

METODOLOGIA PARA CALIBRAÇÃO DE IMPACTADORES EM CASCATA

Mendes, Alexandre¹, Gomes, Marcos Sebastião de Paula²

¹Instituto Federal do Rio de Janeiro – Campus Volta Redonda, Volta Redonda, Rio de Janeiro, alexandre.mendes@ifrrj.edu.br

²Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro–Dpt. Engenharia Mecânica, Rio de Janeiro, RJ mospgomes@puc-rio.br

Resumo:

O aumento da poluição, nos grandes centros urbanos, tem forçado a demanda por novos equipamentos capazes de fazer a amostragem correta das partículas em suspensão no ar. Estas partículas são de especial atenção, pois causam danos à nossa saúde. As partículas menores que 10 μ m são consideradas inaláveis sendo que as de tamanho menores que 3 μ m são consideradas respiráveis, atingindo a região alveolar dos pulmões.

Na busca para a diminuição dos efeitos da poluição, faz-se necessário monitorar as características físicas dos aerossóis (concentração e tamanho). No entanto os procedimentos necessários para a calibração de medidores de aerossol são mal definidos, sem instruções formais e documentação.

Este artigo propõe uma metodologia de calibração de amostradores atmosféricos em geral e em particular de impactadores em cascata. A fim de prover um ambiente com escoamento de ar tranqüilo, uniforme e controlado, foi construída uma câmara de calibração de aerossol, com pressão atmosférica em torno de 1 atm e velocidade do ar variando entre (0,13 a 0,50) m/s, para avaliação de amostradores de aerossol. Essa câmara é grande o bastante para acomodar vários instrumentos simultaneamente, tendo uma área de seção de teste relativamente ampla (aproximadamente 1,0m²) com uma concentração de aerossol uniforme e estável.

Palavra Chave: *calibração de aerossol, incerteza e metrologia*

1. INTRODUÇÃO

Muitos dos procedimentos necessários para a calibração de medidores de aerossol são mal definidos, sem instruções formais e documentação. Sob circunstâncias normais, calibrações de instrumentos novos são feitas pelos próprios fabricantes (tendo que enviar o instrumento para a Europa ou Estados Unidos). Calibrações subseqüentes são realizadas quando os instrumentos são entregues aos fabricantes para limpeza e consertos. Além disso, um número muito pequeno de laboratórios realiza calibrações e manutenção de amostradores de aerossol. Porém, em uma pesquisa (Lewis al et - 1993), verificou-se que 58% dos instrumentos usados naquele momento, nunca foram calibrados ou foram “caseiramente”. Claramente esta situação é insatisfatória. Ela pode conduzir a diferenças

consideráveis na medição de concentrações e tamanho de aerossóis. Tais inconsistências são particularmente importantes quando as amostras, tiradas de um local de trabalho, são analisadas para efeito trabalhista ou para emissão de documentos ambientais para adequar-se a padrões de qualidade do ar. Também é importante no controle de qualidade de alguns processos industriais.

A rigor, todos os instrumentos exigem, para assegurar os resultados fornecidos, uma calibração. Idealmente, todas as medidas deveriam ser rastreadas a um padrão primário, possivelmente pelo uso de padrões secundários.

Foram feitas, ao longo dos anos, avaliações e calibrações de instrumentos utilizando uma variedade de técnicas. Uma técnica é a introdução do aerossol em um túnel de vento por uma sonda que o conduz ao instrumento. Normalmente a sonda é de tamanho e de forma que permite uma velocidade constante até o ponto de amostragem.

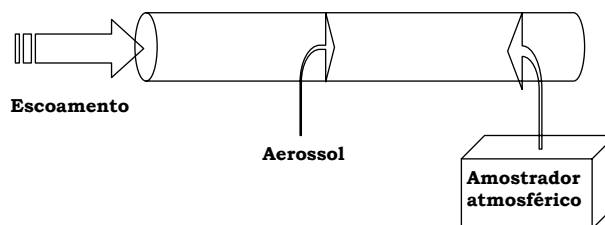


Fig. 1 Técnica com túnel de vento

Outra técnica é "inundar" o instrumento com o aerossol de forma que todas as partículas que entram no instrumento são de aerossol e não do ar circunvizinho. Neste caso, não se alcança à velocidade constante.

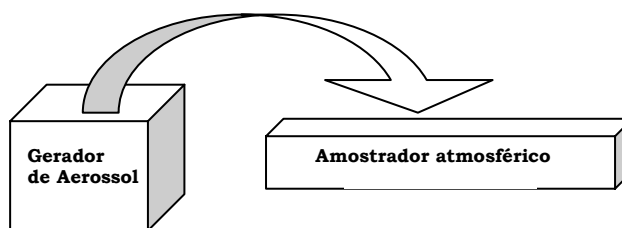


Fig. 2. Técnica de inundar o instrumento em calibração

Uma modificação desta técnica é colocar um dispositivo de calibração na entrada do instrumento que está sendo calibrado e “inundar” a entrada do dispositivo de calibração.

Embora todas essas técnicas avaliem e calibram medidores de aerossol, elas requerem sondas até a entrada

do instrumento. Em alguns casos essas técnicas podem ser desejáveis para calibração. Porém, em outros casos, como em um programa de avaliação de instrumento, pode ser mais desejável expor o instrumento inteiro a uma atmosfera tranqüila que contenha o aerossol. Desta forma, a presença de fontes de calor do próprio instrumento, em sua amostragem global das partículas do aerossol, será incluída na calibração. As condições durante a calibração são como se o instrumento estivesse sendo calibrado em condições semelhantes à de uso.

Este artigo propõe uma metodologia de calibração de impactadores em cascata usando uma câmara de calibração de aerossol que provê uma atmosfera tranqüila e controlada (pressão ambiente em torno de 1 atm e velocidade do ar entre 0,13m/s a 0,50 m/s) para avaliação de amostradores de aerossol. Essa câmara é grande o bastante para acomodar vários instrumentos, tendo uma área de seção de teste relativamente ampla (aproximadamente 1,0m²) com uma concentração de aerossol uniforme e estável.

Assim, poderemos calibrar os amostradores atmosféricos em condições próximas ao uso, e desta forma, validar as características metrológicas do instrumento, basicamente, sua incerteza de medição e seu erro sistemático.

2. CÂMARA DE CALIBRAÇÃO

Ao longo dos anos, foram estabelecidas convenções para medida de concentrações de pó aerotransportadas no local de trabalho (Griffiths; et al 1998). Essas convenções basearam-se na eficiência de aspiração de manequins testada em túneis de vento de velocidades entre (1,0 a 4,0) m/s. As mesmas convenções que descrevem as propriedades de penetração dependentes do tamanho das partículas de aerossol no sistema respiratório humano foram publicadas pela Conferência Americana de Sanitaristas Industriais (1997), Organização Internacional para Padronização (1983), e o Comitê Europeu para Padronização (1992). Em 1998, Baldwin e Maynard realizaram estudos e encontraram, no local de trabalho, ventos que raramente excedem 0,20 m/s. Embora muitos locais de trabalho possuam velocidades de vento abaixo de 0,20 m/s, o movimento dos trabalhadores possibilita uma velocidade de vento efetivamente mais alta nas amostras. Não obstante, há muitas situações onde o trabalhador está em repouso e um critério de baixo movimento de ar se aplica. Aitken et al. (1999) mostrou que em ambientes de baixo movimento de ar, a eficiência de aspiração é maior que a convencional. Amostradores testados nesse ambiente de baixo movimento de ar mostraram uma maior eficiência de aspiração que em testes de túnel de vento, a uma velocidade de escoamento de ar de 0,50 m/s.

Esses resultados sugerem que mais estudos devem ser realizados para coletar informações sobre a eficiência de amostradores, como também a curva de respirabilidade, em um ambiente de movimento de velocidade do ar baixo que se assemelha às condições no local de trabalho, em recinto fechado.

Tradicionalmente, esse tipo de estudo requer uma câmara de calibração com um sistema de geração no topo e amostradores localizado no fundo (Marple e Rubow

1983; Chen *et all.* 1999; Kenny *et all.* 1999; Koch *et all.* 1999).

Um diagrama esquemático da câmara de teste de aerossol é apresentado na Fig. 4. A câmara possui aproximadamente 2,0m de altura e uma seção quadrada de 1,0m de lado. Aerossóis monodisperso e polidisperso são gerados no topo da câmara, sendo diluídos por ar limpo (filtrado). Os aerossóis são completamente misturados no 1º segmento da câmara (ver fig. 4) pela energia do jato do aerossol (escoamento turbulento). Abaixo desta seção existem três telas (uma com furos de 2 mm x 2 mm; uma com furos de 5 mm x 5 mm e uma com furos de 10 mm x 10 mm) que podem ser colocadas uma de cada vez ou simultaneamente, onde a turbulência do escoamento de ar será reduzida, enquanto prove uma baixa velocidade descendente, atingindo o segundo segmento. Uma mesa giratória vazada permite um fluxo de ar sobre ela, formando a base da seção de teste. A mesa é feita de forma que possa ser girada, promovendo um contínuo movimento dos instrumentos, sobre a seção de teste, a fim de reduzir os efeitos que qualquer variação em concentração de aerossol dentro da seção de teste.

Debaixo da mesa giratória será colocado um filtro HEPA onde as partículas serão filtradas da corrente de ar. O ar é sugado da câmara por um exaustor.

São projetados dois dos quatro lados da câmara como postos de trabalho e cada lado é equipado com uma janela de aproximadamente (50 x 70) cm e um par de portas-luvas. Assim, durante um teste, até duas pessoas, uma em cada janela, poderá trabalhar a instrumentação dentro da câmara. Ver fig. 5.

As janelas podem ser removidas para a colocação dos amostradores. Além disso, a câmara é cortada horizontalmente entre as janelas e o porta-luvas. Assim, para a instalação dos amostradores muito grandes, ou para o assentamento da mesa dentro da câmara, deverá ser removida a porção superior da câmara. Na parte de baixo da câmara, localiza-se as instalações elétricas e as linhas de ar dos amostradores para o exterior da câmara.

A mesa giratória possui velocidades variáveis através de um motor elétrico reversível. O motor está localizado fora da câmara. Um motor elétrico dentro da câmara atua como uma fonte de calor, capaz de criar correntes de convecção. A direção de rotação da mesa poderá ser invertida, evitando, assim, que as linhas de ar e fio elétricos se enrolem ao redor da mesa. Com este arranjo, a mesa não pode girar mais que 360°.

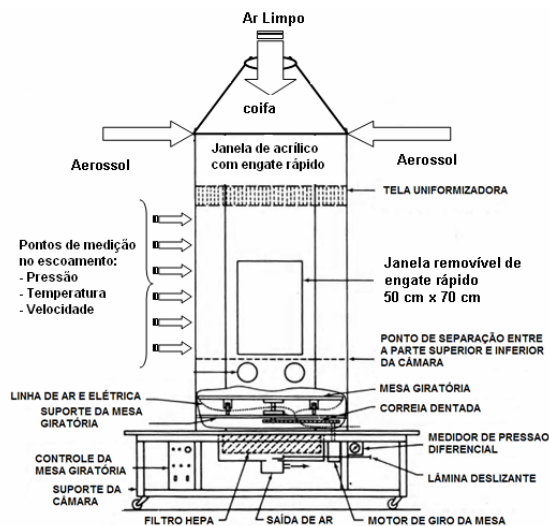


Figura 4: Modelo de câmara de calibração de aerossol proposto



Fig. 5. Câmara de calibração de amostradores de aerossol

3. METODOLOGIA DE CALIBRAÇÃO.

Os dois parâmetros de maior importância na calibração de analisadores de aerossol é a concentração de partícula e a distribuição de tamanho.

A medição do tamanho e concentração de partículas feita com analisadores de aerossol dependem do instrumento que é operado. Embora o comportamento da partícula possa ser descritos em muitos amostradores de aerossol, é necessário conferir as características operacionais do amostrador (tendência e incerteza de medição, por exemplo) com partículas padrão para verificar se eles estão operando dentro de critérios pré-estabelecidos. Esta preocupação é especialmente verdadeira quando as medidas têm que satisfazer padrões de garantia de qualidade ou exigências legais.

Analisadores de aerossol precisam ser calibrados por quatro razões:

1. Assegurar que o instrumento está funcionando corretamente (garantia de qualidade rotineira).

2. Comparar desempenho com predições teóricas e com outro analisador do mesmo tipo.
3. Determinar a incerteza de medição, bem como corrigir valores de concentração e diâmetro médio de partículas.
4. Comparar medidas de um determinado aerossol com outros instrumentos que trabalham com princípios diferentes.

3.1. Impactador em Cascatas

Impactadores em cascata medem as características aerodinâmicas de um conjunto de aerossol no lugar das características físicas, então é fundamental usarmos aerossóis calibrados, cujo diâmetro e a concentração sejam conhecidos. É necessário o uso de um medidor de diâmetro e concentração padrão. Como padrão de medição usamos:

- Para medição de velocidade: Termo-Anemômetro Digital Modelo 471-1. Fabricante Dwyer Instruments.
- Para medição de concentração e diâmetro aerodinâmico: Espectrômetro de Tamanho de Partícula Aerodinâmica. Fabricante TSI. Faixa de medição: (0,5 a 20) μm . Resolução: 0.02 μm . Modelo APS 3320.

O impactador seleciona as partículas pelo seu tamanho em cada estágio, discretamente. O objetivo da sua calibração é determinar os diâmetros aerodinâmicos em que cada estágio seleciona partículas com uma eficiência de coleta de 50% (d_{50}). A metodologia de calibração inclui os seguintes passos:

- a. Seleção das partículas padrão
- b. Preparação do instrumento
- c. Caracterização do aerossol padrão
- d. Condições Ambientais
- e. Medição quantitativa do material selecionado
- f. Análise de dados e suas incertezas de medição

São operados vários estágios do impactador em cascata para análise de distribuição de tamanho. Cada estágio deve ser calibrado, havendo tipicamente três ou mais estágios.

Embora muitos usuários confiem nas curvas de calibração fornecidas pelo fabricante, esta prática deveria ser evitada porque as respectivas curvas são geradas por lotes, ferindo assim um princípio fundamental da calibração: **todo equipamento deve ser calibrado individualmente**, mesmo porque mudanças secundárias na geometria podem ter um efeito nas características de desempenho do impactador, especialmente para impactadores de múltiplo orifício.

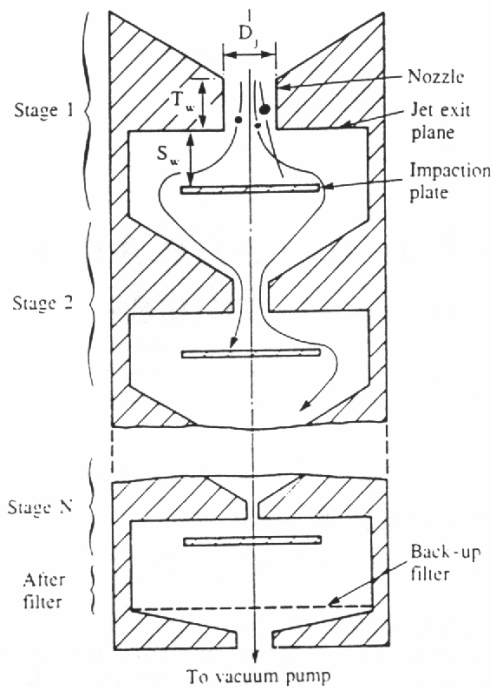


Figura 6: Princípio do impactador em cascata.
Fonte – Hinds 1982

O tamanho da partícula é o seu parâmetro mais importante. Ele define as características físicas das partículas aerotransportadas. A distribuição de tamanho de um conjunto de aerossol geralmente é polidispersa, às vezes até com 100 vezes o alcance entre as partículas menores e maiores (Hinds - 1982). Uma avaliação de como as propriedades de aerossol pode variar com o tamanho das partículas é fundamental à sua compreensão. É necessário considerar as propriedades dos aerossóis com base nas propriedades do tamanho individual.

Partículas de aerossol normalmente possuem uma dimensão característica, ou mais freqüentemente um diâmetro equivalente compatível ao de uma partícula esférica. Estas dimensões são expressas em micrômetros.

Aerossóis podem variar entre 0,001 µm a 100 µm de diâmetros. Partículas de pó e pólen são geralmente maiores que 1 µm, partículas de fumaça são menores.

Freqüentemente as propriedades físicas das partículas se referem a um parâmetro que descreve seu comportamento aerodinâmico. Em geral, este parâmetro é o seu diâmetro equivalente, que é definido como o diâmetro da partícula esférica que tem a mesma característica comportamental da partícula não-esférica, sob as mesmas condições..

A metodologia proposta neste trabalho se refere à medição do diâmetro aerodinâmico das partículas de aerossol.

O **diâmetro aerodinâmico** (d_{ae}) permite uma compreensão do comportamento das partículas aerotransportadas, e é definido como o diâmetro da esfera de densidade unitária que tem a mesma velocidade de ajuste, sob forças gravitacionais, que a partícula.

Todas as propriedades de transporte de aerossóis são fortemente dependentes do tamanho da partícula, e o estabelecimento destas relações é o principal objetivo de muitos estudos que envolvem analisadores de aerossol. A maioria dos aerossóis ambientais é polidispersa, e é

necessário assumir que as propriedades de um aerossol polidisperso, com um diâmetro de partícula médio, coincidam com as propriedades correspondentes de um aerossol monodisperso, com o mesmo diâmetro. Embora houvesse uma tendência para usar aerossóis monodispersos nas calibrações, foi reconhecido que calibração que usam aerossol polidisperso, bem definido, pode ser um valioso exercício, particularmente se a sensibilidade do instrumento for afetada por uma propriedade que dependa do tamanho do aerossol, como o índice de refração.

As distribuições de tamanho das partículas de muitos aerossóis aproximam de uma distribuição lognormal e o grau de dispersão pode ser caracterizado pelo desvio padrão geométrico (σ_g).

$$\ln(\sigma_g) = \left[\frac{\sum_i^N \ln \left(\frac{d_i}{\bar{d}_g} \right)^2}{N} \right]^{1/2} \quad (1)$$

onde N é o número de partículas da amostra com diâmetro d_i , e \bar{d}_g é o diâmetro geométrico médio dado por:

$$\bar{d}_g = \left[\prod_i^N d_i \right]^{1/N} \quad (2)$$

Para a maioria dos propósitos práticos um aerossol é considerado monodisperso se σ_g for menor que 1,2 e muitos geradores são capazes de produzir aerossóis com σ_g menor que 1,1.

3.2. Etapas da metodologia de calibração.

(a) Seleção de Partículas Padrão

Podem ser executadas calibrações usando partículas monodispersas ou polidispersas. A vantagem de partículas monodispersas é que as partículas de teste são definidas em termos do tamanho, forma, densidade e propriedades ópticas. Embora devam ser executadas várias experiências para cobrir o alcance operacional do dispositivo, estes testes podem ser minimizados por seleção cuidadosa do tamanho das partículas.

A vantagem do uso de partículas polidispersas é que o impactador é calibrado completamente em um único experimento, embora a análise de dados seja mais complexa do que com partículas monodispersas e a incerteza final é um pouco maior.

Calibrações que usam partículas monodispersas são recomendadas devido a maior exatidão e precisão.

Geração de aerossol de látex é a técnica mais simples, as partículas são confeccionadas e precisam ser suspensas no ar ou em outro meio gasoso. Micro-esfera monodisperse de poliestireno ou polímero, com diâmetro variando entre (0,04 a 20) µm estão disponíveis no mercado.

Devemos usar água de alta pureza para a diluição do concentrado de partículas de látex. Já que impurezas

oriundas da água formarão micron partículas, como também irão aderir nas superfícies das partículas de látex já existentes. Este problema é de difícil superação porque as partículas de látex aglomeram de forma irreversível. Uma possibilidade é centrifugar as partículas de látex da suspensão original antes de suspê-la em água pura.

Na prática, as impurezas não causam um problema significativo quando se trabalha com partículas de diâmetro maior que 0,5 microns.

(b) Preparação do Instrumento a ser calibrado

Embora as calibrações possam ser realizadas com o equipamento montado de forma incompleta (ou seja, sem todas as fases presentes), **recomendamos que a calibração seja realizada em um dispositivo totalmente montado.**

Cada fase deve ser calibrada, e este procedimento pode ser demorado para os sistemas que contêm até seis ou mais estágios. Embora muitos usuários contem com as curvas de calibração fornecidas pelo fabricante, esta prática deve ser evitada porque mesmo pequenas alterações à geometria pode ter um efeito marcante sobre as características de desempenho.

É essencial que as instruções operacionais fornecidas pelo fabricante do impactador em cascata sejam seguidas na montagem da calibração. Deve-se assegurar que o impactador esteja limpo e seus estágios corretamente unido. Deve estar apropriadamente preparado, com os filtros inseridos corretamente, pratos de impactação engraxados e vedados para que não ocorram vazamentos.

A vazão de entrada deve ser a mesma da saída do instrumento.

(c) Caracterização do Aerossol de Calibração.

Através de um medidor padrão de diâmetro aerodinâmico e concentração, devemos caracterizar as partículas padrão de látex geradas através de um nebulizador. É fundamental a medição do diâmetro das partículas geradas simultaneamente com a coleta feita pelo impactador em cascata, usando um medidor de diâmetro e concentração padrão. As partículas devem ser classificadas (diâmetro e concentração) no momento da calibração.

(d) Condições Ambientais

A vazão à qual o aerossol de calibração é testado deve ser medida. A escolha da vazão depende da aplicação do dispositivo em calibração, e pode diferir de instrumento para instrumento. Deve-se verificar a influência na mudança da vazão de aerossol e o impacto que isso provocaria na calibração. A temperatura do aerossol, deveria ser registrada, assim como sua umidade relativa e pressão ambiente.

(e) Medição em cada estágio – Eficiência de Coleta

O objetivo de uma calibração é caracterizar a faixa de tamanho dentro do qual a eficiência do separador inercial varia de 0 para 100%. Um separador ideal teria único passo de 0 para 100% de eficiência, e a partícula classificada segundo o tamanho em que ocorreu essa eficiência, definem o desempenho do impactador. Porém, este comportamento nunca é observado na prática por causa de irregularidades nas trajetórias das partículas,

salto de partícula e retorno que resultam em curvas de eficiência contra tamanho de partícula denominado curva características do impactador.

Ao calibrar um impactador em cascata com um aerossol polidisperso, as partículas coletadas em cada fase são normalmente analisadas no microscópio óptico ou eletrônico. Partículas coletadas em intervalos de diâmetro definidos, entre d até $(d + \Delta d)$ são contadas, e uma análise semelhante é feita do aerossol que penetra o impactador nos seus respectivos estágios e coletado em uma superfície plana ou um filtro de membrana. A razão do número de partícula dentro da faixa de tamanho d e $(d + \Delta d)$ num respectivo estágio é determinada por:

$$\frac{\xi(d)}{[1 - \xi(d)]} \quad (3)$$

onde ξ é a eficiência de coleta naquela faixa de tamanho. Este procedimento relativamente simples é repetido até a curva característica do impactador ser completamente determinada. Porém, erros sistemáticos significativos podem surgir por causa dos seguintes fatos:

- (i) Partículas pequenas não podem ser observadas (especialmente para microscopia óptica, onde partículas menores que 0,5 μm de diâmetro geométrico estão abaixo do mais baixo limite de resolução).
- (ii) Pode ser contado aglomerado de partículas como única partícula.

Recomenda-se a calibração de analisadores de aerossol com partículas monodispersas. A análise de dados e sua interpretação é muito mais fácil quando partículas monodispersas de formato esférico são usadas, desde que os diâmetros aerodinâmicos sejam bem definidos através de um medidor padrão. Partículas monodispersas sólidas e líquidas são utilizadas nas calibrações dos analisadores de aerossol; salto de partícula é mais provável acontecer quando partículas sólidas forem usadas (Franzen e Fissan -1979), enquanto gotinhas líquidas podem quebrar no impacto com os pratos de coleta. A indicação é calibrar com partículas sólidas se o classificador for usado para analisar partículas sólidas e com gotinhas líquidas quando for líquida.

Propomos o uso de partículas de látex bem-caracterizadas. O procedimento é repetido para cada estágio, usando diferentes tamanhos de partícula até que a curva de eficiência de coleta seja feita. O tamanho que corresponde a uma eficiência de coleta de 50% define o desempenho do impactador e é chamado de *diâmetro de expansão efetivo*. Se N' e N são as concentrações de partículas antes e depois, respectivamente, de passar pelo analisador, a eficiência de coleta $\xi(d)$ de uma única fase para partículas de tamanho d é determinado por:

$$\xi(d) = \left[1 - \frac{N}{N'} \right] \quad (4)$$

(f) Análise dos Dados

A eficiência do estágio i (ξ_i) em um impactador em cascata que contém X estágios (inclusive o filtro) é determinado por:

$$\xi_i = \left[\frac{M_i}{\sum_i^x M_i} \right] \times 100 \quad (5)$$

onde M_i é a massa de partículas coletada no estágio i . O termo $\sum_i^x M_i$ representa o total dos carregamentos de

massa do estágio i para a fase de fundo ou filtro. Esta eficiência é plotada num gráfico contra diâmetro aerodinâmico para produzir uma curva de eficiência de coleta para cada estágio. Uma função matemática é provida aos dados, e o diâmetro aerodinâmico que corresponde a uma eficiência de coleta de 50% (d_{50}) é determinado para cada estágio.

Toda medida tem uma incerteza associada que deve ser quantificado para a medição ter confiabilidade metrológica. Os seguintes pontos devem ser considerados levando em consideração a incerteza de medição:

1. A incerteza expandida deve incluir uma estimativa das incertezas oriunda das variáveis de influência devidamente identificada e descrita através de métodos e procedimentos.
2. Todas as incertezas relativas ao processo de medição devem ser levadas em conta, inclusive as incertezas atribuídas ao equipamento de medição, padrões de medida de referência (inclusive material usado como um padrão de referência), operadores, procedimentos de medida e condições ambientais.
3. Para o cálculo da incerteza do processo de calibração, o efeito cumulativo de cada fase sucessiva do procedimento de calibração deve ser avaliado.

4. CONCLUSÃO

A escolha de um método de calibração particular depende em grande parte do tipo de analisador de tamanho de partícula que é calibrado e o grau de exatidão requerido. Este artigo dar ênfase nos procedimentos de calibração apropriados para impactadores em cascata. Salientando o diâmetro aerodinâmico e a distribuição de tamanho de partícula correspondente.

Deve-se tomar cuidado para alcançar as condições ótimas na geração e amostra do aerossol em teste.

Calibrações que usam partículas monodispersas são realizadas mais freqüentemente em relação as que usam aerossóis polidispersos, as incertezas introduzidas pela técnica monodispersa são menores. Isto é particularmente verdade com impactadores e são determinados por curvas de eficiência de coleta que são funções normalmente sensíveis do tamanho das partículas.

Outras propriedades físicas da calibração são freqüentemente tão significantes quanto o grau de monodispersidade. Por exemplo, a escolha de sólido ou partículas líquidas pode influenciar os resultados das calibrações feitas pelo analisador padrão - APS 3320.

Quando um APS 3320 está sendo usado para monitorar gotinhas líquidas, pode ser necessário refinar a técnica de calibração de forma que o desempenho possa ser medido com um líquido que tem tensão superficial e viscosidade semelhante. Densidade de partícula, porosidade e forma também têm uma influência marcada na sensibilidade de analisadores de tamanho de partícula aerodinâmico.

É recomendado que todo analisador de aerossol seja calibrado regularmente, como política de manutenção.

O desempenho do equipamento auxiliar como medidores de vazão de gás, medidores de pressão, etc., é importante, e estes sistemas precisam ser calibrados regularmente antes do uso.

5. REFERÊNCIAS

1. A. Fuchs (1978), '**Aerosol Impactors (A Review)**', Chapter 1 in '**Fundamentals of Aerosol Science**', Ed.: D. T. Shaw, John Wiley and Sons, New York, USA.
2. C. Hinds (1982), '**Aerosol Technology: Properties, Behavior and Measurement of Airborne Particles**', John Wiley and Sons, New York, USA.
3. Franzen and H. 3. Fissan (1979), '**Collection Behaviour of Andersen Non-Viable Samplers and Andersen Stack Samplers Using Glass Fibre Collection Plates**', *StaubReinhalt. der Luft*, 39, 50.
4. Griffiths, W.D; Mark. D; Marshall. I. A and Nichols, A. L, (1998), '**Aerosol Particles Size Analysis – Good Calibration Practices**', AEA Technology.
5. Marpel, Virgil A and Rubow, Kenneth L, (1983), '**An Aerosol Chamber for Instrument Evaluation and Calibration**', *Am Ind Hyg. Assoc. J* 44(5): 361-367.
6. N.J. Lewis, P. Mitchell, W. D. Griffiths, D. Mark and R. S. Sokhi (1993), '**Survey of User Needs, National Measurement Infrastructure for Aerosols and Particulates in the Gas Phase**'.