ANDERSEN ADAPTADA AO HIVOL	51
10	- TRENS DE AMOSTRAGEM USADOS NA INVESTIGAÇÃO	52
11	- DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DE PARTÍCULAS - SÃO CAETANO DO SUL	63
12	- DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DE PARTÍCULAS - SÃO PAULO .	63
13a.	- DISPERSÃO DOS DADOS EM SÃO PAULO	69
13b.	- DISPERSÃO DOS DADOS EM SÃO PAULO	70
14a.	- DISPERSÃO DOS DADOS EM SÃO CAETANO DO SUL	71
14b.	- DISPERSÃO DOS DADOS EM SÃO CAETANO DO SUL	72

1. INTRODUÇÃO

Dentro de um programa de controle da poluição do ar numa dada região administrativa, o conhecimento das concentrações dos mais importantes poluentes presentes em dispersão na atmosfera desta região, é de fundamental interesse, pois / só com ele é possível, entre outros, o estabelecimento de planos de ação de emergência, o julgamento do cumprimento dos padrões de qualidade do ar previstos na legislação, a observação das tendências do problema da poluição do ar e o conhecimento dos efeitos da poluição do ar através de estudos epidemiológicos e toxicológicos^{1,2}.

Vários métodos, equipamentos e procedimentos têm sido propostos e utilizados para a avaliação das concentrações de material particulado na atmosfera³ em vários locais do mundo, poluente este, considerado dos mais importantes por estar presente em grandes quantidades na atmosfera de áreas urbanas e ser invariavelmente citado em casos graves de poluição do ar ocorridos em várias partes do globo terrestre.^{4,5,6}

Para a avaliação de material particulado na atmosfera do Estado de São Paulo a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB vem usando 5 métodos: um gravimétrico ("High Volume Sampler" - Hivol) oficialmente aceito pela / "United States Environmental Agency" e Secretaria Especial do Meio Ambiente - SEMA; outro (Refletância - OPS) utilizado e recomendado pelas agências governamentais do Império Britânico e pela Organização Panamericana da Saúde; outro (paper tape Sampler transmitância de luz) utilizado em redes automáticas com transmissão telemétrica de dados em várias redes estaduais de amostragem nos Estados Unidos da América; outro (absorção de Raios β atenuados - medida de radioatividade), um método relativamente recente em termos de produção comercial e ainda pouco utilizado; e finalmente, um dos primeiros métodos utilizados para avaliar poeira sedimentável ("dust fall bucket"). Os dois primeiros têm sido utilizados mais ampla e rotineiramente para / avaliar a qualidade do ar em termos de quantidade de partículas em suspensão na atmosfera⁷.

O primeiro deles é um método gravimétrico onde a determinação é feita pela relação entre a diferença de peso de um filtro de fibra de vidro e o volume amostrado, utilizando-se para a coleta da amostra um amostrador de grande volume ("High Volume Sampler" ou abreviadamente "Hivol"). O segundo método utilizado (abreviadamente OPS) é uma medida ótica obtida pela reflexão da quantidade de luz pela mancha causada pela deposição de material particulado sobre um filtro de celulose.

Paralelamente aos aspectos de significância estatística relativos ao número mínimo necessário de estações de amostragem ^{2,3,7,8,9} e a sua localização, e a frequência de amostragem, estão envolvidos outros problemas concernentes a vários fatores que alteram o valor obtido, aproximando-o ou afastando-o do valor real e fazendo com que, dentre outros aspectos a considerar quando da escolha de um método ou equipamento, devemos levar enfaticamente em consideração estes aspectos iminentemente técnicos.

Os objetivos da implantação de uma rede de estações de amostragem para a avaliação das concentrações de material particulado na atmosfera implicam em que os valores obtidos sejam tanto quanto possível acurados ou exatos, ou pelo menos passíveis de serem correlacionados com valores estimativos próximos dos valores populacionais verdadeiros. Como já foi mencionado, muitos são os usos da amostragem e análise de poluentes atmosféricos ^{1,2}. Pela sua grande importância, destaca-se a necessidade do conhecimento das concentrações de poluentes na atmosfera para correlacioná-las com efeitos danosos à saúde de populações, desta forma permitindo uma avaliação do risco a que esta sujeita a saúde dos componentes desta população. Assim é que foram determinados os chamados padrões de qualidade do ar, a partir de uma série de estudos epidemiológicos de correlação entre as concentrações dos poluentes na atmosfera e os efeitos detectados sobre a saúde das populações em estudo.^{4,10,11,12,13,14}. Os padrões de qualidade do ar são concentrações dos poluentes na atmosfera que não devem ser ultrapassadas de forma a proteger a saúde da população, nas condições em que são definidos. O conhecimento das concentrações é importante não somente no estabelecimento desta correlação, como também na observação permanente dos padrões pré-fixados comparando-os com os dados obtidos. A tabela nº 1 apresenta alguns

TABELA Nº 1 : PADRÕES DE QUALIDADE DO AR-PARTÍCULAS EM SUS-
PENSÃO.

TIPO DE LOCAL E/OU ENTIDADE	DE PADRÃO	MÉDIA ANUAL	MÉDIA DE 24 HORAS	OUTRAS
ESTADOS UNIDOS-EPA		75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ média geométrica anual	260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-
BRASIL - SEMA		80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ média aritmética anual	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-
ESTADO DE SÃO PAULO-CETESB		80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ média aritmética anual	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-
ESTADOS UNIDOS CALIFORNIA-APCD		60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ média geométrica anual	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-
ESTADOS UNIDOS ALLEGHENY COUNTRY		-	-	350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ média de 4 horas
ALEMANHA-VDI		-	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ média de 30 minutos
FRANÇA- PARIS		60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ média aritmética anual	-	-
JAPÃO		-	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ média de 1 hora

padrões de qualidade do ar para partículas em suspensão.

Mais especificamente, estudos de correlação entre concentrações de partículas em suspensão na atmosfera e efeitos detectados sobre a saúde foram realizados¹, levando a conclusões que vieram a determinar padrões de qualidade do ar para este importante poluente da atmosfera.

Desnecessário torna-se, portanto, enfatizar a grande importância que adquirem a fidelidade, a exatidão, a precisão, a especificidade e a reproducibilidade do método utilizado para determinar a concentração dos poluentes na atmosfera². De todos os principais poluentes da atmosfera, aquele que impõe mais e maiores dificuldades para obtenção de valores representativos de sua verdadeira concentração na atmosfera, através de amostragem e análise, são as partículas em suspensão. Tal fato deve-se principalmente à grande dependência existente entre a amostragem e análise de partículas e de vários parâmetros a elas associados, principalmente aqueles que ditam seu comportamento aerodinâmico, ótico e elétrico. Muitos são os métodos e equipamentos que têm sido desenvolvidos para tal fim³, porém pouco crédito pode ser dado quanto à sua capacidade de responder igualmente à estímulos idênticos (fidelidade) e à sua capacidade de fornecer valores próximos ao valor verdadeiro (exatidão), ainda quando devidamente calibrados.

É fato conhecido que partículas se depositam gravitacional, inercial ou difusionalmente, ou não, em função dos seus parâmetros característicos que determinam seu comportamento aerodinâmico, principalmente seu tamanho^{15, 16, 17}. As dimensões e distribuição geométrica e espacial do obstáculo também são importantes fatores determinantes da deposição ou não de partículas^{15, 16, 17}. Desta forma se comportam partículas quando são inaladas e transportadas pelos meandros do sistema respiratório. Este funciona como uma câmara cheia de obstáculos e re-entrâncias que devem ser transpostas pelas partículas inaladas, e apenas aquelas que conseguem transpor as barreiras e defesas do trato respiratório e atingir as partes mais profundas do mesmo são consideradas higienicamente importantes ou capazes de provocar maiores danos à saúde.

Este conceito é principalmente válido para partículas de material insolúvel em água, sendo apenas parcialmente verdadeiro

para partículas tóxicas e solúveis, capazes de causar danos sistêmicos.

Vários estudos sobre o comportamento aerodinâmico de partículas no trato respiratório¹⁶ levaram a modelos que permitem estimar a penetração de partículas nas partes mais profundas do trato respiratório, e desta forma estabelecer ou ratificar o conceito de partículas respiráveis^{16,17}. É quase intuitivo que instrumentos de amostragem que simulem este comportamento, fornecerão valores resultantes que estarão mais correlacionados com efeitos sobre a saúde

Ressalte-se que a grande maioria dos estudos epidemiológicos que levaram aos padrões de qualidade do ar para material particulado em suspensão na atmosfera, foram realizados no Império Britânico utilizando o método ótico de refletância de luz⁴. Este método e o método gravimétrico do amostrador de grandes volumes (HiVol) têm sido os mais comumente utilizados no mundo pelas agências de controle de poluição do ar, sendo mesmo considerados métodos-padrão por algumas delas.

Claro está que outros aspectos, tais como, preço do equipamento, custo de operação e manutenção, recursos humanos necessários, disponibilidade de peças e outros componentes para reposição etc, devem ser considerados em conjunto com os aspectos de representatividade dos valores obtidos como estimativa dos valores populacionais.

Desta forma, torna-se sobremaneira necessária a comparação dos valores obtidos pelos métodos existentes quando colocados paralelamente em igualdade de condições de amostragem e o conhecimento dos fatores que eventualmente os torne distintos, juntamente com uma análise de correlação entre estes valores fornecidos pelos métodos utilizados.

2. ASPECTOS TEÓRICOS

2.1. MATERIAL PARTICULADO DISPERSO NA ATMOSFERA

As várias fontes naturais e decorrentes das atividades humanas emitem para a atmosfera quantidades variáveis de material particulado que nela se dispersa passando a se submeter aos efeitos dos parâmetros meteorológicos e topográficos característicos da região, até atingirem os receptores.⁷

As partículas de ordem de grandeza tal que sua estabilidade na atmosfera torna-se impossível, em curto espaço de tempo se se dimentam , deixando de fazer parte da dispersão. Isto explica entre outras causas, o fato de ser logaritmo normal a distribuição do tamanho destas partículas na atmosfera de quantos ^{7,20} locais do Universo tiveram estudos realizados a este respeito, havendo pois, tendência a um maior número de partículas de menor tamanho.

As concentrações de material particulado em suspensão são fornecidas por qualquer dos equipamentos utilizados, instalados num dado local durante um dado período de tempo se apresentam aproximadamente de acordo com uma distribuição loga ritmo normal^{7,20}. Na presente investigação tais fatos foram / testados e comprovados como será visto em itens posteriores, por serem tais testes necessários, em vista das diferentes ca racterísticas existentes entre as atmosferas dos vários locais, bem como entre, seus parâmetros meteorológicos e topográficos.

Desta forma, as aproximadamente 500 toneladas diárias de partículas emitidas na atmosfera da Grande São Paulo²¹, interação, sofrem os efeitos dos vários campos de força e dos parâmetros meteorológicos e topográficos para enfim apre sentarem-se logaritmo normalmente distribuídas no que se refere às concentrações em massa e tamanho de partícula.

É propósito deste trabalho apresentar os vários mé todos utilizados para avaliar concentrações de partículas em suspensão na atmosfera, discutir mais profundamente os métodos mais comumente utilizados (gravimétrico e refletância) no continente americano e os fatores intervenientes na fidelidade, / exatidão e precisão destes métodos, tecer comentários básicos e fundamentais sobre a representatividade e significância destes procedimentos e finalmente fazer sugestões práticas de estudos e desenvolvimento de métodos mais adequados para evitar erros e enganos onerosos e irreparáveis.

Dada a larga utilização dos métodos gravimétrico e ótico (refletância), esta investigação, especificamente, também se propõe a analisar a significância estatística da diferença entre os valores fornecidos pelos dois métodos mencionados, / seu grau de correlação e alguns fatores que devem contribuir / para a existência desta diferença entre eles.

Para tanto durante o ano de 1973 foram mantidos em funcionamento conjunto em dois locais na area da grande/ São Paulo (Rua Heloisa Pamplona, nº 279 - S. Caetano do Sul e Rua Tamandaré, nº 649 - São Paulo) os equipamentos em estudo que forneceram ao final do ano, 183 pares de valores estimativos da concentração do material particulado em sus pensão na atmosfera destes locais. Alguns experimentos com plementares necessários foram executados em outras ocasiões.

O valor do presente estudo reside no fato de que é o primeiro a ser realizado na atmosfera da Grande São Pau lo, esperando-se que várias das conclusões dele decorrentes possam ser utilizadas noutras areas do Brasil e em outros / países Centro e Sul americanos que também se utilizam de equi pamentos como os em estudo e pela Organização Panamericana da Saúde que mantém uma rede de amostragem em toda a América La- tina.

2.2. POEIRA RESPIRÁVEL

Duas são hoje usuais definições de poeira respirá vel.^{16, 17} A primeira, definida e aceita pela " Atomic Energy Comission" é apresentada como mostrada na figura nº 1. A defi nição aceita pela British Medical Research Council está indi cada na mesma figura.

Qualquer instrumento que pretenda estimar a quanti dade de partículas respiráveis em suspensão na atmosfera, deve pois, apresentar uma curva de corte similar às que definem , poeira respirável na figura nº 1. E mais, devem obedecer a uma equação do tipo ¹⁶

$$P(dp) = K \cdot P'(dp) \dots\dots\dots(1)$$

onde P (dp) é a probabilidade de uma partícula de tamanho dp incluída na fração respirável separada pelo amostrador, K é u constante e P'(dp) é a probabilidade de uma partícula inalada de tamanho dp, depositar-se nas regiões alveolares do pulmão.

Um instrumento de amostragem projetado para tal, deverá pelo menos, possuir dois estágios de coleta. No primei ro as partículas não respiráveis deverão ser coletadas, atrav de um dos muito mecanismos existentes, tais como, centrifugaç

FIGURA Nº1 DEFINIÇÃO DE POEIRA RESPIRAVEL
(AEC ; BRMC)

impactação, elutriação, etc.

No segundo estágio, a poeira respirável será coletada para imediata ou posterior análise da quantidade coletada, em número, área superficial ou massa das partículas. Qual destas formas de concentração, número, área ou massa, é a mais correlacionada com o efeito danoso causado a saúde, ainda é motivo de estudos e discussões^{1,6}. Têm sido utilizadas concentrações em massa para avaliar o risco de exposições a poeira de carvão mineral e concentrações em área superficial para poeira de quartzo.

Vale ressaltar que tais conceitos são de grande importância quando se tratam de partículas que coletadas no trato respiratório não se dissolvem rapidamente e antes que os mecanismos de defesa do organismo se livrem delas. Se não é este o caso, a concentração total de partículas em unidade de massa deve ser usada e determinada, para avaliar os riscos da exposição.

2.3. MÉTODOS DE AMOSTRAGEM E ANÁLISE DE PARTÍCULAS

Muitos métodos têm sido propostos e utilizados para a determinação da concentração de partículas em suspensão na atmosfera³. Neste ítem os mais usualmente encontrados serão apresentados, e suas principais características de operação explicitadas.

a) Taxa de poeira sedimentável^{7, 19}

Trata-se de um dos mais antigos métodos utilizados e ainda de amplo uso até a década de 50. Mede tão somente a quantidade de partículas que se sedimentam gravitacionalmente, principalmente face às grandes dimensões das mesmas. O método consiste na exposição durante 30 dias de uma jarra padronizada (figura 2), findo os quais a água é evaporada e a poeira depostada pesada para fornecer um índice dado em unidades de toneladas por quilômetro quadrado por 30 dias, por proporcionalidade. Este método fornece resultados altamente inexatos pelo motivo já exposto de não estimar a poeira que permanece em suspensão.

FIGURA Nº2 METODO DE DETERMINAÇÃO DA TAXA DE
POEIRA SEDIMENTÁVEL

b) Método da Transmitância de Luz²² ("Paper Tape Sampler")

Neste método um fluxo de ar de 11 litros por minuto é feito passar por uma fita de papel durante intervalos de tempo definidos e pré-fixados (figura 3). A mancha de 1,27cm de diâmetro, causada pela deposição das partículas carregadas pelo fluxo de ar sobre a fita é de imediato ou posteriormente analisada quanto à quantidade de luz que transmite-se através dela, comparando-a com a quantidade de luz que passa através da mesma fita limpa. Os dois valores de transmitância encontrados são introduzidos na relação 2 para cálculo do chamado índice de sujidade (IS), que indiretamente estima a quantidade de partículas em suspensão na atmosfera.

Os principais parâmetros operacionais do amostrador estão na tabela 2

$$IS = \frac{10^5}{L} \times \log \frac{100}{T} \quad (COH/1000pés) \dots\dots\dots (2)$$

Sendo L o comprimento equivalente da amostra e T a transmitância

c) Método do Amostrador de Grandes Volumes²³
("High Volume Sampler - Hivol")

O Hivol esquematizado na figura nº 4 é um equipamento utilizado como padrão em vários países e estados para coletar amostras de material particulado em suspensão na atmosfera⁷.

Consta basicamente de um porta-filtro que suporta um filtro de fibra de vidro de 8x10 polegadas que coleta as partículas dispersas no fluxo de ar feito por ele passar por um conjunto motor ventilador, que pode ser regulado para vazões de 30 a 60 pés cúbicos por minuto. O conjunto é montado dentro de um abrigo de alumínio que contém um mecanismo regulador de tempo para permitir funcionamento semi-automatizado do Hivol e um graficador que registra a vazão amostrada durante o período fixado.

O filtro após as devidas precauções para eliminação do efeito da umidade do laboratório é pesado antes e após a amostragem sendo a concentração calculada por

$$C = \frac{P_f - P_i}{V_a} \dots\dots\dots (3)$$

FIGURA Nº 3 METODO DE AMOSTRADOR DE FITA (TRANSMITÂNCIA DE LUZ)

FIGURA Nº4 MÉTODO DO "HIGH VOLUME SAMPLER" — HIVOL

C = concentração em $\mu\text{g}/\text{m}^3$

p_f = peso final do filtro em μg

p_i = peso inicial do filtro em μg

V_a = volume amostrado em m^3

Cohen²⁴ demonstrou que a operação de Hivols com diferentes vazões pode conduzir a erros. Através da comparação / de dados obtidos experimentalmente chegou a uma diferença de / 1% entre os valores fornecidos por Hivols operados a 60 e 50 cfm e a uma diferença de 3,8% quando operados a 60 e 40 cfm. O investigador atribuiu esta diferença, à perda de partículas sub-micrônicas através dos poros do filtro devido à maior velocidade de filtração, apesar de admitir a alta eficiência dos filtros de fibra de vidro na coleta de partículas maiores de 0,3 microns. Admite ainda o autor que a diferença de vazões e a diferença de velocidades de captura das partículas, mas não é conclusivo quanto ao efeito deste fator.

Clements, McMullen, Thompson e Akland²⁵ instalaram pares de Hivols em 25 locais para determinar a comparabilidade dos pares de amostras coletadas em condições de campo. Admitindo como fontes de erros introduzidos, a velocidade do motor, a geometria do abrigo, a diferença de qualidade entre filtros, os erros de pesagem dos filtros, as perdas de material coletado, e os erros de leitura do volume amostrado e calibração. Concluiu que 50% dos valores obtidos diferem menos de $\pm 4,5\%$ do valor real (tomado como a média dos pares) e que 90% dos valores obtidos diferem menos de $\pm 14\%$ do valor real.

McKee, Childers, Saenz, Stanley e Mergeson²⁶ investigaram a repetitividade e a reproducibilidade do Hivol, encontrando um desvio padrão relativo (coeficiente de variação) de 3% para um analista (repetitividade do método). Determinou-se um desvio padrão relativo para estabelecer a variação entre laboratórios de 3,7% (reproducibilidade do método) e a mínima quantidade de material detectável de 3 mg (95% de confiança) correspondente a 1 - 2 miligramas por metro cúbico em 24 hs.

O Hivol pode adaptar um impactador Andersen para a determinação da distribuição de tamanho das partículas.

d) O Método da Refletância (Estação OPS)²⁷

Neste método faz-se passar ar, durante 24 horas, a través de um papel de filtro. Determina-se a refletividade da mancha formada, e mediante uma curva padrão, deduz-se a concentração de poeira no ar, medida em "unidades internacionais de fumaça normalizada".

As unidades internacionais de fumaça normalizada, correspondem a uma média de acordo com medições realizadas na França e na Inglaterra pela Direção de Assuntos Científicos / da Comissão Européia para a Cooperação Econômica. Seu emprego tem a facilidade de comparação com outras estações internacionais, podendo serem convertidas em unidades absolutas para cada estação mediante um fator de conversão.

O ar amostrado (cerca de 5,2 litros/minuto) entra por uma boquilha de 3 a 5 cm de diâmetro e através de uma tubulação plástica de meia polegada chega a um porta filtro onde um filtro de celulose ($\phi=55\text{mm}$, Whatman nº 1) coleta as partículas em suspensão. O fluxo de ar após, irá borbulhar / num vidro Dreshell contendo uma solução absorvente de peróxido de hidrogênio para determinação da concentração de dióxido de enxofre e tem sua vazão medida por um gasômetro seco / (Kromschroder). A energia é fornecida ao sistema por uma bomba de vácuo Little Giant modelo 13152 da Gelman Instrument Co.

Após a amostragem, a refletância da mancha de poeira depositada, é comparada com a refletância do filtro limpo (branco) em um refletômetro Evans Electroselenium Ltd.²⁸ Vários valores da refletância em diversos pontos da mancha são anotados e a refletância média é calculada para utilização no cálculo do resultado. Após 10 leituras o refletômetro é recalibrado. A figura 5 mostra o trem de amostragem e o refletômetro está na figura 7b.

O cálculo da concentração é feito da seguinte forma:

- Calcula-se o índice de obscurecimento (I) mediante a seguinte fórmula:

$$I = 100 - R \dots\dots\dots(3)$$

FIGURA Nº 5 METODO DA REFLETANCIA DE LUZ — OPS

- Calcula-se a área (A) da mancha do papel de filtro em cm^2 . Esta será a mesma para todos os porta filtros (Holders), alcançando até 20 cm^2 para os de bronze.

- Calcula-se o volume (V) de ar amostrado, em m^3 .

- Calcula-se a concentração de poeira em suspensão no ar (P) mediante a seguinte fórmula:

$$P = \frac{C \times A}{V} \dots\dots\dots(5)$$

Os resultados devem ser expressos em microgramas de poeira normalizada (Padrão) por metro de ar.

e) O Método de Absorção de Raios β atenuados^{29,56}

Na figura 6 está esquematizado o amostrador / PW 9790 da Philips utilizado neste trabalho e que determina a concentração de partículas em suspensão na atmosfera por absorção de raios β . O ar é feito entrar pela entrada (amostrador / de poeira) com controle de temperatura e após passar ou não / opcionalmente pelo elutriador é filtrado em uma fita de papel. Por comparação entre a quantidade de radiação β absorvida pela fita limpa e pela mancha de partículas depositadas sobre a fita é determinada a concentração de partículas. Este procedimento, pelo menos teoricamente, elimina a interferência da cor das partículas, existente quando a análise é feita por absorção de luz branca visível. O princípio de funcionamento baseia-se na teoria que segue:

A atenuação de raios β é uma função exponencial representada por,

$$I = I_0 \exp - (K \Delta m_t) \dots\dots\dots(6)$$

onde I - intensidade de radiação β no detetor
I₀ - intensidade de radiação β na fonte
K - coeficiente de absorção
 Δm_t - massa total por unidade de área

Sabendo-se que a contagem no detetor (N) é proporcional à intensidade,

$$N = \alpha I \dots\dots\dots(7)$$

FIGURA Nº6 METODO DE ABSORÇÃO DE RAIOS β

e comparando com a atenuação na fita limpa (N')

$$N' = \alpha I_0 \exp - (K \Delta m_0) \dots\dots\dots (8)$$

onde

Δm_0 - massa por unidade de area da fita limpa.

Com uma camada de partículas sobre a fita e contado um tempo T_s , a contagem total N_T'' será,

$$N_T = N_T' T_s = \alpha I_0 T_s \exp - (K \Delta m_0) \dots\dots\dots (9)$$

$$N_T'' = \alpha I_0 \exp - \{ K (\Delta m_0 + \Delta m) \} \dots\dots\dots (10)$$

onde Δm - massa por unidade de area da camada de partículas

Com a maior atenuação causada pela deposição das partículas é necessário que o tempo de contagem seja aumentado, digamos $T_s + \Delta t$.

Desta forma pode-se chegar a,

$$\ln \left(1 + \frac{\Delta t}{T_s} \right) = K \Delta m \dots\dots\dots (11)$$

Donde Δm pode ser tirado, e sendo,

A- area da camada de partículas sobre a fita

Q- vazão amostrada

C- concentração de partículas na atmosfera

T_a - tempo de amostragem

obtem-se

$$C = \frac{A \Delta m}{Q T_a} = \frac{A}{K Q T_a} \ln \left(1 + \frac{\Delta t}{T_s} \right) \dots\dots\dots (12)$$

Sendo T_s bastante maior que Δt , pode assumir primeira ordem de aproximação linear e explicitar-se a concentração (C),

$$C = \frac{A \Delta t}{K Q T_a T_s} \dots\dots\dots (13)$$

Desta forma o tempo adicional necessário para uma mesma contagem mede a concentração de partículas na atmosfera uma vez que os demais parâmetros da relação são constantes ou ajustados para um dado valor. O instrumento permite ajuste para operar com pares de valores diferentes de

Q (3, 1,5, 1 e 0,75 m³/hora) e
 T_a (1,2,3 e 4 horas) e excepcionalmente de
 A (2cm², 3cm², 1cm²).

O instrumento tem funcionamento automático (servo-mecanismo) e fornece sinal que pode ser telemetricamente transportado para uma Estação Central. O procedimento de calibração, tanto das vazões, como da absorção de raios β é padronizada, sendo esta última feita por intermédio de uma lâmina de acetato padrão cuja massa por unidade de área (Δm) é de 0,82 mg/cm².

Tanto a tomada de amostra (PW 9737), como o elutriador (PW 9738/00) são de utilização optativa. A tomada de amostra é calibrada para que, com vazão de 3m³/hora provoque um corte em partículas maiores que 10 μ . O elutriador se usado com esta vazão provoca um corte nas partículas maiores que 5 μ .

As principais características operacionais deste / instrumento estão na tabela 2.

f) Outros métodos de determinação de partículas em suspensão na atmosfera

f.1. Contadores de Partículas

Os chamados contadores de partículas são em geral instrumentos baseados em medidas óticas de leitura direta, / quase sempre separando-as por classe de tamanho por espalhamento de luz.

Estes instrumentos são frequentemente classificados de acordo com o número de partículas contadas por vez. Entre aqueles que contam uma partícula por vez destacam-se por serem mais utilizados os fabricados pela Baush and Lomb, pela Royco Instruments Inc., e pela Climet. Estes instrumentos determinam o número de partículas por faixa de tamanho pela medida da quantidade de luz espalhada no lóbulo dianteiro⁸ ampliadas por um fotomultiplicador. Cada um dos instrumentos existentes no mercado possui suas características próprias de ângulo de medida, vazão de amostragem, faixas de tamanho de

TABELA 2

Características Operacionais usuais de vários métodos de avaliação de partículas em suspensão.

PARÂMETRO MÉTODO OU AMOSTRADOR	PRINCÍPIO	VAZÃO DE AMOSTRAGEM	TEMPO USUAL DE AMOSTRAGEM	VELOCIDADE DE CAPTURA	ÁREA DO BOCAL DE ENTRADA	ÁREA DE FILTRAGEM	VELOCIDADE DE FILTRAGEM	OBSERVAÇÕES
TAXA DE POEIRA SEDIMENTÁVEL	GRAVIMÉTRICO	n.s.d.	30 dias	n.s.d.	100 cm ²	n.s.d.	n.s.d.	Made apenas poeira sedimentável. Não há meio filtrante
"Paper Tape Sampler"	Transmitância de luz	1 l/min.	24 horas c/amostras de 2 em 2 horas	6 cm/s	30,25cm ²	1,6cm ²	115cm/s	Filtro de papel em fita
HIVOL	Gravimétrico	40-60 cfm	24 horas	30,9 cm/s a 46 cm/s	600 cm ²	406 cm ²	46-68cm/s	Filtro de Fibra de Vidro
Absorção β	Absorção de raios β	3m ³ /h	40 min.	1,2cm/s	720cm ²	2 cm ²	416 cm/s	Filtro de Papel em Fita
OPS/refletância	Refletância de luz	5,2 l/min	24 horas	4,3 cm/s	26 cm ²	10 cm ²	8,6 cm/s	Filtro de Papel

partículas etc). O maior problema existente na utilização destes instrumentos reside no fato de que a calibração dos mesmos é feita com o uso de partículas esféricas de poliestireno de diâmetros conhecidos, enquanto que em sua utilização prática as partículas são dos mais variados tamanhos, forma e composição possíveis. Uma vez que a quantidade de luz espalhada por uma partícula depende não só do seu diâmetro, mas também da sua forma e do coeficiente de refração do material³, os valores obtidos são muitas vezes não exatos e afastados dos valores reais em mais de 100%. Desta forma, a utilização destes / instrumentos é contra indicada a não ser para fazer estimativas grosseiras e rápidas.

Outros, cujo representante mais conhecido e utilizado é o chamado Nefelômetro, contam várias partículas de uma só vez, também utilizando o princípio de medir o espalhamento de luz. O citado instrumento tem por objetivo principal a medida de campo visual através da medida de luz espalhada (8-180°) pelas partículas contidas numa câmara de cerca de 1 litro de volume. Vários autores^{54, 55, 57} têm correlacionado os valores fornecidos pelo Nefelômetro (coeficiente de espalhamento) com concentrações em massa de partículas na atmosfera.

Além do fato de ser um instrumento de fácil manuseio, o Nefelômetro tem a grande vantagem de ser um instrumento automático de leitura direta.

f.2. Contagem em Microscópio Ótico

Este é um dos métodos mais antigos e tradicionais usados para a determinação da concentração de partículas na atmosfera¹⁷. Com o auxílio de um graticulo geométrico (Porton) devidamente calibrado, o número de partículas em uma amostra (filtro ou meio líquido) pode ser contado e estimado. O diâmetro obtido com o uso de microscópio é um diâmetro de área projetada de maior estabilidade. Os valores obtidos, juntamente com a densidade média e fatores de forma¹⁸, permite determinação da distribuição de tamanho em peso que plotada em papel logarítmico normal possibilita o cálculo estimado da concentração em peso das partículas em suspensão. Os grandes inconvenientes deste método residem no excesso de trabalho, na grande probabilidade dos erros humanos envolvidos e no caráter discreto das

amostras de curta duração, viado que um número excessivo de partículas no filtro, atrapalha e não impossibilita a sua contagem.

f.3. Outros métodos¹, tais como, a utilização de fotômetros com raios laser, holografia, instrumentos de princípio elétrico de detecção, instrumentos piezométricos são usados menos comumente.

2.4. - FATORES INTERVENIENTES NA AMOSTRAGEM DE MATERIAL PARTICULADO.

2.4.1. - TAMANHO, FORMA E DENSIDADE DAS PARTÍCULAS

Nos métodos em estudo a coleta do material particulado é feita mediante a passagem de um dado volume de ar por um meio filtrante no qual as partículas são retidas. Os principais mecanismos de coleta que ocorrem na filtração são a difusão, a interceptação e a impactação inercial^{15,16,30} mecanismos estes dependentes de características das partículas, tais como, tamanho, forma e densidade, com relação a eficiência de coleta do meio filtrante.

A eficiência de coleta é dependente do parâmetro difusional³⁰ D_{DIF} , do parâmetro de impactação ψ^{30} e do parâmetro de interceptação R^{30} . Em itens seguintes, este assunto está abordado com maior profundidade, sendo, inclusive fornecidos os parâmetros característicos dos mecanismos de coleta de forma a possibilitar a visualização perfeita da interferência destes fatores sobre o rendimento de coleta.

O tamanho aerodinâmico equivalente¹⁷ das partículas desempenha importante papel na eficiência com que elas são capturadas no bocal de entrada do amostrador³¹. Este assunto tem merecido recentes estudos e será motivo de comentários no sub-ítem que se segue.

2.4.2 - VELOCIDADE DE CAPTURA

Davies³¹ propôs critérios para o dimensionamento de bocais de amostradores em função da movimentação do ar ambiente, posição do bocal, das dimensões das partículas e outros fatores, de forma a fixar uma dada velocidade de captura das partículas, com a finalidade de evitar uma seleção das mesmas quanto ao seu tamanho por tendências à sedimentação e inércia. Tais critérios foram formulados para partículas esféricas de densidade unitária ou seja, tornando obrigatória a tradução do tamanho, forma e densidade das partículas em seu diâmetro aerodinâmico /

equivalente. Além disto se desprezam influências de campos elétricos e magnéticos e a sedimentação difusional ao se considerar apenas partículas de tamanho superior a 1μ .

O tamanho médio das partículas dispersas em atmosfera urbanas é em geral inferior a $1\mu^{44,45}$, havendo, no entanto, uma porcentagem delas que ultrapassam este valor, e para estas é que são aplicáveis tais critérios.

Corn et al³² e depois Hammad³³, estudaram amostradores de poeira utilizados em ambiente de trabalho quanto à sua observância aos critérios propostos por Davies³¹.

2.4.3. - COR DAS PARTÍCULAS

A percepção de cores pela vista humana é consequência direta da quantidade e do comprimento da onda de luz refletida pelos corpos. Os corpos negros caracterizam-se por absorver a quase totalidade da luz em todos os comprimentos de onda visíveis e emitir quantidades desprezíveis de luz e desta forma aparecem negros a nossos olhos. Um corpo branco caracteriza-se por refletir praticamente toda a luz visível incidente sobre ele.

Quando a reflexão de luz de um filtro sobre o qual partículas se depositaram é medida por um refletômetro, a cor destas partículas decisivamente, influirá no valor obtido. Assim quanto mais escuras (maior porcentagem de negro) forem as partículas, menor será a quantidade de luz refletida, para uma mesma quantidade de partículas depositadas sobre o filtro. Experimentos não publicados comprovam este fato. Massas iguais de partículas de carvão (100%) e de carvão e talco (50% de cada) foram adequadamente e homogeneamente depositadas sobre filtros (Whatman nº 1). A reflexão dos filtros foi medida em cada caso (várias amostras de mesma massa e várias massas diferentes) e uma diferença estatisticamente significativa foi obtida. Uma relação não linear para várias porcentagens está sendo obtida em experimento ainda não terminado.

Muito pouco tem sido desenvolvido teoricamente no campo de reflexão de partículas depositadas sobre filtros.

2.4.4. - CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO

Em se fixando o tempo de amostragem em 24 horas a maior ou menor concentração de material particulado na atmosfera pode acarretar problemas na amostragem. Grandes concentra

ções ocasionam bloqueio do meio filtrante com aumento na perda de carga, queda na vazão de amostragem e portanto na velocidade de filtragem cuja influência na eficiência de coleta tem sido investigada³⁴. No caso de medidas óticas como a feita por refletância desconhece-se o efeito da deposição de várias camadas de partículas. Pequenas concentrações influenciam os valores obtidos em vista da sensibilidade dos instrumentos complementares como balanças, refletômetros, etc.

2.4.5.- DEPOSIÇÃO DE PARTÍCULAS ANTES DO FILTRO

Uma vez que no Hivol, o primeiro componente do amostrador é o filtro tal influência não existe. No entanto, o método ótico e no método de absorção de radiação β em estudo se utilizam de equipamentos nos quais o fluxo de ar amostrado entra pelo bocal e escoar por uma tubulação plástica / até atingir o filtro coletor.

A deposição de partículas se dá em função da velocidade de transporte (vazão e diâmetro do tubo) para cada tamanho de partícula por difusão e sedimentação gravitacional em trechos retos e principalmente por impactação e interceptação em mudanças de direção (cotovelos). Efeitos de deposição eletrostática são admitidos³⁵. Em cotovelos³⁵ a probabilidade de deposição inercial P_1 é proposta

$$P_1 = \frac{2l_1 K}{D} \dots\dots\dots (14)$$

onde K = constante de proporcionalidade

D = diâmetro do tubo

l_1 = distância de parada

sendo

$$l_1 = \frac{U_t V \sin \theta}{g} \dots\dots\dots (15)$$

onde V = velocidade de transporte

θ = ângulo de curvatura do cotovelo

g = aceleração da gravidade

A magnitude percentual de deposição (I) é dada por

$$I = \frac{P_1}{1 + P_1} \dots\dots\dots (16)$$

Davies³⁶, Fuchs¹⁵ e Hidy³⁷ propõem para deposição gravitacional de partículas em escoamento laminar em tubos / circulares horizontais um fator de deposição FP desenvolvido por Natanson e independentemente por Thomas.

$$FP = \frac{2}{\pi} (2\psi \sqrt{1 - \psi^{2/3}} + \arcsen \psi^{1/3} - \psi^{1/3} \sqrt{1 - \psi^{2/3}}) \dots (17)$$

onde

$$\psi = \frac{3U_t l}{4D\bar{U}} \dots\dots\dots (18)$$

l = comprimento do tubo

$\bar{U}$ = velocidade média de transporte

D = diâmetro do tubo

e para deposição difusiva

$$\frac{C}{C_0} = 0,818 \exp (- 14,6272 \Delta) + 0,0976 \exp(-89,22 \Delta) + 0,01896 \exp(-212 \Delta) \dots\dots\dots (18)$$

sendo

$$\Delta = \frac{\rho_f D_f}{\mu} \times \frac{l}{Re} \times \frac{1}{D} \dots\dots\dots (19)$$

onde

μ = viscosidade do fluido

ρ_f = densidade do fluido

Re = número de Reynolds

l = comprimento do tubo

D = diâmetro do tubo

C = concentração na saída do duto

C_0 = concentração na entrada do duto

D_f = coeficiente de difusão

Strom³⁵ investigou a deposição de partículas de 2 - 5 μ em tubos encontrando uma deposição mínima quando o número de Reynolds $Re \sim 2800$. Para valores inferiores do número de Reynolds predominou a deposição nos dutos horizontais e para valores superiores de Re predominou a deposição inercial / nas curvaturas (cotovelos). Demonstrou ainda que a deposição de partículas eletricamente carregadas é mais rápida que das /

neutras. Os valores de porcentagem depositada nos tramos horizontais estão satisfatoriamente em acordo com os valores calculados teoricamente pela relação abaixo exceto para grandes valores de Reynolds.

$$D = 1 - e^{-2\beta/\pi} \dots\dots\dots (20)$$

$$\beta = \frac{LU_t}{R\bar{U}} \dots\dots\dots (21)$$

sendo L = comprimento do duto (m)
 U_t = velocidade terminal da queda (m/s)
 $\bar{U}$ = velocidade do fluxo (m/s)
 R = raio de duto (m)

2.4.6. - VELOCIDADE DE FILTRAGEM

A coleta de partículas em meios filtrantes é feita por vários mecanismos, entre eles difusão, impactação, interceptação, deposição gravitacional e eletrostática e ação / de peneiramento³⁰. Vários estudos da eficiência de coleta de partículas por vários meios filtrantes em condições e a determinação do tamanho de partícula que provoca a eficiência mínima, tem sido feitos^{34, 38}. Tem sido demonstrado que a eficiência de coleta de uma fibra depende basicamente dos mecanismos de impactação, interceptação e difusão sendo desprezíveis os efeitos dos outros mecanismos³⁰. Várias relações empíricas e teóricas tem sido propostas para expressar a eficiência de coleta de uma fibra³⁶, como exemplo, Davies³⁶ sugere,

$$n_g = \{R + (0,25 + 0,4R) K_F - 0,0263RK_F^2\} (0,16 + 10,9\beta - 17\beta^2) \dots\dots\dots (22)$$

Esta equação juntamente com,

$$\frac{n}{n_o} = \exp \{- 2\beta\eta_g b/\pi R_f (1 - \beta) \} \dots\dots\dots (23)$$

permite o cálculo da eficiência total de filtragem, sendo

n = concentração de partículas que passe o filtro
 n_o = concentração de partículas antes do filtro
 β = densidade de aglomeração do filtro
 $\beta = 0,04 - 0,12$ (filtros de fibra de vidro)

R_f = raio da fibra

b = espessura do filtro

η_e = eficiência de coleta de uma fibra

$$R = \frac{R_p}{R_f} \quad \frac{\text{raio da partícula}}{\text{raio da fibra}} = \text{parâmetro de interceptação} \dots (24)$$

K_F = soma dos parâmetros de impactação (Ψ) e difusão (D_{DF})

$$\Psi = \frac{2\rho R_p^2 V_o C}{9\mu R_f} \dots \dots \dots (25)$$

$$D_{DF} = \frac{\Delta}{V_o R_f} \dots \dots \dots (26)$$

onde ρ = densidade da partícula

V_o = velocidade da partícula

C = coeficiente de Cunningham

μ = viscosidade do fluido

Δ = coeficiente de difusão

Filtros de fibra de vidro têm sido testados quanto à sua eficiência, apresentando altas eficiências (maior que / 99,9%) na coleta de partículas de $0,3\mu^3$,³⁴. Filtros de celulose (Whatman nº 1) apresentam eficiências de coleta inferiores. Stafford e Ettinger³⁶ testaram a eficiência de coleta de filtros Whatman nº 41 e IPC 1478 (fibra de vidro trançada) para várias velocidades de filtração e diâmetros de partícula.

Concluíram que Whatman41 exibe mínima eficiência experimental para partículas entre $0,234\mu$ e $0,312\mu$, ocorrendo para partículas menores à medida que a velocidade aumenta. A medida que as partículas se depositam no filtro a eficiência aumenta para baixas velocidades (20 fpm) e à altas velocidades (maior que 100 fpm) a eficiência inicialmente cresce para então decrescer com o acúmulo de partículas. A eficiência do IPC 1478 decresce com a diminuição do tamanho das partículas até $0,176\mu$ com velocidades acima de 15 fpm. Abaixo de 15 fpm a eficiência mínima ocorre para partículas de aproximadamente $0,5\mu$.

Silverman¹⁷ tabelou dados experimentais de eficiência de coleta de filtros comercialmente disponíveis. Um resumo desta tabela para filtros utilizados na presente investigação consta da tabela nº3

TABELA Nº 3 : EFICIÊNCIA DE COLETA DE FILTROS

MEIO FILTRANTE	V = 20 fpm		V = 50 fpm	
	Eficiência em contagem (%) (a)	DOP-Eficiência ótica (%) (a)	DOP-Eficiência ótica (%) (a)	Uranina - Eficiência em peso (%) (b)
Whatman 1	50,0	57,0	89,0	-
MSA 1106 B	-	-	-	>99,9
AEC All - glass	-	>99,99	>99,99	-

NOTAS: a) Partículas de DOP com $0,3\mu$ (monodisperso)

b) Partículas de Uranina com $0,27\mu$ (diâmetro médio em massa)

2.5 - ERROS DE LEITURA E INSTRUMENTAÇÃO

Muitas medidas são realizadas quando se trata de amostrar um poluente e determinar sua concentração média num período de tempo. Ainda que calibrados previamente, muitos / instrumentos de medida de grandezas, tais como, temperatura, pressão, unidade, pressão cinética, vazões, etc, fornecem valores portadores de erros que se adicionam e/ou se compensam. Ou seja, a medida de um dado parâmetro pode ser decorrente da medida de dois ou mais parâmetros e os erros cometidos na media de cada um destes parâmetros componentes podem se somar ou se compensar para fornecer o erro do parâmetro resultante. Tratam-se de erros difíceis de evitar ou mesmo caracterizados por total impossibilidade de não estarem presentes a partir / de um dado limite. No entanto, seu conhecimento é de suma importância assim como o conhecimento dos maiores contribuintes para a sua magnitude total. Por exemplo, na determinação da velocidade de um fluxo gasoso utilizando um tubo de Pitot, a maior fonte de erro é a medida da pressão cinética.

Pode-se dizer que erros são basicamente de dois / tipos: erros de leitura (erros ao acaso) e erros do equipamento (erros sistemáticos). Os erros sistemáticos podem / transportar o valor medido para ambos os lados com relação ao valor real^{3, 39} e podem ser removidos com cuidadosa calibração e operação adequada do instrumento de medida. No entanto, erros de leitura podem apenas ser minimizados dentro de certos limites, através de cuidadosa leitura da escala e através da utilização de instrumentos de melhor qualidade, mais sensíveis e mais precisos. Estes serão os erros objetos deste item.

A determinação do erro total mais provável envolve uma apreciação estatística dos erros componentes, uma vez que, os erros de leitura estão normalmente distribuídos em / torno da média verdadeira³⁹. No entanto, se desejarmos conhecer o erro máximo que pode ser cometido, ou seja, se admitirmos que os erros componentes sempre se somem, passaremos a não depender de um enfoque estatístico e simplesmente somar os erros componentes máximos³⁹.

Este método chamado logarítmico-diferencial pode / ser expresso como segue³⁹.

$$W = \frac{ABC}{D} \dots\dots\dots(27)$$

onde

W = parâmetro a ser avaliado

A,B,C,D, = parâmetros componentes

$$\frac{dW}{W} = \frac{dA}{A} + \frac{dB}{B} + \frac{dC}{C} - \frac{dD}{D} \dots\dots\dots(28)$$

e o erro percentual de W (%E_w)

$$\%E_w = \frac{dW}{W} \times 100 \dots\dots\dots(29)$$

Quando se deseja avaliar a concentração de um dado poluente através de amostragem, alguns parâmetros componentes frequentemente necessitam ser determinados e a apresentação / dos erros envolvidos em sua determinação é conveniente.

Na determinação de concentrações de material particulado em suspensão pelos métodos em estudo estão envolvidos / os parâmetros correspondentes a determinação de massa (balanças), volume (medidor de volume), tempo (medidor de tempo) correções de temperatura (termômetro) e pressão (manômetro) e determinação da quantidade de luz refletida (refletômetro).

2.6 - TESTES ESTATÍSTICOS^{40, 41, 42, 43}

2.6.1 - SIGNIFICÂNCIA DA DIFERENÇA DE DUAS MÉDIAS

Ao se amostrar duas populações pode ocorrer que fatores estranhos causem uma diferença significativa entre as médias obtidas quando em realidade esta diferença não existe⁴⁰, ou pode ainda ocorrer que estes mesmos fatores causem uma redução ou mesmo o desaparecimento de uma real diferença entre / elas. Uma das ferramentas que se pode utilizar para superar em parte esta dificuldade, é a observação de pares de valores que sejam na medida do possível iguais no que diz respeito a estes fatores, ou seja de modo que os fatores estranhos afetem de / igual forma a cada elemento do par. Neste caso se assumirá / que o fator atua de forma a aumentar ou diminuir cada uma das médias de um valor constante e que a diferença removerá o efeito.

Vale ressaltar que ao se lançar mão de tal procedimento, por se supor a existência dos fatores estranhos, há uma perda no poder do teste⁴⁰ ($N - 1$ graus de liberdade) em relação aos $2N - 2$ graus de liberdade do teste entre duas médias. No entanto, para grande número de números ($N > 10$) o aumento da probabilidade de aceitação de uma hipótese falsa é pequeno⁴⁰. No caso de duas avaliações de uma mesma população, apesar de que não se pode considerar como aleatórias as observações, pode-se assim considerar as diferenças⁴⁰. O intervalo de confiança para a diferença de duas médias ($\bar{d}$) é dado por⁴⁰

$$\bar{d} - t_{\alpha/2} \frac{S_d}{\sqrt{N}} < \mu_1 - \mu_2 < \bar{d} + t_{1-\alpha/2} \frac{S_d}{\sqrt{N}} \dots\dots\dots (30)$$

quando a variância populacional (σ) é desconhecida, onde S_d é o desvio padrão das diferenças.

2.6.2 - CORRELAÇÃO ENTRE DUAS VARIÁVEIS ALEATÓRIAS

Problemas de correlação entre duas variáveis aleatórias surgem sempre que há o interesse em se conhecer uma eventual relação entre elas. Estes problemas são em geral expressos na forma de determinação de um coeficiente de correlação populacional ρ , estimado através de amostragem por⁴¹,

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1) S_x S_y} \dots\dots\dots (31)$$

que pode assumir valores entre -1 e +1 sendo

$R=1$ correlação linear direta

$R= -1$ correlação linear inversa

$R= 0$ correlação nula ou independência

Estes conceitos exigem entre outras condições, a de normalidade da distribuição das duas variáveis aleatórias.

Verificada esta condição pode-se testar a independência entre as variáveis uma vez que para valores de R próximos de zero não há razões suficientes para se duvidar da independência entre elas. Dixon⁴⁰ sugere para tal o uso de tabelas especialmente construídas para este fim. Para testar a confiabilidade do coeficiente de correlação amostral (R) Hoel⁴³ sugere a transformação para a variável

$$W = \frac{1}{2} \ln \frac{1 + R}{1 - R} \dots\dots\dots (32)$$

normalmente distribuída com média $\mu_w = \frac{1}{2} \log \frac{1+\rho}{1-\rho}$ (33)

e desvio padrão

$$\sigma_w = \frac{1}{\sqrt{n-3}} \text{ (34)}$$

Em muitos problemas estatísticos não se pode assumir a normalidade das variáveis aleatórias cuja correlação se estuda. Nestes casos há necessidade de se lançar mão de testes não paramétricos como o coeficiente de correlação não paramétrico

$$R = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n(n^2 - 1)} \text{ (35)}$$

Na presente investigação demonstra-se que a distribuição das variáveis aleatórias é logaritmo normal e conseqüentemente pode-se utilizar os testes que pressupõem distribuição normal mediante utilização dos logaritmos dos valores das variáveis. Tal opção é justificada pela perda de poder do teste não paramétrico⁴⁰.

2.6.3- A DISTRIBUIÇÃO LOG-NORMAL

Algumas vezes na Natureza os logaritmos dos valores assumidos por variáveis aleatórias se distribuem normalmente como por exemplo concentrações de poluentes na atmosfera, distribuição de tamanho de partículas dispersas na atmosfera, distribuição de tamanho de partículas obtidas por cristalização ou moagem, etc.

Em distribuições log-Normal a medida de tendência central que melhor estima esta tendência central é a média / geométrica que coincide com a mediana e a melhor medida de dispersão ao redor da média é o desvio padrão geométrico.

A distribuição da variável aleatória em casos mais comuns é dada por

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \ln \sigma} \exp \left\{ - \left(\frac{\ln (x/Mg)}{\sqrt{2 \ln \sigma}} \right)^2 \right\} \text{ (36)}$$

sendo a média geométrica

$$Mg = \sqrt[n]{x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n} \text{ (37)}$$

e o desvio padrão geométrico σ_g

$$\log \sigma_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n n_i (\log X_i - \log M_g)^2}{\sum_{i=1}^n n_i}} \dots\dots\dots(38)$$

é adimensional e maior ou igual à unidade.

Se plotada cumulativamente em papel log-probabilidade uma distribuição normal fornece uma linha reta cujo valor 50% é a mediana ou média geométrica. Demonstra-se que

$$\sigma_g = \frac{\text{valor } 84,13}{\text{valor } 50\%} = \frac{\text{valor } 50\%}{\text{valor } 15,87\%} \dots\dots\dots(39)$$

Desta forma os valores de M_g e σ_g por si só definem completamente a distribuição log-Normal. Vale ainda ressaltar que nestas distribuições a moda (M_o) é inferior a mediana e esta é inferior à média aritmética ($\bar{x}$) e a diferença/entre elas cresce com o aumento do desvio padrão geométrico ,

$$\log M_o \approx \log M_g - 2,3\sigma_g^2 \dots\dots\dots(40)$$

$$\log \bar{x} \approx \log M_g + 1,15\sigma_g^2 \dots\dots\dots(41)$$

2.6.4: A DISTRIBUIÇÃO DE TAMANHO DE PARTÍCULAS NA ATMOSFERA

A distribuição de tamanho de partículas em suspensão na atmosfera é logarítmo normal, fato este que vem se comprovando através de vários estudos efetuados^{44, 45}. Vários modelos matemáticos tem sido propostos para representar a relação entre o tamanho da partícula e sua frequência de ocorrência¹⁶, entre eles a distribuição log-Normal conforme sugerido por Hatch e Choate⁴⁶.

Desta forma a distribuição cumulativa pode ser expressa por¹⁶

$$F = \int_{-\infty}^{\ln D} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \ln \sigma_g} \exp \left[- \frac{(\ln D - \ln D_{nmd})^2}{2 \ln^2 \sigma_g} \right] \dots\dots\dots(42)$$

onde,

F = número acumulado de partícula com logarítmo do diâmetro menor que D

σ_g = desvio padrão geométrico

D_{nmd} = diâmetro mediana em número (contagem)

Em vários problemas de Higiene do Trabalho e Polução do Ar vem se discutindo a importância da determinação de valores de tendência central do tamanho de partículas em número, superfície específica ou em peso no que se refere / aos efeitos causados por partículas insolúveis, solúveis, inertes ou tóxicas⁴⁶. Tem sido utilizado a concentração em número por contagem em estudos de incidência de silicose^{46 47}. Para partículas tóxicas de materiais solúveis as concentrações em área e em peso tem sido consideradas mais diretamente correlacionando com os efeitos. O modelo matemático proposto / possibilita o cálculo destes outros diâmetros a partir do / diâmetro mediana por contagem. Está além do escôpo deste trabalho a dedução destes valores que estão abaixo apresentados conforme a simbologia que segue¹⁷,

$$\log D_s = \log D_{nmd} + 2,303 \log^2 \sigma_g \dots\dots\dots (43)$$

$$\log D_v = \log D_{nmd} + 3,45 \log^2 \sigma_g \dots\dots\dots (44)$$

$$\log D_{smd} = \log D_{nmd} + 4,60 \log^2 \sigma_g \dots\dots\dots (45)$$

$$\log D_{mmd} = \log D_{nmd} + 6,90 \log^2 \sigma_g \dots\dots\dots (46)$$

onde,

- σ_g desvio de padrão geométrico
- D_{nmd} diâmetro mediana em contagem (média geométrica M_g)
- D_s diâmetro médio em superfície
- D_v diâmetro médio em volume
- D_{smd} diâmetro mediana em superfície
- D_{mmd} diâmetro mediana em massa (média geométrica em massa M_g)

2.7- ANÁLISE DE CUSTOS

Apenas a título ilustrativo a tabela 4 mostra os custos dos equipamentos de amostragem, os seus custos de operação e manutenção, atualizados para 1977. Tais custos não incluem taxas alfandegárias ou outras taxas fiscais, nem custos de seguro e transporte.

TABELA 4 : CUSTO ANUALIZADO DOS MÉTODOS EM ESTUDO (Cr\$)

<div>CUSTO MÉTODO</div>	CAPITAL	OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO
OPS	15.000,00	13.000,00
HIVOL	80.000,00	15.000,00
ABSORÇÃO β	230.000,00	3.000,00

DADOS FORNECIDOS PELA CETESB.

3- SUMÁRIO DE INVESTIGAÇÕES ANTERIORES

Nenhuma investigação nos moldes desta que está sendo apresentada foi realizada no âmbito do Estado de São Paulo, ou mesmo em qualquer outro local do Brasil. Lee, Caldwell and Morgan⁴⁰ realizaram um dos mais extensivos e recentes estudos de comparação entre vários métodos de avaliação da concentração de material particulado em suspensão na atmosfera.

Dentre os vários métodos que compararam, se encontram dois daqueles, objeto do presente estudo, tendo os autores chegado a coeficientes de correlação que variam de 0,936 a 0,072, em função da localização da estação de amostragem e da época do ano (verão ou inverno). Concluíram da investigação que a pobre correlação encontrada em um dos locais foi devido à inadequada localização da estação de amostragem e que nos locais onde predominava material particulado de coloração negra provenientes de processo de combustão, devido a grande utilização dos mesmos nos meses de inverno, ou por falta de regulamentação legal de controle de fumaça preta, existia uma grande correlação entre os valores fornecidos pelos dois métodos.

Chegou-se mesmo a serem coletados valores mais elevados por reflectância que pelo método gravimétrico, em casos onde altas concentrações de partículas escuras estavam presentes na atmosfera, enquanto que, para material particulado de coloração mais clara, a correlação era mais pobre e os valores fornecidos por reflectância eram inferiores aos fornecidos pelo Hivol.

Em termos de porcentagem de diferença entre os pares de valores, os investigadores concluíram que 50% dos pares forneceram resultados dentro de 62% e que 95% dos pares forneceram valores dentro de 88% entre si. Lee, Caldwell e Morgan⁴⁰ no entanto não avaliaram quantitativamente os parâmetros / que eventualmente estariam causando esta diferença, mas apenas consideraram qualitativamente alguns deles, principalmente, coloração das partículas. Além disto, os autores não mencionam / terem se valido de uma maior análise estatística dos dados, como por exemplo, execução de testes de significância da diferença de pares ou dos coeficientes de correlação encontrados. Vale ressaltar que a atmosfera do Estado de São Paulo, em particular da área da Grande São Paulo na qual o presente trabalho

foi executado, muito difere da atmosfera dos locais da investigação mencionada, uma vez que, neste país a utilização de carvão mineral é bastante restrita e pouco ou nenhum combustível é utilizado para fins de aquecimento doméstico.

Pedace e Sansone⁴⁹ realizaram uma investigação mista de condições de laboratório e de campo sobre a relação existente entre um método gravimétrico e dois outros métodos óticos, a saber, índice de sujidade em filtros Whatman n° 4 por transmitância (COH/1000 pés) e por reflectância (RUOS). O método gravimétrico estudado se utilizava de filtros membrana Milipore AA 47 mm para a coleta das partículas. A primeira parte do estudo foi realizada em condições de laboratório, sendo utilizada uma câmara de poeira da qual eram retiradas as amostras de diferentes dispersões de carvão, mistura 1/2 de carvão e calcáreo, cinza e calcáreo puro.

Desta fase, em condições de laboratório, concluiu-se por uma perfeita correlação entre a concentração superficial e a porcentagem de transmitância e entre a concentração / superficial e a porcentagem de reflectância, estando os pontos quase que perfeitamente alinhados.

Concluíram⁴⁹ ainda que o método de transmitância é mais sensível que a reflectância. A segunda parte do estudo feita em condições de campo sugerem uma firme correlação desde / que as características óticas das partículas se mantenham aproximadamente constantes. Os autores sugerem ainda apesar de não esperarem serem as conclusões da investigação aplicáveis a outras localidades, e de se esperar que, embora quantitativamente diferentes, seriam obtidas em outras localidades relações entre os pares de valores desde que se mantenham aproximadamente constantes as emissões de material particulado. Vale ainda uma vez ressaltar que as condições meteorológicas e topográficas e as características do material particulado da área do presente estudo diferem daquelas de Pittsburgh onde Sansone e Pedace⁴⁹ investigaram.

Saucier e Sansone⁵⁰ determinaram a relação entre medidas por transmitância e por reflectância na determinação / do índice de sujidade, em condições de atmosfera controlada no laboratório e na atmosfera de Pittsburgh.

Concluíram, em discordância com outros trabalhos⁵¹, em base aos estudos efetuados que a porcentagem de transmitância

não é igual à porcentagem de refletância, havendo no entanto correlação entre elas. Determinaram ainda a relação $1COH = 0,5 \pm 0,1$ RUDS para a atmosfera de Pittsburgh, numa / correlação linear onde a porcentagem de transmitância é um método mais sensível.

Ingram e Golden⁵¹ determinaram a forma da curva padrão de obscurecimento para Nova York comparável com a curva padrão de obscurecimento usada no Império Britânico e outras usadas na Europa. Durante a investigação estudaram as relações entre densidade de material particulado tomadas em / 1 hora e 2 horas. Algumas conclusões desta investigação dife- rem daquelas a que chegaram outros estudos⁵⁰. Algumas partes do procedimento experimental não foram executadas de forma a eliminar todos os fatores que poderiam influir no resultado obtido fazendo o trabalho merecedor de críticas.

Benarie⁵² investigou, em condições de campo, atra- vés de uma única estação de amostragem localizada na "Faculty Building" em Strasbourg - França, e em condições de laborató- rio, a comparação entre valores fornecidos por um Hivol e um amostrador de absorção de raios β Philips 9790 desprovido do separador gravitacional de partículas. Após a investigação / encontrou uma excelente correlação entre os pares de valo- res obtidos e que pode ser expresso por

(Philips 9790) = ($0,951 \pm 0,032$) (Hivol) + ($4,15 \pm 3,60$) com um erro padrão de 14% do valor médio. Concluiu paralela- mente, em contradição com outros estudos anteriores, e de a- cordo com outros, que as diferentes velocidades de captura / não interferiram de forma significativa nos valores obtidos .

Griggs⁵⁴ determinou a correlação existente entre o método gravimétrico e os valores obtidos pelo princípio ó- tico do nefelômetro.

Finalmente concluiu por uma correlação satisfató- ria entre o coeficiente de espalhamento de luz $bm(m^{-1})$ e a concentração em massa das partículas em suspensão $M(\mu g/m^3)$

$$M = 4,2 \times 10^5 \text{ } bm \text{r.....(47)}$$

Dada a dependência de pelo menos tamanho das partículas e coeficiente de refração das mesmas, não sugerimos o uso da relação encontrada em outros locais sem testes prévias.

Kretzschmar⁸⁸ comparou em estudo de campo feito em Antuerpia, um Nefelômetro, o método de refletância e um método gravimétrico, usando filtro Whatman 41. Concluiu por uma boa correlação entre os valores (24) concomitantes fornecidos pelo Nefelômetro ($r=0,91$) e pelo método gravimétrico, sendo os valores do Nefelômetro sistematicamente mais altos. Os valores fornecidos pelo método de refletância são significativamente mais baixos ainda que correlacionados com os outros / dois métodos ($r=0,8$), justificando, o autor, as diferenças / pelas características das partículas coletadas.

4. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

4.1- EXPERIMENTO Nº 1

Comparação Hivol - Refletância

4.1.1- EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Os dois equipamentos em perfeita conformidade com suas normas de instalação e operação foram instalados distantes entre si cerca de 1 metro e operados durante o ano de .. 1973 em condições normais de funcionamento em 2 locais, obtendo 183 pares de dados em São Caetano do Sul e 278 pares de dados na Rua Tamandaré em São Paulo. A localização da estação em São Paulo não era das melhores devido à proximidade do / prédio e da via de tráfego, no entanto, este fator é excluído face ao tratamento meramente comparativo dos dados. O Hivol utilizado foi o modelo GMWL-2000H da General Metal Works operando com a vazão inicial de 40 cfm 24 horas por dia. A pesagem foi feita em uma balança METTLER modelo B6 (0-100g) / provida de meios para pesagem do filtro de fibra de vidro / MSA WEB (8x10) determinando-se a diferença de peso após repouso do filtro nas condições do laboratório. O método não / indica a necessidade de secagem em estufa do filtro de fibra de vidro antes da pesagem uma vez que o efeito da absorção de umidade por este tipo de filtro é insignificante.

Nas condições normais de funcionamento do Hivol o mesmo opera dentro das seguintes características:

- Motor de 0,6HP a 13.500 rpm
- Voltagem de alimentação de 115V reduzida a 80V
- Área de face = 0,653 pés quadrados
- Vazão inicial = 40 cfm
- Velocidade de captura = 61,3 fpm
- Dimensões do filtro = (8x10) polegadas quadradas
- Dimensões da mancha = (7x9) polegadas quadradas
- Velocidade de filtração = 91,43 fpm
- Tempo de operação = 24 horas

A esteção do tipo OPS/OMS padrão utilizada é composta de porta filtro nº XX5004700 Millipore no qual é adaptado um filtro de celulose Whatman nº 1 ϕ 47mm ligado por tubulação de PVC a um medidor volumétrico (gasômetro) KROMSCHRODER modelo NB-3 com capacidade máxima de 6 m³/h e pressão máxima de 500 milímetros de coluna de água. O diferencial estático de pressão é conseguido pelo uso de uma bomba Gelman Little Giant cat. nº 13152 115 v/60 Hz de deslocamento positivo de pistão com capacidade máxima de 1,4 cfm e vácuo até 22 polegadas de mercúrio. A análise da refletância da mancha é feita por um refletômetro Evans / Electroselenium modelo nº 165. Em condições padronizadas de funcionamento foram as seguintes características observadas:

- Diâmetro da boquilha = 2 polegadas
- Diâmetro do tubo = 1/4 de polegada
- Comprimento do tubo = 4 metros
- Vazão inicial da amostragem = 5,2 lts/min.
- Velocidade de transporte = 16.420 cm/min.
- Velocidade de captura = 256 cm/min.
- Área da mancha = 10 cm²
- Velocidade de filtração = 520 cm/min.
- Tempo de amostragem = 24 horas

4.1.2- CALIBRAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

4.1.2.1- CALIBRAÇÃO DO MEDIDOR SECO DE VOLUME

(KROMSCHRODER)

Monta-se um trem de amostragem (fig. 7) e conecta-se à sua entrada um " Wet Test Meter " (Gasômetro úmido) como calibrador. Deixa-se passar 10 litros (3 voltas e 1/3) no calibrador e verifica-se a leitura do medidor de gás seco. Esta operação é repetida várias vezes.

Em seguida determina-se um fator de correção (f) para o medidor seco.

$$f = \frac{\bar{V}_{cal}}{\bar{V}_{Med}}$$

onde,

$\bar{V}_{cal}$ = volume lido no "Wet Test Meter" (10 litros)

$\bar{V}_{Med}$ = volume lido no medidor NB-3

A título de teste o conjunto é deixado em funcionamento durante 24 horas a fim de verificar se o fator de correção (f) se mantém o mesmo.

4.1.2.2--CALIBRAÇÃO DO MEDIDOR DE ALTO VOLUME (fig.8)

("High Volume Air Sampler")

Coloca-se no registrador um gráfico "Dickson" nº. 106, com escala em pés cúbicos. Desconecta-se o fio do motor que é ligado à saída do transformador e liga-se na tomada de saída do "TIMER" (110 volts.). Retira-se o suporte do filtro (parte em forma de coifa, acoplada ao motor), e coloca-se o orifício com a placa de resistência de nº 5 (cinco furos). Liga-se com um tubo, o ponto de tomada de pressão estática do orifício ao manômetro. Acerta-se o zero do registrador (parafuso de regulação), e o zero do manômetro, liga-se o conjunto, deixando-o em funcionamento por 5 minutos para a estabilização do fluxo.

Em seguida lê-se a vazão no gráfico e anota-se a altura do manômetro (polegadas d'água), desliga-se e em seguida e em ordem crescente de furos colocam-se as placas de resistência no orifício repetindo-se as operações acima.

Com o auxílio da curva de calibração do orifício transformam-se as polegadas de água do manômetro para vazão

FIGURA Nº 7a TREM DE CALIBRAÇÃO - MÉTODO DA REFLETÂNCIA DE LUZ

FIGURA Nº 7b : CALIBRAÇÃO - MÉTODO DO REFLETOMETRO

FIGURA Nº 8 TREM DE CALIBRAÇÃO — METODO DO HIVOL

Traça-se um gráfico (Volume lido no gráfico vs Volume no manômetro).

Retira-se o orifício de calibração e recoloca-se o suporte do filtro (coifa).

4.1.2.3- CALIBRAÇÃO DO REFLETÔMETRO

(Smoke Stain Reflectometer)

Acerta-se o zero mecânico do galvanômetro. Em seguida, aciona-se a chave de energia, deixando o aparelho ligado por 20 minutos para estabilização. A unidade móvel, juntamente com a máscara, é deixada sobre a parte branca da placa standard, que contém o disco de papel Whatman nº 1 usado como branco. Uma vez estabilizado, acerta-se com auxílio do botão de ajuste o 100 da escala do galvanômetro, em seguida, transfere-se a unidade móvel com a máscara para o disco cinza da placa standard. O ponteiro indicador do galvanômetro / deve registrar $38,5 \pm 1 \frac{1}{2}$ unidades da escala. Repete-se esta operação tantas vezes quantas forem necessárias.

Em seguida retira-se o filtro branco da placa e introduz-se o filtro amostrado sobre o disco branco da placa.

Coloca-se o conjunto móvel com a máscara sobre o filtro amostrado de face amostrada para cima sobre o disco branco da placa standard e lê-se no galvanômetro a refletância. Devido ao fato de estar o aparelho conectado à corrente alternada, estas operações são repetidas para cada leitura.

4.2- EXPERIMENTO Nº 2 :

TESTE DO MÉTODO DE ABSORÇÃO DE RAIO β

Em São Caetano do Sul foram postos a funcionar / concomitante e conjuntamente 3 Hivol, 1 método de refletância de luz e 2 medidores de absorção de raios β . Este experimento foi executado apenas com fins ilustrativos, uma vez que não era pretensão da presente investigação, analisar estatisticamente os valores resultantes obtidos.

Os 3 Hivol e a estação tipo OPS foram instalados e calibrados conforme o mesmo procedimento utilizado no experimento nº 1. Os medidores de absorção de raios β eram /

Philips 9790 e foram instalados e calibrados conforme prescrição do fabricante. A calibração foi feita através do acerto / da leitura da absorção da folha padrão fornecida com o equipamento.

Os instrumentos foram ajustados para operar com a vazão correspondente à escala de $0-1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

4.3- EXPERIMENTO Nº 3

TESTE DA REPRODUCIBILIDADE DO MÉTODO DE REFLETÂNCIA.

Testes de precisão e reproducibilidade do Hivol / foram realizados²⁵ e foram anteriormente mencionados neste trabalho, porém nenhum destes testes foi realizado e publicado para o / método de refletância. Uma vez que informações relativas à precisão e reproducibilidade deste método são importantes para o cumprimento desta investigação, estes testes foram realizados da forma que segue. Cinco estações-padrão tipo OPS foram instaladas em São Caetano do Sul com captação distantes um metro entre si e operadas por 5 dias consecutivos durante 24 horas. Todo trabalho de instalação, calibração, operação e análise / de todas as amostras foram feitas pelo mesmo químico especializado e portanto tal teste deve expressar a repetitividade / do método. A seguir durante 5 dias, 5 estações OPS dispostas / da mesma forma que no caso anterior, foram feitas funcionar, apenas que, a cada estação correspondeu um técnico especializado para instalá-la, calibrá-la, operá-la e analisar os correspondentes resultados.

Desta forma este teste deve permitir a expressão da reproducibilidade do método.

Os conjuntos utilizados são todos iguais entre si e iguais ao conjunto padrão utilizado na comparação com o Hivol, com relação a todos os aspectos de instalação, calibração, operação e análise das amostras.

4.4- EXPERIMENTO Nº 4

TESTE DA INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DE CAPTURA

Duas estações-padrão tipo OPS foram instaladas e operadas concomitantemente diferindo apenas no diâmetro da /

da boquilha e portanto diferindo no que se refere à velocidade de captura. Este teste do método de refletância visou estudar o efeito da velocidade de captura sobre o resultado fornecido pelo método, feito mediante a utilização das velocidades médias de 13,6 cm/s ($\phi_b = 2,85$ cm) e de 0,65 cm/s ($\phi_b = 13$ cm).

Para testar a influência da velocidade de captura sobre o método gravimétrico foram colocadas duas estações OPS/DMS providas com filtro de fibra de vidro de diâmetro 49 mm, recortados do filtro utilizado no Hivol, usando velocidades de captura de 70,3 fpm e 15,3 fpm.

No teste correspondente ao método gravimétrico as características mantidas foram as seguintes:

- Vazão inicial de amostragem = 11,6 l/min.
- Altura das boquilhas = 1,85 m (do solo)
- Distância entre boquilhas = 1,0 m
- Comprimento do tubo = 92 cm
- Tempo de amostragem = 24 horas
- Velocidade de captura em teste:

$$V_1 = 60 \text{ fpm } (d_{b1} = 2,85 \text{ cm})$$

$$V_2 = 2,9 \text{ fpm } (d_{b2} = 13,0 \text{ cm})$$

a instalação e calibração dos instrumentos foram procedidas como no experimento nº 1.

4.5. EXPERIMENTO Nº 5

TESTE DA INFLUÊNCIA DO COMPRIMENTO DOS DUTOS

O mesmo processo utilizado para testar a influência da velocidade de captura foi utilizado para testar a influência da deposição de partículas nos tubos para diferentes comprimentos dos mesmos. Neste caso foram utilizadas boquilhas de diâmetro 7,34 cm correspondente a uma velocidade de captura de cerca de 123 cm/min. Para ambos, método gravimétrico método de refletância as características foram mantidas:

- Vazão de amostragem = 5,2 cfm
- Diâmetro da boquilha = 7,338 cm
- Distância entre boquilhas = 1,0 metro

- Velocidade de captura = 123 cm/min.
- Diâmetro do tubo = 6,35 mm
- Altura das boquilhas = 1,10 m
- Tempo de amostragem = 24 horas
- Comprimentos dos tubos em teste

$$l_1 = 0,76 \text{ metros}$$

$$l_2 = 10,0 \text{ metros}$$

Os instrumentos calibrados e instalados como no experimento nº 1.

4.6- EXPERIMENTO Nº 6

TESTE DA INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DE TRANSPORTE

Ainda para testar o efeito da deposição de partículas nos tubos, a influência de diferentes velocidades de transporte foi avaliada por meio da utilização de dois esquemas perfeitamente idênticos para cada método, diferindo / entre si apenas por terem tubos de diâmetros diferentes, ... 6,35 mm e 19,05 mm respectivamente, correspondentes a velocidades de transporte de 16420 cm/min. e 1824 cm/min.

Para ambos os métodos, gravimétrico e refletância as características foram:

- Vazão de amostragem = 5,21/min
- Diâmetro da boquilha = 7,34 mm
- Distância entre boquilhas = 1 m
- Altura da boquilha = 2,0 m
- Comprimento dos tubos = 1,7 m
- Tempo de amostragem = 24 horas
- Velocidades de transporte em teste

$$V_{t1} = 16420 \text{ cm/min } (d_1 = 6,35 \text{ mm})$$

$$V_{t2} = 1824 \text{ cm/min } (d_2 = 19,05 \text{ mm})$$

Ainda uma vez os instrumentos foram instalados e calibrados como no experimento nº 1.

5.- EXPERIMENTOS COMPLEMENTARES

Alguns experimentos complementares, quantitativos e semi-quantitativos foram executados com a finalidade de for

necer dados de interesse e esclarecer algumas dúvidas surgidas.

5.1- EXPERIMENTO Nº 7

DETERMINAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE TAMANHO DE PARTÍCULA.

Para a determinação da distribuição do tamanho de partículas em suspensão na atmosfera foi utilizada um impactador Andersen modelo 65-000 adaptável em um Hivol padrão. O impactador é composto de 5 estágios de 4 pratos de alumínio perfurados e um filtro com eficiências de coleta expressas por :

estágio 1	maiores de 7
estágio 2	3,3 - 7
estágio 3	2,0 - 3,3
estágio 4	1,1 - 2,0
filtro	menores que 1,1

quando calibrado e operado durante 24 horas e 20 pés cúbicos por minuto. Na figura 9 está esquematizado a cabeça Andersen instalada num Hivol.

Outros instrumentos têm sido utilizados para tal finalidade⁴⁴.

5.2- EXPERIMENTO Nº 8

OBSERVAÇÃO DA COR E ASPECTO DAS AMOSTRAS COLETADAS

Vários dos filtros utilizados na coleta das amostras foram observadas visual e microscópicamente com vistas/ a obter uma caracterização do material coletado em ambos os locais em estudo, e para cada um dos métodos de amostragem / utilizados. Com os mesmos objetivos foram também observados filtros membrana Millipore MC/A1 com amostras coletadas em trens de amostragem operando em ambas as condições características de operação dos métodos gravimétrico e refletância. Filtros / correspondentes a tempos de amostragem de 1,2,5,12 e 24 horas foram observados.

5.3- EXPERIMENTO Nº 9

OBSERVAÇÃO MICROSCÓPICA DE AMOSTRAS COLETADAS EM
FILTROS MEMBRANA PARA DETERMINAÇÃO DE TAMANHO DE
PARTÍCULAS.

Em ambos os locais em estudo foram instalados 2 trens de amostragem em paralelo como os mostrados na figura 10. Os filtros Millipore MC/1 utilizados com tempos de amostragem de 30, 60 e 90 minutos foram observados em um microscópio Micro-Star série 10 devidamente calibrado para cada batelada de observações, a fim de determinar o tamanho das partículas coletadas mediante o uso de um graticulo geométrico (graticulo de Porton).

De cada filtro, um setor circular de 15° era selecionado ao acaso, tornando transparente pela imersão em óleo após ser colocado sobre uma lâmina de vidro e observado em pelo menos 20 campos.

Um microscópio de fase seria preferível porém / não era disponível quer na Faculdade de Saúde Pública quer na CETESB. Como todavia o objetivo era apenas de verificar a ocorrência de partículas de grandes dimensões, os equipamentos utilizados serviram perfeitamente a este fim.

FIGURA Nº 9 ESQUEMA DA CABEÇA ANDESEN ADAPTADA AO HIVOL

FIGURA Nº10 TRENS DE AMOSTRAGEM USADOS NA INVESTIGAÇÃO

Fig. 10a Experimento nº 3

Fig. 10b Experimento nº 4

Fig. 10c Experimento nº 5

Fig. 10d Experimento nº 6

SIMBOLOGIA

6. RESULTADOS OBTIDOS - CÁLCULOS

6.1. EXPERIMENTO Nº 1

Dois conjuntos comparativos foram mantidos em funcionamento durante o ano de 1973 tendo sido obtidos os resultados constantes das tabelas nº 5.1. e nº 5.2. que se seguem. Apesar de disponível não foi usado nenhum recurso para introdução de dados perdidos por não ter sido necessário⁸³

TABELA Nº 5.1. - PARES DE DADOS OBTIDOS EM SÃO CAETANO DO SUL

H.V.	DPS	H.V.	OPS	H.V.	OPS	H.V.	DPS
107	40	160	55	237	50	685	226
167	71	117	38	255	82	159	49
181	53	200	83	252	80	138	34
231	61	173	54	271	57	178	25
203	51	179	38	278	81	671	38
189	49	225	41	243	67	193	40
132	28	231	68	432	94	138	65
187	83	147	35	425	199	188	34
187	50	241	46	168	43	372	140
166	50	297	98	174	44	210	69
237	33	181	88	314	82	335	91
167	23	105	30	175	27	183	26
181	58	123	24	345	109	578	194
161	36	326	103	295	67	787	221
219	56	216	57	261	87	485	122
233	65	363	137	562	207	158	26
419	156	487	135	323	74	211	50
178	33	473	103	276	58	229	40
193	50	318	81	337	116	230	38
255	74	304	56	210	61	184	21
237	60	203	48	124	34	496	79
288	75	177	33	72	31	177	40
103	30	181	47	79	25	125	27
87	29	168	35	176	41	116	37
112	26	225	42	129	25	138	36
115	53	411	176	102	37	155	38
85	28	462	108	122	27	223	52
187	44	219	93	144	28	433	118

H.V.	OPS	H.V.	OPS	H.V.	OPS	H.V.	OPS
96	26	256	60	245	44	314	86
227	58	118	37	398	83	236	112
151	48	119	22	248	47	126	35
128	25	182	34	228	53	145	41
147	39	111	27	109	31	87	39
110	28	96	31	130	30	114	31
86	22	85	34	290	89	82	23
214	46	88	29	187	51	161	29
738	199	96	21	241	54	118	43
901	193	133	34	66	19	178	66
109	28	256	46	131	36	239	106
108	21	223	70	174	43	227	64
161	29	110	32	203	37	208	39
165	42	113	19	198	29	102	46
353	91	85	22	110	39	117	24
270	71	133	31	203	78	175	73
287	81	170	36	215	31	146	40
396	86	208	32	172	25		

TABELA N° 5.2. - PARES DE DADOS OBTIDOS EM SÃO PAULO

H.V.	OPS	H.V.	OPS	H.V.	OPS	H.V.	OPS
195	111	279	135	200	83	446	107
304	185	136	86	141	69	431	89
212	152	162	94	312	132	453	121
183	121	131	65	458	199	303	87
252	142	192	86	370	110	308	89
331	169	200	85	252	118	262	64
321	162	191	89	209	107	288	89
169	130	234	97	167	90	274	75
147	104	195	83	171	106	213	65
203	104	201	104	245	116	286	58
168	78	239	105	217	97	625	117
174	121	204	83	182	96	358	84
228	112	203	86	289	78	88	81

H.V.	OPS
202	72
421	178
172	88
287	134
188	110
169	87
170	96
153	73
109	82
119	63
267	120
484	166
731	163
160	100
117	49
110	48
197	125
393	141
301	141

H.V.	OPS
298	151
393	157
292	132
160	77
173	78
224	125
508	191
168	97
133	101
121	119
157	63
165	65
163	74
311	94
318	118
314	115
152	83
157	87
149	86

H.V.	OPS
189	80
130	74
248	88
270	96
447	169
305	123
218	110
180	109
197	93
302	169
251	116
264	123
138	72
169	114
157	93
197	85
150	86
206	128
378	156

H.V.	OPS
186	80
182	80
143	102
164	86
115	71
195	124
177	131
187	140
179	94
125	64
182	106
158	133
144	147
110	75
278	118
235	118
129	78

H.V.	OPS	H.V.	OPS	H.V.	OPS	H.V.	OPS
260	86	207	90	405	178	267	110
305	104	131	46	328	185	205	108
568	120	86	29	231	114	164	102
153	113	124	95	322	121	141	81
462	136	103	27	272	103	194	100
532	107	208	69	266	123	108	71
409	95	252	97	185	68	121	86
616	75	301	91	232	79	181	73
744	89	341	106	171	67	181	70
535	96	282	79	252	84	629	256
586	102	203	52	388	183	301	120
970	69	232	56	400	164	210	112
595	55	248	101	197	91	178	132
848	66	251	100	305	134	178	75
734	93	275	92	280	112	554	171
977	112	117	42	307	126	260	112
343	51	122	38	251	114	205	86
267	42	107	33	351	161	197	77
230	37	127	50	518	225	303	169
634	48	105	39	212	117	198	143
485	57	169	43	167	92	284	130
499	71	230	85	257	79	227	52
394	68	163	62	276	142	505	180
330	59	153	55	193	120	654	198
227	57	187	94	337	211	368	181
87	53	144	80	273	64	278	36
93	64	132	81	320	123	312	143
110	61	187	102	141	74	589	97
242	91	177	81	268	161	288	212
271	90	272	136	285	167	179	54
273	111	260	63	408	221	226	56
261	80	268	105	343	173	168	36
204	46	326	178	300	106	468	154
208	42	155	94	288	138	206	60
179	38	171	93	442	162	160	50
201	98	180	74	312	122	166	71
336	98	379	171	322	140	196	76
188	42	296	172	448	147	180	90

6.2. EXPERIMENTO Nº 2

Os valores resultantes obtidos no experimento nº 2 constam da tabela 6

TABELA Nº 6 : RESULTADOS DO EXPERIMENTO Nº 2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

MÉTODO CORRIDA	HIVOL Nº 1	HIVOL Nº 2	HIVOL Nº 3	ABSORÇÃO Nº 1	ABSORÇÃO Nº 2	OPS Refletân- cia
1	207	217	215	104	128	51
2	187	184	179	87	80	70
3	198	198	199	104	119	88
4	195	200	201	95	121	114
5	154	148	143	76	76	39
6	134	135	130	80	96	35
7	263	-	277	-	-	122
8	140	188	183	84	82	43
9	146	133	140	78	90	42
10	275	302	311	145	155	96
11	88	89	97	43	32	20
12	107	115	94	59	62	26

6.3. EXPERIMENTO Nº 3

TESTE DE REPRODUCIBILIDADE E PRECISÃO

Os resultados obtidos nos testes de reproducibilidade e precisão do método de refletância estão apresentados nas tabelas nº 7a. e nº 7b respectivamente.

TABELA Nº 7a : RESULTADOS DO TESTE DE REPRODUCIBILIDADE
LOCAL: SÃO CAETANO DO SUL ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

TECNICO TESTE Nº	A	B	C	D	E
1	72	86	89	74	91
2	149	161	198	184	186
3	34	39	39	35	43
4	53	55	55	51	61
5	35	34	37	34	42
6	44	44	42	38	51

TABELA Nº 7b : RESULTADOS DO TESTE DE PRECISÃO
LOCAL: SÃO CAETANO DO SUL ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

EQUIPAMENTO TESTE Nº	I	II	III	IV	V
1	92	113	100	100	120
2	36	38	39	39	41
3	115	121	106	106	131
4	28	31	29	31	33
5	63	50	41	47	57
6	84	95	73	80	96

6.4. EXPERIMENTO Nº 4

COMPARAÇÃO DE VELOCIDADES DE CAPTURA

De acordo com os esquemas apresentados na figura nº 10 pares de dados foram obtidos e tabelados em ambos os métodos em estudo. Na tabela nº 8 estes dados estão apresentados.

TABELA Nº 8 : CONCENTRAÇÕES DE PARTÍCULAS EM SUSPENSÃO PARA DIFERENTES VELOCIDADES DE CAPTURA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
LOCAL: SÃO CAETANO DO SUL

TESTE Nº	MÉTODO GRAVIMÉTRICO		MÉTODO ÓTICO	
	$V_c = 60 \text{ fpm}$	$V_c = 2,9 \text{ fpm}$	$V_c = 60 \text{ fpm}$	$V_c = 2,9 \text{ fpm}$
1	108	101	95	76
2	345	328	37	33
3	675	652	28	31
4	297	278	47	44
5	446	338	31	38
6	178	162	119	115
7	74	56	69	74
8	134	101	58	69
9	81	73	62	72
10	81	72	139	128
11	74	85	-	-
12	94	89	-	-
13	152	92	-	-
14	136	132	-	-
15	134	123	-	-
16	69	68	-	-
17	75	80	-	-
18	97	72	-	-
19	110	100	-	-
20	-	-	-	-

6.5. EXPERIMENTO Nº 5

COMPARAÇÃO DO COMPRIMENTO DOS DUTOS

De acordo com os esquemas apresentados na figura nº10 foram obtidos pares de dados de concentração de poeira em suspensão em filtros de fibra de vidro e Whatman nº1 utilizando-se tubulações com comprimento 0,76 m e 10,0 m. Os resultados obtidos estão na tabela nº 8.

TABELA Nº9 : CONCENTRAÇÕES DE PARTÍCULAS EM SUSPENSÃO PARA DIFERENTES COMPRIMENTOS DE DUTO. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
LOCAL: SÃO CAETANO DO SUL

FIBRA DE VIDRO		WHATMAN nº1	
$l_1 = 0,76\text{m.}$	$l_2 = 10,0 \text{ m.}$	$l_1 = 0,76 \text{ m.}$	$l_2 = 10,0\text{m.}$
545	432	-	-
451	375	159	172
60	38	35	38
206	180	103	108
138	112	79	72
160	134	107	109
211	181	123	122
83	89	45	42
87	71	45	38
324	252	183	189
23	12	37	36
374	331	31	33

6.6. EXPERIMENTO Nº 6

COMPARAÇÃO DE VELOCIDADES DE TRANSPORTE

Pares de valores de concentrações de poeira em suspensão foram obtidos utilizando-se os esquemas da figura nº 10 e apresentados na tabela nº10

TABELA Nº10 : CONCENTRAÇÕES DE PARTÍCULAS EM SUSPENSÃO PARA DIFERENTES DIÂMETROS DE DUTO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
LOCAL: SÃO CAETANO DO SUL

Nº	FIBRA DE VIDRO		WHATMAN nº1	
	D= 6,35 mm	D= 19,05 mm	D= 6,35 mm	D= 19,05 mm
1	67	58	29	49
2	144	142	49	64
3	132	99	109	64
4	119	133	94	103
5	44	51	39	42
6	70	74	38	42
7	71	78	43	47
8	86	69	40	45
9	111	109	46	64
10	146		97	105
11	79	56	29	37
12	47	88	23	35

8.7. EXPERIMENTO Nº 7

Foram tomadas aleatoriamente cinco amostras com o impactador em cada um dos locais em estudo. Os resultados obtidos estão apresentados na tabela nº11

TABELA Nº11 : MASSA FRACIONADA COLETADA NO ANDERSEN (gramas)

LOCAL	Nº	E S T Á G I O				
		1	2	3	4	FILTRO
SÃO PAULO	1	0,0358	0,0183	0,0095	0,0122	0,0445
	2	0,0466	0,0198	0,0117	0,0154	0,0554
	3	0,0569	0,0237	0,0108	0,0108	0,0553
	4	0,0467	0,0203	0,0129	0,0160	0,0640
	5	0,0522	0,0254	0,0170	0,0225	0,0657
SÃO CAETANO DO SUL	1	0,0511	0,0202	0,0114	0,0116	0,0288
	2	0,0686	0,0276	0,0136	0,0150	0,0400
	3	0,0360	0,0154	0,0094	0,0093	0,0262
	4	0,0523	0,0220	0,0134	0,0159	0,0338
	5	0,0489	0,0246	0,0144	0,0153	0,0457

Os dados obtidos foram plotados em papel logaritmo-probabilidade conforme figuras nº11 e nº12 correspondentes respectivamente aos municípios de São Paulo e São Caetano do Sul.

FIGURA Nº 11 DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DE PARTICULAS -
SÃO CAETANO DO SUL

-63-

FIGURA Nº 12 DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DE PARTICULAS - SÃO PAULO

6.8. EXPERIMENTOS 8 e 9

Conforme já exposto, a fim de possibilitar uma melhor observação das partículas coletadas por ambos os métodos, foram coletadas algumas amostras sobre filtros membrana Millipore MC/1, em dois trens de amostragem, cada um respectivamente operando de acordo com as características e parâmetros operacionais do Hivol e da OPS. Algumas amostras foram feitas com tempos de amostragem de 45, 60 e 90 minutos para contagem e determinação / do tamanho das partículas no microscópio e outras foram feitas / com tempos de amostragem de 1,2,5,12 e 24 horas para observação do tipo, forma, aspecto e cor do material Coletado. Todas as amostras foram coletadas nos mesmos dias em ambos os locais de estudo.

Este experimento auxiliar (mais completamente descrito no item 5) semi-quantitativo permitiu uma visualização do material que foi coletado em cada um dos locais, permitindo inferir razões e causas dos resultados obtidos.

A observação microscópica das amostras levou entre outras, às seguintes constatações principais:

a) As velocidades de captura características do método gravimétrico são de magnitude tal que partículas de grandes dimensões são amostradas. Partículas de dimensões superiores à 10μ estavam presentes, ainda que em pequena quantidade. Também, na amostragem feita com as características operacionais do método da refletância, algumas partículas com mais de 10μ (diâmetro de área projetada) foram encontradas. As distribuições absolutamente similares para os dois amostradores, quanto à distribuição de tamanho de partícula em número. A distribuição mostrou-se com maiores tendências logaritmo normal em São Caetano que em São Paulo.

b) As amostras de São Caetano do Sul eram invariavelmente mais claras que as de São Paulo, além de possuírem uma maior constância quanto à cor e ao aspecto.

c) Para tempos de amostragem maiores era visualmente perceptível a deposição de partículas sobre partículas fazendo com que ao final existissem várias camadas. Tal fato, eventualmente provoca uma interferência no valor da reflexão de luz / na mancha, uma vez que, não é de se esperar uma variação linear simples entre espessura da mancha e quantidade de luz refletida, ao contrário de uma medida gravimétrica.

7. CÁLCULOS E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

A aplicação do teste "t pareado" nos pares de dados de concentração de poeira em suspensão obtidos paralela e concomitantemente pelos métodos em estudo fornecem os valores $t = 34,0093$ e $t = 60,2183$ para São Paulo e São Caetano do Sul respectivamente. Os valores de t encontrados são significativos ao nível de 1%, aceitando-se portanto, a hipótese da existência de diferenças entre os valores fornecidos pelos dois métodos em ambos os locais de estudo. A diferença média entre os valores fornecidos pelos métodos em estudo é maior no município de São Caetano do Sul do que no município de São Paulo. A diferença dos valores obtidos pelos dois métodos em cada um dos locais em estudo é explicada pela falta de adequacidade das curvas padrões utilizadas para estimar a concentração em massa no método da refletância, quando utilizadas indiscriminadamente em locais / outros que aqueles para os quais foram determinadas. Apesar de os resultados do experimento nº 9 não justificarem, baseado nos resultados do experimento nº 4, é o autor de opinião que as partículas de grandes dimensões coletadas pelo Hivol, representam uma contribuição para a diferença entre os resultados dos dois métodos. O maior afastamento entre os valores em São Caetano do Sul, quando comparado com São Paulo, deve-se a coloração mais clara da poeira coletada em São Caetano do Sul que provoca leituras de luz refletida inferiores pelo método ótico. Foi também calculado o coeficiente de correlação (r) entre as séries obtidas pelos dois métodos, encontrando-se os valores $r = 0,4739$ e $r = 0,8377$, respectivamente para São Paulo e São Caetano do Sul. Através destes valores pode concluir-se pela existência de uma correlação positiva entre os valores fornecidos pelos dois métodos em ambos os locais, ao nível de 5%. No entanto, o resultado obtido contraria os estudos descritos no item 3, além de vários estudos anteriores^{46,49}, uma vez que era de se esperar que, em locais onde a poeira em suspensão contivesse uma maior porcentagem de material carbonáceo, neste caso em São Paulo, a correlação entre os valores fornecidos pelos dois métodos, fosse mais intensa. Tais inesperados resultados levaram a necessidade das observações adicionais constantes do experimento nº 8. As referidas observações mostraram a excessiva variabilidade nas propriedades físicas e na composição das partículas coletadas e nas propriedades óticas delas decorrentes, na estação de São Paulo. Em São Caetano do Sul, apesar de existirem estas variações, elas foram menores no decorrer do período estudado nas amostras coletadas.

Além disto os dados foram ordenados e divididos em classes, tendo consistido o estudo do cálculo dos coeficientes de correlação para as faixas de concentrações definidas. Desta forma as concentrações fornecidas pelo Hivol foram divididas / nos grupos 0 à 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 151 à 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 201 à 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 251 à 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e acima de 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, e para cada um dos grupos acima, foram calculados os coeficientes de correlação para ambos os locais. Os resultados obtidos estão na tabela nº 12.

Em São Caetano do Sul, pode-se observar que a correlação global existente é praticamente devida às concentrações mais elevadas que ocorreram durante o experimento. Para concentrações inferiores (Hivol) à 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a correlação entre os valores fornecidos pelos dois métodos é muito pequena e estatisticamente não significantes ($r < 0,20$).

Contrariamente em São Paulo, nas concentrações menores (50 - 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) repousam as maiores contribuições para a correlação existente entre os valores fornecidos pelos dois métodos.

Após análise da dispersão dos dados (figuras nºs. 13 e 14) foram ajustadas curvas logaritmicas^{5,8} aos dados a fim de melhor quantificar as relações entre os valores fornecidos pelos dois métodos. Os resultados estão na tabela nº 13.

Os coeficientes de determinação r^2 variaram de 22,46% a 70,18%, sendo a hipótese da nulidade do coeficiente b sempre rejeitada ao nível de 1%, ambos, pelo teste t e pelo teste F .

A aplicação de análise de variância aos dados relativos ao chamado teste de reproducibilidade forneceu o valor de $F = 0,07$ inferior ao valor correspondente ao nível de 5% ($F_{\alpha} = 0,118$) fazendo com que se conclua que os resultados obtidos pelos vários analistas possam ser considerados equivalentes a este nível.

A análise de variância com os dados relativos ao teste de precisão levaram ao valor de $F = 0,15$. Desta forma podemos concluir que ao nível de 5% as respostas fornecidas por amostradores idênticas do tipo OPS/OMS, operando concomitantemente com todos os parâmetros iguais, diferem significantemente. Este resultado é inesperado e aparentemente absurdo devendo ter ocorrido erro experimental ou uma singular compensação de erros.

TABELA 12 : PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS DAS CURVAS DE REGRESSÃO
PARA SUAS DIVERSAS FORMAS : SÃO PAULO.

	POTENCIAL	LINEAR	EXPONENCIAL	LOGARITMICA
50 - 100	$a = 4,33.10^{12}$ $b = 6,72$ $r^2 = 0,28$ $r = 0,53$	$a = 234,69$ $b = 3,29$ $r^2 = 0,22$ $r = 0,47$	$a = 0,08$ $b = 0,07$ $r^2 = 0,27$ $r = 0,52$	$a = -1288,21$ $b = 300,04$ $r^2 = 0,23$ $r = 0,48$
100 - 150	$a = 0,002$ $b = 2,17$ $r^2 = 0,40$ $r = 0,63$	$a = -69,92$ $b = 1,13$ $r^2 = 0,36$ $r = 0,60$	$a = 7,63$ $b = 0,02$ $r^2 = 0,40$ $r = 0,63$	$a = -607,20$ $b = 140,58$ $r^2 = 0,36$ $r = 0,60$
150 - 200	$a = 3,55$ $b = 0,62$ $r^2 = 0,03$ $r = 0,17$	$a = 31,76$ $b = 0,33$ $r^2 = 0,04$ $r = 0,20$	$a = 46,39$ $b = 0,004$ $r^2 = 0,03$ $r = 0,17$	$a = -209,11$ $b = 57,92$ $r^2 = 0,04$ $r = 0,20$
200 - 250	$a = 5,99$ $b = 0,49$ $r^2 = 0,01$ $r = 0,10$	$a = 46,87$ $b = 0,19$ $r^2 = 0,01$ $r = 0,10$	$a = 51,30$ $b = 0,002$ $r^2 = 0,01$ $r = 0,10$	$a = -137,59$ $b = 42,10$ $r^2 = 0,01$ $r = 0,10$
250 - 300	$a = 0,07$ $b = 1,31$ $r^2 = 0,03$ $r = 0,17$	$a = 81,54$ $b = 0,70$ $r^2 = 0,07$ $r = 0,26$	$a = 26,83$ $b = 0,005$ $r^2 = 0,03$ $r = 0,17$	$a = -938,78$ $b = 186,97$ $r^2 = 0,07$ $r = 0,26$
> 300	$a = 500,17$ $b = 0,23$ $r^2 = 0,04$ $r = 0,20$	$a = 153,80$ $a = -0,05$ $r^2 = 0,03$ $r = 0,17$	$a = 157,01$ $b = -0,001$ $r^2 = 0,05$ $r = 0,22$	$a = 246,73$ $b = -18,94$ $r^2 = 0,02$ $r = 0,14$

Cont. TABELA 12 : PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS DAS CURVAS DE REGRESSÃO
PARA SUAS DIVERSAS FORMAS : SÃO CAETANO DO SUL.

	POTENCIAL	LINEAR	EXPONENCIAL	LOGARITMICA
50 - 100	a= 11,97 b= 0,18 r^2 = 0,01 r= 0,10	a= 25,07 b= 0,02 r^2 = 0,001 r= 0,03	a= 23,41 b= 0,001 r^2 = 0,004 r= 0,06	a= 11,78 b= 3,43 r^2 = 0,005 r= 0,07
100 - 150	a= 4,64 b= 0,40 r^2 = 0,03 r= 0,17	a= 18,69 b= 0,12 r^2 = 0,03 r= 0,17	a= 20,92 b= 0,004 r^2 = 0,037 r= 0,19	a= 32,16 b= 13,62 r^2 = 0,03 r= 0,17
150 - 200	a= 7,01 b= 0,34 r^2 = 0,004 r= 0,06	a= 37,87 b= 0,03 r^2 = 0,001 r= 0,03	a= 28,83 b= 0,002 r^2 = 0,005 r= 0,07	a= 16,49 b= 5,13 r^2 = 0,001 r= 0,03
200 - 250	a= 1,44 b= 0,67 r^2 = 0,02 r= 0,14	a= 12,71 b= 0,19 r^2 = 0,02 r= 0,14	a= 27,48 b= 0,003 r^2 = 0,02 r= 0,14	a= 178,92 b= 43,48 r^2 = 0,02 r= 0,14
250 - 300	a= 0,01 b= 1,66 r^2 = 0,21 r= 0,46	a= 47,28 b= 0,44 r^2 = 0,23 r= 0,48	a= 13,55 b= 0,01 r^2 = 0,22 r= 0,47	a= 597,10 b= 119,55 r^2 = 0,23 r= 0,48
>300	a= 1,42 b= 0,72 r^2 = 0,25 r= 0,50	a= 31,22 b= 0,21 r^2 = 0,38 r= 0,62	a= 62,51 b= 0,001 r^2 = 0,24 r= 0,49	a= 539,05 b= 109,40 r^2 = 0,40 r= 0,63

FIGURA Nº13a DISPERSÃO DOS DADOS EM SÃO PAULO

FIGURA Nº 13b DISPERSÃO DOS DADOS EM SÃO PAULO

FIGURA Nº 14a DISPERSÃO DOS DADOS EM SÃO CAETANO DO SUL

FIGURA Nº 14b DISPERSÃO DOS DADOS EM SÃO CAETANO DO SUL

TABELA Nº 13: RESULTADOS DOS TESTES DE CORRELAÇÃO:
HIVOL vs REFLETÂNCIA

MÉTODO	PARAMETRO LOCAL	CONSTANTE	COEFICIENTE DA VARIÁVEL (b)	r^2	t(b = 0)
REFLETÂNCIA	SÃO PAULO	10,02083	0,410961	22,47	8,97
	S. CAETANO DO SUL	0,361671	0,933732	70,15	20,61
HIVOL	SÃO PAULO	19,675012	0,546430	22,46	8,99
	S. CAETANO DO SUL	10,324060	0,751600	70,18	20,65

Para testar a influência da velocidade de captura foi aplicado aos dados obtidos o teste de "t pareado". No caso do amostrador gravimétrico foi obtido o valor $t = 3,486$ indicando uma diferença significativa ao nível de 5%. Para o método ótico o valor obtido foi $t = 0,537$, valor este que não caracteriza uma influência significativa da velocidade de captura.

O mesmo teste aplicado à série de dados correspondente ao estudo da influência da velocidade de transporte, forneceu os valores de $t = 0,0082$ e $t = 1,9879$, respectivamente para os métodos gravimétrico e ótico, indicando não haver diferença significativa entre os valores obtidos para os diâmetros testados. Para o teste de comprimentos de dutos obteve-se $t = 5,796$ e $t = 0,376$ para os métodos gravimétrico e ótico. Assim, apenas para o primeiro é significativamente influente este parâmetro ao nível de 5%.

8. CONCLUSÕES

A interpretação dos dados e resultados obtidos permitem concluir:

a) Ao nível de 1% são significantemente diferentes os valores obtidos pelos dois métodos em estudo, destinados a avaliar a concentração de poeira em suspensão na atmosfera. No município de São Caetano do Sul esta diferença é mais marcante que na cidade de São Paulo.

b) Há uma correlação positiva entre os valores fornecidos pelos dois métodos ao nível de 5%. O coeficiente de correlação encontrado em São Caetano do Sul foi de $r = 0,8377$ e portanto maior que o encontrado em São Paulo ($r = 0,4739$).

c) Em São Caetano do Sul a correlação encontrada provém basicamente da correlação existente nas altas concentrações, uma vez que para concentrações fornecidas pelo Hivol, inferiores a $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a correlação não é significativa. Em São Paulo dá-se exatamente o inverso.

d) A inesperada melhor correlação existente entre os métodos em São Caetano do Sul pode, em parte, ser explicada pela acentuada e maior variabilidade nas propriedades físicas e químicas das partículas amostradas no município de São Paulo,

altamente dependentes de variações devidas à proximidade de via de tráfego, face à localização da estação de amostragem. Tal fato ressalta a importância do cuidado necessário na localização de estações de amostragem da qualidade do ar.

e) Em base aos estudos realizado e a trabalhos anteriores⁴ deve-se ressaltar a importância da cor das partículas na significativa diferença entre os resultados fornecidos / pelos dois métodos. No entanto, a variabilidade nas propriedades físicas e químicas das partículas é a principal responsável pelo maior ou menor grau de correlação entre os resultados.

f) A velocidade de captura não influencia significativamente o resultado fornecido pelo método ótico, influenciando, no entanto, o resultado fornecido pelo método gravimétrico. Desta forma, as partículas de maiores dimensões e de fato amostradas pelo método gravimétrico, levam às maiores concentrações fornecidas por este método, uma vez que não têm influência no método ótico. Este fato, em parte, explica o fato de, invariavelmente, serem maiores as concentrações fornecidas pelo método gravimétrico.

g) A deposição de partículas no duto influi significativamente apenas no método gravimétrico. Face à inexistência de dutos no Hivol, este fator pode ser desprezado.

h) É incoerente o fato de serem padrões de qualidade do ar especificados para amostragem e análise pelo método gravimétrico, quando na grande maioria dos estudos epidemiológicos utilizados para a fixação dos mesmos, os dados foram obtidos pelo método ótico.

i) Se sabidamente, a fração respirável das partículas (ambas solúveis e insolúveis) em suspensão é aquela diretamente correlacionada com danos a saúde, os métodos utilizados para amostragem de poeira total podem eventualmente estar fornecendo resultados não correlacionados com efeitos danosos a saúde. Apenas as partículas não respiráveis solúveis passíveis de absorção no trato respiratório superior antes que os mecanismos de defesa do organismo as expulsem, podem ser consideradas higienicamente importantes além das respiráveis, por poderem / causar danos sistêmicos.

j) O método ótico além de ter sido utilizado na fixação dos padrões de qualidade do ar para partículas em suspensão, oferece vantagens de custo e facilidade de análise com relação ao método padrão gravimétrico, sendo no entanto sujeito às várias influências mencionadas, podendo levar a resultados espúrios e conclusões errôneas. O mais recente / método de análise por absorção de raios β , elimina teoricamente boa parte destas desvantagens, possuindo ainda possibilidade de envio telemétrico dos dados a uma estação central, permitindo pois monitoramento automático das concentrações de partículas em suspensão.

9. RECOMENDAÇÕES

Face às conclusões obtidas na presente investigação, recomendamos:

a) Que os dados de qualidade do ar obtidos com o "High Volume Sampler" não sejam comparados com os padrões / de qualidade do ar determinados a partir de estudos epidemiológicos feitos com o uso do método de refletância ótica.

b) Que os dados fornecidos pelo Hivol não devam / ser comparados com dados fornecidos pelo método ótico, visto serem os valores significativamente diferentes.

c) Que não se tente correlacionar os dados obtidos pelo Hivol com os obtidos pelo método ótico, através de equações determinadas em outros locais, visto que a correlação existente entre os dados varia de local para local. Até mesmo em um dado local, correlações são desaconselhadas visto que o coeficiente de correlação varia para diferentes níveis de poluição, além de não seguir uma tendência definida em diferentes locais, sendo algumas vezes maior em baixas / concentrações e outras vezes maior em altas concentrações .

d) Que tanto o Hivol como o método ótico deixem / no futuro de ser usados como métodos-padrão, uma vez que ambos os métodos são influenciados por fatores que afastam os resultados obtidos de valores realmente correlacionados com efeitos danosos à saúde.

e) Que seja desenvolvido um método (e respectivo instrumento) para a determinação de partículas em suspensão na atmosfera que atenda pelo menos aos seguintes requisitos:

- Seja seletivo no bocal de amostragem a tamanhos de partículas possíveis de serem inalados por um ser humano normal, nas condições médias de tiragem (volume médio aspirado).

- Possa ser instalado em locais e altura representativos da dose inalada por um ser humano em atividade de rotina. Vazões e dimensões características do Homem são desejáveis mas não imprecindíveis.

- Tenha uma entrada (duto) suficientemente curta/ e reta de forma a evitar a deposição de partículas antes de que o sistema coletor seja atingido.

- Possa separar as partículas amostradas pelo menos nas frações respirável e não respirável.

- Permita a análise gravimétrica de ambas as frações ou uma análise não gravimétrica que minimize os conhacidos efeitos do tamanho e forma das partículas, cor das partículas, etc.

- Permita uma análise posterior de ambas as frações pelo menos quanto a toxicidade e solubilidade das partículas coletadas. O ideal seria permitir análises química e física completas com a determinação total da composição.

- Possua razoáveis características de fidelidade, exatidão, precisão e sensibilidade.

É ainda desejável que:

- Seja possível a avaliação das concentrações pelo / menos de hora em hora e o envio telemétrico dos dados obtidos.

- Sejam os menores possíveis os custos envolvidos para compra, instalação e operação do instrumento.

- Seja, o menos complexo e o mais portátil possível.

A "Environmental Protection Agency" recentemente / (1977) iniciou testes com um protótipo com características aparentemente semelhantes às sugeridas.

f) Que sejam desenvolvidos estudos epidemiológicos de correlação entre exposição a concentrações de partículas em suspensão dadas pelo método recomendado (caso seja possível o seu desenvolvimento) e efeitos danosos a saúde para a determinação de padrões de qualidade de ar comparáveis com níveis de poluição medidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. U.S. Environmental Protection Agency, Guidelines: Air Quality Surveillance Networks, Publication AP-98, Maio (1971)
2. Guimarães, F.A., Esteves, S.S., Agostinho, J., Godinho, R., Rede Automática de Amostragem de Poluentes Atmosféricos, trabalho apresentado no VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, Rio de Janeiro, dezembro, (1975).
3. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Air Sampling Instruments, 4a. edição, (1972)
4. Air Quality Criteria for Suspended Particulate Matter, publicado pelo U.S. Department of Health Education and Welfare, (1969).
5. Ledbetter, J.O., Air Pollution, parte B, (New York: Marcel Dekker), 286, (1974).
6. Nefussi, N., Guimarães, F.A., Material Apostilado sobre poluição do ar, Faculdade de Saúde Pública, USP, (1972).
7. Stern, A., Air Pollution, vol. 2, (New York: Academic Press), 684, (1968).
8. Nefussi, N., Guimarães, F.A. Curso de Poluição das Águas e do Ar, (Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Petróleo, (1975).
9. Guimarães et al, Apostila do Curso (fechado) de Avaliação em Poluição do Ar para a Petrobras, Cubatão, (1974)
10. Air Quality Criteria for Sulfur Oxides, publicado pelo U.S. Department of Health Education and Welfare, (1969).
11. Air Quality Criteria for Carbon Monoxide, publicado pelo U.S. Department of Health Education and Welfare, (1970).
12. Air Quality Criteria for Oxides of Nitrogen, publicado pelo U.S. Department of Health Education and Welfare, (1971).

13. Air Quality Criteria for Hidrocarbons, publicado pelo U.S. Department of Health Education and Welfare (1970).
14. Air Quality Criteria for Photochemical Oxidants, publicado pelo U.S. Department of Health Education and Welfare, (1970).
15. N. A. Fuchs, The Mechanics of Aerosols (New York: The Macmillian Co) (1964)
16. Mercer, T., T., Aerosol Technology in Hazard Evaluation, (New York: Academic Press), 394, (1973).
17. Silverman, L., Billings C., E., First, M., W., Particle Size Analysis in Industrial Hygiene, (New York: Academic Press), 314, (1971).
18. Task Group on Lung Dynamics, Deposition and Retention Models for Internal Dosimetry of the Human Respiratory Tract, em Health Physics, 12: 173-207 (1966)
19. American Public Health Association, Methods of Air Sampling and Analysis, 480, (1972)
20. Herdan, G., Small Particle Statistics, (New York: Academic Press) (1960)
21. CETESB, Inventário das Fontes de Poluição do Ar da Grande São Paulo, relatório elaborado pela Divisão de Cadastro e Inventário da CETESB.
22. American Society for Testing Material, Standard Methods, USA, (1973)
23. World Health Organization, Selected Methods of Measuring Air Pollutants, Genebra, (1976)
24. Cohen, A., L., Dependence of Hi-vol Measurements on Airflow Rate, em Environmental Science and Technology, vol. 7, nº 1, Janeiro, 60-61, (1973).

25. Clements et al, Reproducibility of the Hi-vol Sampling Method Under Field Conditions, em Journal of the Air Pollution Control Association, vol. 22, nº 12, Dezembro, 955-958, (1972)
26. Mackee et al, Collaborative Testing of Methods to Measure Air Pollutants: The High-Volume Method for Suspended Particulate Matter, em Journal of the Air Pollution Control Association, vol. 22, nº 5, Maio, 342-347, (1972).
27. CEPIS, Manual de Operaciones, Red Panamericana, (1970)
28. Manual de Operação do Smoke Stain Reflectometer, publicado pela Evans Electroselenium Ltd, Essex, G.B., (1966).
29. Manual de Instrução do Amostrador de Poeira PW 1970, publicado pela N.V. Philips Gloeilampenfabrieken, Eindhoven, Holanda, (1975).
30. Strauss, W., Industrial Gas Cleaning, (Oxford:Pergamon Press), 471, (1966)
31. Davies, C.,N., The Entry of Aerosols into Sampling Tubes and Heads, em British Journal of Applied Physics, ser.2, vol. 1, 921-932, (1968).
32. Bien, C.,T., Corn, M., Adherence of Inlet Conditions for Selected Aerosol Sampling Instruments to Suggested Criteria, American Industrial Hygiene Association Journal, Julho, 453-456, (1971)
33. Yehia Hammad, Effect of Probe Geometry and Air Velocity on Aerosol Sampling, Tese de doutoramento-Universidade de / Pittsburgh, (1974)
34. Sttaford, R.,G., Ettinger, H.,J., Filter Efficiency as a Function of Particle Size and Velocity em Atmospheric Environment, vol. 6, 353-362, (1972).
35. Ström, L., Transmission Efficiency of Aerosol Sampling Lines, em Atmospheric Environment, vol.6, 133-142, (1972).

36. Davies, C.,N., Aerosol Science, (New York: Academic Press), 467, (1966).
37. Dorman, R.G., Dust Control and Air Cleaning, (Oxford :Pergamon Press), 615, (1974)
38. Sttaford, R.,G., Ettinger, H.,J., Comparison of Filter Media Against Liquid and Solid Aerosols, em American Hygiene Association Journal, Maio, 319 - 325, (1971).
39. Notas de aula: Curso "Air Pollution Principles" ministrado pelo EPA, North Carolina, por J. Smith, (1971)
40. Dixon, W., J., Massey Jiz., F., J., Introduction to Statistical Analysis, 3a. edição, (New York: MacGraw-Hill Book Co.), 638, (1969).
41. Hoffman, R., A Análise de Regressão e suas Aplicações Econométricas, série apostila nº 21, Universidade de São Paulo, Piracicaba, (1969).
42. Gomes, F., P., Curso de Estatística Experimental, São Paulo, Livraria Nobel, (1966).
43. Hoel, P.G., Introduction to Mathematical Statistics, (New Iork: John Wiley and Sons Inc), (1962)
44. Lee Jr., R., E., Goranson, S., National Air Surveillance Cascade Impactor Network: Size Distribution Measurement of Suspended Particulate Matter in Air, em Environmental Science and Technology, vol. 6, nº 12, novembro, 1019-1024, (1972).
45. Lee Jr., R., E., Smith, C., F., Size Distribution of Suspended Particles from Lignite Combustion, em Environmental Science and Technology, vol. 6 nº 10, Outubro, 929 - 930, (1972).
46. Hatch, T., and Choate, S. P., Statistical Description Size Properties of Non-Uniform ParticulateSubstances, Journal of Franklin Institute, 207:369 (1929)

47. Orenstein, A., J., nos Proceedings of Pneumoconiosis Conference, Johannesburg, (1959), 620, Little Brown, Boston, Massachussets, (1960).
48. Lee Jr., R., E., et al, The Evaluation of Methods for Measuring Suspended Particulates in Air, em Atmospheric Environment, vol. 6, 593 - 622, (1972).
49. Pedace, E., Sansone., E., B., The Relationship between Soiling Index and Suspended Particulate Matter Concentrations, em Journal of the Air Pollution Control Association, vol. 22, nº 5, Maio 348-351, (1972)
50. Saucier, J., Y., Sansone, E., B., The Relationship between Transmittance and Reflectance Measurement of Soiling Index, em Atmospheric Environment, vol. 6, 37-43, (1972)
51. Ingram, W., Golden, J., Smoke Curve Calibration, em Journal of the Air Pollution Control Association, vol. 23, nº 2, Fevereiro, 110-115, (1973).
52. Benarie, M., M., Continuous Sampling of Urban Suspended Matter over Large Grain Size Spectrum - Validity of the Hi-vol Sampler and Other Results, nas discussões do 8º Encontro de Aerosóis, outubro 1975, Raleigh, Carolina do Norte, USA.
53. Wyzga, R., E., Method to Estimate Missing Air Pollution Data, em Journal of the Air Pollution Control Association, vol 23, nº 3, Março, 207-208, (1973).
54. Griggs, M., Relationship of Optical Observations to Aerosol Mass Loading, em Journal of the Air Pollution Control Association, vol. 22, nº 5, Maio, 356-358, (1972)
55. Kretzshmar, J., G., Comparison between Three Different Methods for the Estimation of the Total Suspended Matter in Urban Air, em Atmospheric Environment, vol. 9, 931-934, (1975)
56. Publicação Técnica da NIOSH , A Theoretical and Laboratory Evaluation of a Portable Direct-Reading Particulate Mass Concentration Instrument, (1975)