



**ABNT-Associação
Brasileira de Normas
Técnicas**

Sede
Rio de Janeiro
Av. Treze de Maio, 13 28º andar
CEP 20003 – Caixa Postal 1680
Rio de Janeiro – RJ
Tel: PABX (021) 210-3122
Telex: (021) 34333 ABNT-BR
Endereço Telegráfico:
NORMA TÉCNICA

Copyright © 1990.
ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas
Printed in Brazil/
Impressão no Brasil
Todos os direitos reservados

SET/1997 NBR 9547

Material particulado em suspensão no ar ambiente – Determinação da concentração total pelo método do amostrador de grande volume

Origem: Projeto NBR 9547:1986
CEET-Comissão de estudo Especial Temporária do Meio Ambiente
CE-01.601.02 - Comissão de Estudo de Medição da qualidade do Ar
NBR 9547 –Particulate matter suspended in the air – Determination of the total concentration by the method of high volume sampling
Descriptors: Air quality. Atmospheric pollution. Particulate matter
Esta norma foi baseada na 40 CFR Ch! (7-1-88 Edition), Part 50, Appendix B
US EPA, Research Triangle Park, NC 27711, USA
Esta norma substitui a NBR 9547:1996
Válida a partir de 30.10.1997

**Palavras-Chave: Qualidade do ar. Poluição atmosférica.
Material Particulado**

14 páginas

Prefácio

A ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – é o Fórum de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (CB) e dos Organismos de Normalização Setorial (ONS), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratório e outros).

Os Projetos de Norma Brasileira, elaborados no âmbito dos CB e ONS, circulam para Votação Nacional entre os associados da ABNT e demais interessados.

Esta Norma foi revisada porque a versão atualizada do 40 CFR part 50 app US EPA, apresenta uma nova metodologia para a determinação da concentração total de partículas em suspensão no ar ambiente.

1 Objetivo

Esta Norma especifica um método de ensaio para a determinação da concentração mássica de partículas totais em suspensão (PTS) no ar ambiente, em um período de amostragem determinado, utilizando um amostrador de grande volume (F-GV). O processo de medição é não-destrutivo e o tamanho da amostra coletada é geralmente adequado para posterior análise química.

2 Referências normativas

As normas relacionadas a seguir contêm disposições que, ao serem citadas neste texto, constituem prescrições para esta Norma. As edições indicadas estavam a vigor no momento desta publicação. Como toda norma está sujeita a revisão. Recomenda-se àqueles que realizam acordos com base nesta que verifiquem a conveniência de se usarem as edições mais recentes das normas citadas a seguir. A ABNT possui informação das normas em vigor em um dado momento

ASTM-D-828-:1987 – Test Method for Tensile Breaking Strength of Paper and Paperboard

ASTM-D-2986:1991 – Practice for Evaluation of Air Assay Media by the Monodisperse DOP (Diocetyl Phthalate) Smoke Test

3 Definições

Para os efeitos desta Norma, aplicam-se as seguintes definições.

3.1 diâmetro aerodinâmico equivalente: Diâmetro de uma esfera de densidade 1 g/cm³ que tenha a mesma velocidade terminal de uma partícula sujeita à força gravitacional no ar em condições de calma.

3.2 partículas totais em suspensão (PTS): Material particulado em suspensão na atmosfera, com diâmetro aerodinâmico equivalente de até 25 µm - 50 µm, dependendo da direção e velocidade de vento, coletado no amostrador de grande volume (AGV).

4 Método

4.1 Princípio

4.1.1 Um amostrador de ar, devidamente instalado em um local de medição, aspira uma certa quantidade de ar ambiente através de um filtro, dentro de um abrigo coberto, durante um período de amostragem de 24 h (nominais). A vazão imprimida pelo amostrador e a geometria do abrigo favorecem a coleta de partículas de até 25 μm – 50 μm (diâmetro aerodinâmico), dependendo da velocidade e da direção do vento. Os filtros empregados são específicos para uma eficiência mínima de 99% para a coleta de partículas de ftalato de dioctil de 0,3 μm (ver 4.2.1.4)

4.1.2 O filtro é pesado (após equilíbrio de umidade) antes e após a coleta, a fim de se determinar o ganho líquido em massa. O volume de ar amostrado, corrigido para condições-padrão, é determinado a partir da vazão medida e do tempo de amostragem. A concentração das partículas totais em suspensão no ar ambiente é calculada dividindo-se a massa das partículas coletadas pelo volume de ar amostrado, corrigido para condições-padrão, e expressa em microgramas por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ em condições-padrão). Para amostras coletadas a temperaturas e pressões significativamente diferentes das condições-padrão, essas concentrações corrigidas podem diferenciar substancialmente das condições reais, particularmente a grandes altitudes. A concentração de material particulado em condições reais pode ser calculada a partir da concentração corrigida, usando-se a temperatura e a pressão reais durante o período de amostragem.

4.2 Aparelhagem

4.2.1 Filtro

NOTA – Caso se queira também realizar análise química da amostra, são necessárias outras especificações, além das aqui expressas.

4.2.1.1 Dimensões: 20,3 cm \pm 0,2 cm x 25,4 cm \pm 0,2 cm

4.2.1.2 Área de exposição nominal: 406,5 cm²

4.2.1.3 Material: fibra de vidro ou outro relativamente inerte e não hidróscópio.

4.2.1.4 Eficiência de coleta: 99% no mínimo, conforme teste do ftalato de dioctil (FDO) para partículas de 0,3 μm de diâmetro (ASTM-2986).

4.2.1.5 Perda de carga recomendada: na faixa de 42 mmHg a 54 mmHg (5,6 kPa a 7,2 kPa) a uma vazão de 1,5 m³/min em condições-padrão (25°C, 760 mmHg ou 101 kPa) através da área de exposição nominal.

4.2.1.6 pH: 6 a 10.

4.2.1.7 Integridade: perda de massa de no máximo 2,4 mg.

4.2.1.8 Furos: nenhum.

4.2.1.9 Tensão de ruptura: 500 g, no mínimo, para uma tira de filtro de 20 mm de largura, cortada na direção mais fraca (ver ASTM.O-828).

4.2.1.10 Fragilidade: nenhuma rachadura ou separação de material após uma dobra simples na direção do maior comprimento.

4.2.1.11 Recipiente protetor: envelope de papel ou estojo para proteção do filtro.

4.2.2 Amostrador

O amostrador deve possuir meios de aspirar a amostra de ar, por redução de pressão, através do filtro, a uma velocidade facial uniforme.

4.2.2.1 O amostrador deve ser dotado de meios adequados que possibilitem:

- a) a instalação firme e sem vazamentos do filtro na casinhola de abrigo do amostrador;
- b) a conveniente troca de filtros;
- c) a ausência de vazamentos que possam causar erros na medição do volume de ar através do filtro;
- d) o ajuste da vazão visando acomodar variações na perda de carga no filtro, na voltagem da linha e na altitude. O ajuste pode ser realizado por meio de um controlador automático ou manual de vazão. O ajuste manual, se empregado, deve ser projetado de tal forma que incorpore meios que dificultem ou evitem alterações não intencionais no valor ajustado.

4.2.2.2 Vazão mínima de amostragem (filtro altamente carregado): 1,1 m³/min.

4.2.2.3 Vazão máxima de amostragem (filtro limpo): 1,7 m³/min

4.2.2.4 Motoaspirador: o motor deve ter capacidade para funcionamento contínuo por período de 24 h.

4.2.3 Casinhola de abrigo do amostrador

4.2.3.1 A casinhola de abrigo do amostrador deve:

- manter o filtro na posição horizontal, pelo menos 1 m acima da superfície do piso do amostrador, de modo que o ar seja aspirado para baixo através do filtro;
- ser de forma retangular, com teto em duas águas, similar ao apresentado na figura 1;
- cobrir e proteger o filtro e o motoaspirador contra interpéries;
- descarregar o ar de exaustão a uma distância de pelo menos 40 cm da entrada de ar no amostrador;
- ser projetado para minimizar a coleta de material particulado localizado no piso, incorporando, para isso, um defletor entre a saída de exaustão e o piso.

4.2.3.2 O teto do amostrador deve formar beiral na casinhola de abrigo, conforme mostrado na figura 1, e deve ser montado de modo que forme uma passagem de ar entre o teto e as paredes da casinhola em todos os lados do amostrador. A área de entrada do ar deve ser dimensionada de modo que a velocidade do ar esteja entre 20 cm/s e 35 cm/s para a vazão operacional recomendada, garantindo a captura e a relação entre a vazão de

ar no amostrador e a área de entrada do ar, medida no plano horizontal, na borda inferior do teto. O ideal é que a área de entrada e a vazão operacional sejam selecionadas de modo a se obter uma velocidade (do ar) de captura de $(25 \text{ cm/s} \pm 2 \text{ cm/s})$

4.2.4 Dispositivo indicador de vazão

4.2.4.1 O amostrador deve incorporar um dispositivo indicação de vazão do aparelho. O tipo de dispositivo comum é o registrador contínuo de vazão, por meio de registrador de pressão e um orifício. Outros tipos, podem ser usados são o medidor de vazão má: eletrônico, o de orifício com medida de pressão diferel por manômetro de coluna ou aneróide e o rotâmetro.

4.2.4.1

4.2.4.2 O dispositivo indicador de vazão deve permitir a calibração e leitura, em unidades de vazão correspondente, com aproximação de $0,02 \text{ m}^3/\text{min}$, em condições-padrão, ao longo da faixa de $1,0 \text{ m}^3/\text{min}$ a $1,8 \text{ m}^3/\text{min}$ nas condições-padrão.

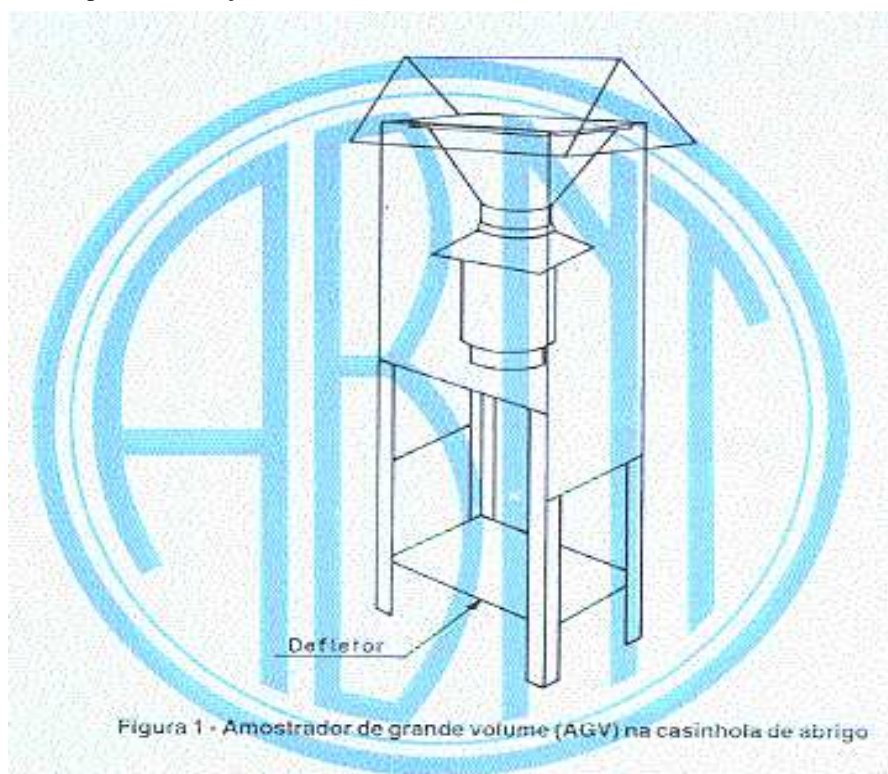


Figura 1 - Amostrador de grande volume (AGV) na casinhola de abrigo

4.2.5 Termômetro

Para indicar a temperatura aproximada do ar no orifício de exaustão do indicador de vazão, quando forem usadas correções:

- faixa: $(-40^{\circ}\text{C}$ a $+50^{\circ}\text{C})$ (223K a 323K);
- resolução: 2°C (2K).

4.2.6 Barômetro

Para indicar a pressão barométrica no orifício de exaustão do indicador de vazão, quando forem usadas correções:

- faixa: $(500\text{mmHg}$ a $800 \text{ mmHg})$ (66kPa a 1060kPa);

- resolução: $\pm \text{ mmHg}$ ($0,67\text{kPa}$)

4.2.7 Dispositivo de programação de tempo

4.2.7.1 O programador de tempo deve ser capaz de dar partida e parar o amostrador no período de tempo de $24\text{h} \pm 1\text{h}$ ($1440 \text{ min} \pm 60 \text{ min}$).

4.2.7.2 Exatidão do programador: pelo menos $\pm 30 \text{ min}$ (ver 4.6.8)

4.2.8 Calibrador padrão de vazão (CPV), rastreável

a um padrão primário oficial (ver 4.8.2).

4.2.8.1 Faixa de vazão aproximada: 1,0 m³/min a 1,8 m³/min.

4.2.8.2 Resolução: 0,02 m³/min.

4.2.8.3 Reprodutividade: $\pm 2\%$ (duas vezes o coeficiente de variação) dentro de faixas normais de pressão e temperatura ambientes para a referida faixa de vazão.

4.2.8.4 Perda de carga máxima a 1,7 m³/min nas condições-padrão: 50 cm H₂O (5 kPa).

4.2.8.5 O CPV deve ser conectado sem vazamento à entrada do amostrador e medir a vazão do ar total aspirado.

4.2.8.6 O CPV deve permitir a variação da vazão do amostrador dentro da faixa de 1,0 m³/min a 1,8 m³/min, pela introdução, entre ele e o amostrador, de vários níveis de resistência ao fluxo.

4.2.8.7 O tipo convencional de CPV é constituído de uma unidade com orifício, que se conecta, por um adaptador, à entrada do amostrador; um manômetro ou outro dispositivo para medir a perda de carga no orifício; um meio de

variar o fluxo através da unidade amostradora; um termômetro para medir a temperatura ambiente; e um barômetro para medir a pressão ambiente. Dois tipos de dispositivo para variação do fluxo são mostrados nas figuras 2.a) e 2.b). O da figura 2.a) é por meio de placas de resistência múltiplas, desmontadas toda vez que se tenha que mudar a resistência ao fluxo. O tipo preferível, ilustrado na figura 2.b), possui um obturador de fluxo variável, ajustável externamente sem que a unidade seja desmontada. Assume-se no procedimento de calibração (ver 4;8) o uso de um CPV convencional do tipo orifício. Contudo, é aceitável o uso de outros tipos de calibrador, tal como o mostrado na figura 2.c), contanto que satisfaçam às especificações acima (ver nota de 4.8.1).

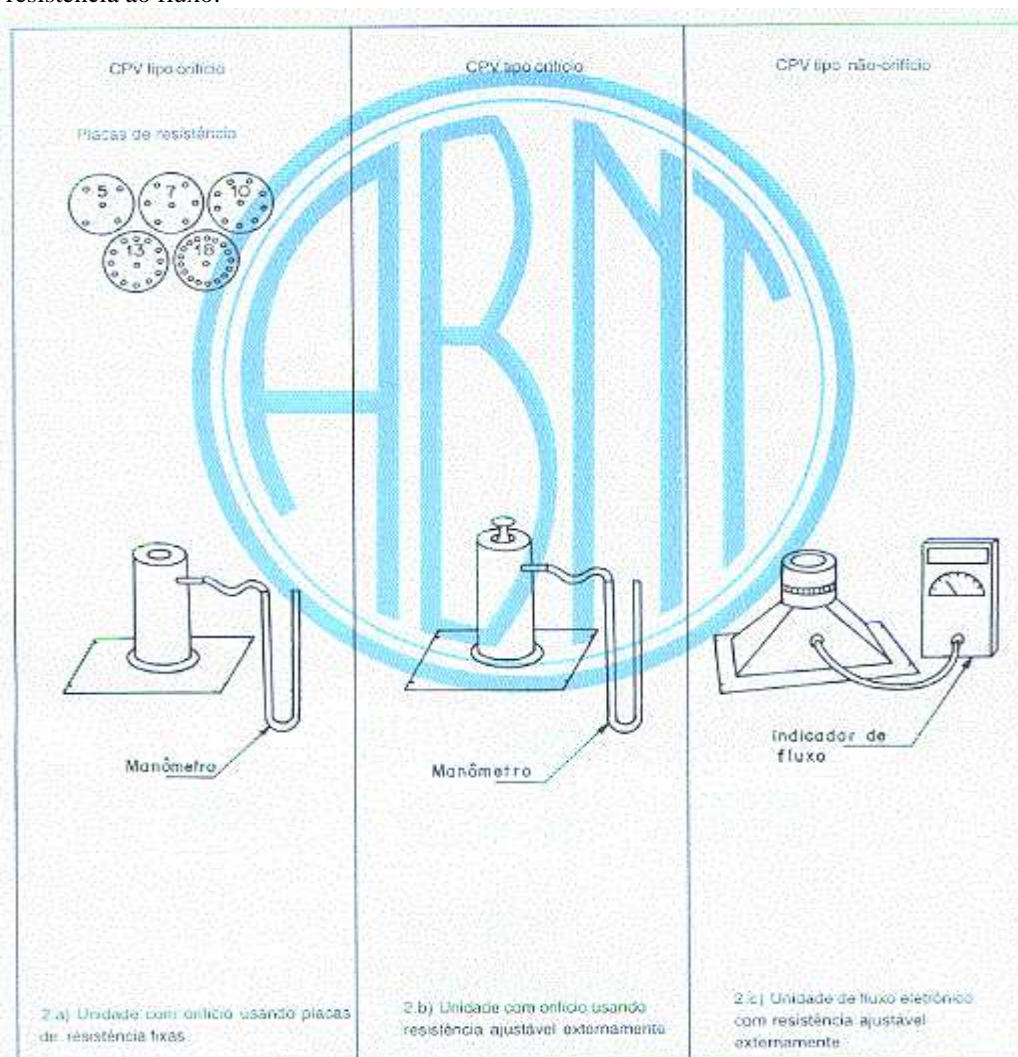


Figura 2 - Vários tipos de calibrador padrão de vazão (CPV)

4.2.9 Ambiente de condicionamento do filtro

4.2.9.1 Temperatura controlada: entre 15°C e 30°C, com variação menor que $\pm 3^\circ\text{C}$ durante o período de equilíbrio

4.2.9.2 Umidade controlada: umidade relativa menor que 50%, constante dentro de $\pm 5\%$.

4.2.10 Balança analítica

4.2.10.1 Sensibilidade: 0,1 mg.

4.2.10.2 Câmara de pesagem projetada para aceitar um filtro de (20,3 cm x 25,4 cm) sem dobra.

4.2.11. Fonte de luz superficial

Similar ao visor de filme de raios X, para iluminar filtros por trás com fins de inspeção visual.

4.3 Faixa de concentração

4.3.1 A faixa de concentração aproximada do método é de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $750 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em condições-padrão. O limite superior é determinado pelo ponto no qual o amostrador não pode mais manter a vazão especificada devido à perda de carga acrescida pelo filtro carregado. Este ponto é afetado, entre outras coisas, pela distribuição granulométrica das partículas, pelo teor de umidade das partículas, pelo teor de umidade das partículas coletadas e pela variação de filtro para filtro. O limite inferior é determinado pela sensibilidade da balança (ver 4.2.10) e pelas fontes inerentes de erro (ver 4.6.).

4.3.2 A velocidade de vento entre 1,3 m/s e 4,5 m/s, verificou-se que o amostrador de grande volume coleta partículas de até $25 \mu\text{m}$ – $50 \mu\text{m}$, dependendo da velocidade e da direção do vento. Para o filtro especificado em 4.2.1, não há efetivamente limite inferior para o tamanho das partículas coletadas.

4.4 Precisão

Com base em ensaios realizados por um único analista (repetibilidade), o desvio-padrão relativo (coeficiente de variação) é de 3,0%. O valor correspondente para a precisão interlaboratorial (reprodutividade) é de 3,7%.

4.5 Exatidão

A exatidão absoluta do método é indefinida devido à natureza complexa do material particulado atmosférico e à dificuldade de se determinar a concentração real de material particulado. Entretanto, o método aqui apresentado permite medidas de concentração de material particulado que atendem aos objetivos desta Norma.

4.6 Fontes inerentes de erro

4.6.1 Variação do fluxo de ar.

A massa do material coletado no filtro representa a soma (integração) do produto da vazão instantânea pela concentração instantânea de partículas. Entretanto, a divisão desta massa pela vazão média ao longo do tempo de amostragem somente resulta na concentração real de

material particulado desde que a vazão permaneça constante ao longo de todo o período. O erro decorrente de uma vazão não uniforme depende da magnitude das variações instantâneas da vazão e da concentração de material particulado. Normalmente tais erros não são significativos, mas podem ser reduzidos ainda mais ao se equipar o amostrador com um mecanismo de controle automático que mantenha a vazão constante durante o período de amostragem. É recomendável o emprego de um dispositivo que mantenha a vazão constante.

4.6.2 Medição do volume de ar

A flutuação substancial ou não uniforme da vazão durante o período de amostragem pode acarretar erro apreciável no volume de ar estimado ao se empregarem as médias de vazão medidas antes a amostragem. Podem-se obter medidas mais exatas do volume de ar:

- 1) equipando-se o amostrador com um dispositivo de controle que mantenham a vazão constante durante o período de amostragem;
- 2) empregando-se um dispositivo calibrado para registro contínuo da vazão real durante o período de amostragem e integrando-se a vazão ao longo do período;
- 3) usando-se qualquer outro meio que realmente meça o volume total de ar amostrado durante o período de amostragem.

O emprego de um registrador contínuo de vazão recomendado, particularmente se o amostrador não estiver equipado com um dispositivo de controle para manter a vazão constante.

4.6.3 Perda de voláteis

AS partículas voláteis coletadas no filtro podem se perder durante a amostragem, transporte ou estocagem do filtro antes da pesagem. Embora tais perdas sejam altamente inevitáveis, o filtro deve ser pesado novamente logo que possível após a amostragem.

4.6.4 Material particulado artificial

Podem formar-se artificialmente material particulado na superfície de filtros de fibra de vidro alcalino pela oxidação de gases ácidos no ar amostrado, resultando daí uma determinação mais alta do que a verdadeira de PTS. Este efeito geralmente ocorre no início do período de amostragem e é função do pH do filtro e da presença de gases ácidos. Acredita-se que o fenômeno contribua apenas com uma pequena percentagem do ganho em massa do filtro, porém o efeito pode torna-se significativo quando são coletadas massas relativamente pequenas de material particulado.

4.6.5 Umidade

Os filtros de fibra de vidro são comparativamente insensíveis a variações na umidade relativa, porém o material particulado coletado pode ser higroscópico. O procedimento de condicionamento (ver 4.2.9) minimiza mas não elimina completamente erros devido à umidade.

4.6.6 manuseio do filtro

É necessário cuidado no manuseio do filtro entre as pesagens anterior e posterior à amostragem, a fim de se

evitem erros devido à perda de fibras ou partículas do filtro. Erros de manuseio são minimizados com o uso de recipiente para proteger o filtro (4.2.1.11).

4.6.7 Material particulado não amostrado

Pode ocorrer, pela ação do vento, a deposição de material particulado no filtro ou na área de apoio do mesmo durante períodos em que o amostrador não esteja operando. Recomenda-se minimizar erros dessa fonte, programando-se a colocação e a retirada do filtro de modo a reduzir os períodos de não amostragem antes e após a operação e instalando-se, durante o intervalo em que o amostrador permanecer sem filtro, um folha de papel para proteção da área de apoio do filtro.

4.6.8 Erros na programação do tempo

Programadores de tempo são normalmente empregados para dar partida e parar o amostrador. Erros no período de amostragem nominal de 1440 min podem ser acarretados por interrupção de energia elétrica durante o período de amostragem ou por discrepância entre os momentos de partida e parada reais e os registrados na folha de campo. Tais discrepâncias podem ser causadas por:

- 1) baixa resolução do programador;
- 2) interrupção de energia elétrica;
- 3) erro na programação; ou
- 4) defeito do programador

Em geral, os programadores eletrônicos digitais possuem resolução bem melhor que a dos programadores eletromecânicos, porém necessitam de bateria para dar continuidade de operação em caso de interrupção de energia. Um registrador contínuo de vazão ou um horômetro fornece tanto a indicação do tempo de funcionamento do amostrador como as interrupções de energia durante o período de amostragem, sendo portanto de uso recomendado.

4.6.9 Recirculação da exaustão do amostrador

Em condições de calma, o ar de exaustão do amostrador pode ser reamostrado. Isto parece não afetar substancialmente a medição de PTS, mas pode resultar em aumento das massas de carbono e cobre na amostra coletada. Este problema pode ser minimizado lançando-se o ar de exaustão, através de um duto, para bem distante, de preferência a jusante do amostrador com relação à direção do vento.

4.7 Coleta de amostra

4.7.1 Inspeccionar cada filtro contra uma fonte de luz natural e observar se não há furos, partículas ou outras imperfeições; filtros com imperfeições devem ser rejeitados.

4.7.2 Numerar cada filtro, próximo à borda, com um número de identificação distinto.

4.7.3 manter cada filtro no ambiente de condicionamento por pelo menos 24h para equilíbrio de umidade.

4.7.4 Após alcançar o equilíbrio, pesar cada filtro com precisão de 0,01mg e anotar a massa inicial (M) e o número de identificação do filtro.

4.7.5 Não dobrar o filtro antes da coleta da amostra. Transportá-lo dentro de um recipiente protetor (4.2.1.11)

4.7.6 Abrir o amostrador e instalar o filtro, numerado e pré-pesado, com a face rugosa voltada para cima. No caso de condições de ventos fortes ou chuva, devem-se tomar cuidados durante a troca do filtro, a fim de se evitar danos ao mesmo. Recomenda-se aplicar eventualmente um pouco de talco sobre as borrachas de vedação, a fim de impedir que o filtro cole na borracha. Deve-se remover cuidadosamente o excesso de talco com pincel ou pano limpo e seco.

4.7.7 Fechar o amostrador e colocar em funcionamento por pelo menos 5 min, a fim de se estabelecerem as condições de temperatura de funcionamento.

4.7.8 Anotar a leitura do indicador de vazão e, se necessário, a pressão barométrica (P_3) e a temperatura ambiente (T_3) (ver nota de 4.7.11). Desligar o amostrador e determinar a vazão (ver 4.9.1); se estiver fora da faixa aceitável ($1,1 \text{ m}^3/\text{min}$ a $1,7 \text{ m}^3/\text{min}$), ajustar a vazão do amostrador ou substituir o filtro por outro que permita a leitura de vazão dentro desta faixa.

NOTA: Ajuste substancial da vazão pode afetar a calibração dos indicadores de vazão do tipo orifício e assim acarretar a necessidade de recalibração.

4.7.9 Anotar os dados de identificação do local de amostragem e do amostrador, o número do filtro, a data de amostragem e a hora de partida.

4.7.10 Programar o início e o término da amostragem de tal forma que o amostrador funcione 24h (por exemplo, de meia-noite a meia-noite (hora local)).

4.7.11 No caso do uso de indicadores de vazão com leitura instantânea (por exemplo, rotâmetro ou manômetro de coluna d'água), colocar, após a amostragem, o amostrador em funcionamento por pelo menos 5 min para que novamente se estabeleçam as condições de equilíbrio térmico. Anotar então a leitura do indicador de vazão.

NOTA: Não são necessárias medidas de pressão e temperatura no local caso o indicador de vazão do amostrador não exija correções de pressão e temperatura (por exemplo, um medidor de vazão mássica) ou caso a pressão barométrica média (P_m) e a temperatura média sazonal ou anual T_m para o local estejam incorporadas na calibração do amostrador (ver 4.8.3.9). Para correções individuais de pressão e temperatura, estas podem ser obtidas por meio de medidas no local ou de uma estação meteorológica próxima. As leituras de pressão barométrica obtidas em aeroportos devem ser as da própria estação, não corrigidas para o nível do mar, e podem necessitar de correção para diferenças de altitude entre o local do amostrador e o

aeroporto. Para amostradores dotados de registrador de vazão - não confundir com controlador de vazão-, a pressão e temperatura médias no local durante o período de amostragem devem ser estimadas a partir de dados do posto meteorológico oficial ou de outra fonte disponível.

4.7.12 Com o amostrador desligado, cuidadosamente remover o filtro, tocando somente na sua borda. Ver precauções em 4.7.6.

4.7.13 Dobrar o filtro ao meio, no comprimento maior, de tal forma que somente superfícies com material particulado coletado entrem em contato entre si, e em seguida colocá-lo em um recipiente protetor (4.2.1.11).

4.7.14 Anotar, na folha de campo, o término ou o tempo da amostragem, o qual pode ser obtido a partir do programador de tempo, de um horâmetro ou de um registrador contínuo de vazão. O período de amostragem, para fins de comparação legal, deve ser de (1440 min \pm 60 min).

4.7.15 Anotar, na folha de campo, quaisquer outros fatores, como condições meteorológicas, atividades em obras civis, incêndio ou ventanias, que possam ser pertinentes à medição. Caso a amostra tenha sido alterada, deve ser rejeitada.

4.7.16 Manter o filtro com material de amostragem no ambiente de condicionamento por pelo menos 24h, para equilíbrio de umidade.

4.7.17 Após o equilíbrio, pesar o filtro novamente, com precisão de 0,1 mg e anotar a massa final (M_f).

4.8 Calibração

4.8.1 Consideração

A calibração do dispositivo indicador de vazão (4.2.4) ou do controlador de vazão do AGV se faz necessária, a fim de estabelecer a rastreabilidade da medição em campo a um padrão primário oficial via um calibrador padrão (secundário) de vazão. A figura 3.a) ilustra a certificação do calibrador padrão de vazão (CPV), enquanto que a figura 3.b) ilustra seu uso na calibração de um indicador de vazão. A determinação da vazão com o indicador de vazão, ilustrada na figura 3.c), é abordada em 4.9.1.

Nota – O procedimento de calibração a seguir se aplica a um CPV convencional do tipo orifício e a um indicador de vazão tipo orifício instalado no amostrador (4.2.4.1). Outros tipos de CPV podem ser usados, bastando que o fabricante ou o usuário forneça um procedimento de calibração que seja aprovado por órgãos oficiais.

4.8.2 Certificação do calibrador padrão de vazão (CPV)

4.8.2.1 Equipamento necessário: um medidor padrão de volume (MPV), de deslocamento positivo (tal como um medidor “Roots” ou equivalente), que seja rastreável a

um padrão primário oficial, um cronômetro, dois manômetros, um termômetro e um barômetro.

4.8.2.2 Conectar o CPV na entrada de ar do MPV e um manômetro para medir a pressão neste ponto. Conectar um outro manômetro de coluna à tomada de pressão no CPV. Conectar um motoaspirador de ar, de grande volume, na saída do MPV. Ver figura 3.a).

4.8.2.3 Verificar a ocorrência de vazamentos, prendendo temporariamente com pinças as extremidades abertas de ambos os manômetros (a fim de evitar perda de líquido) e bloqueando o orifício do CPV com uma rolha de borracha, uma fita de celofane ou outro meio adequado. Dar partida no motoaspirador e observar qualquer alteração na leitura do MPV. O indicador de volume deve permanecer inalterado. Caso se altere, localizar qualquer vazamento auditivamente (por sons assovio) e/ou reapertar todas as conexões, assegurando-se de que todas as juntas estejam devidamente instaladas.

4.8.2.4 Após certificar-se da inexistência de vazamentos, retirar as pinças e zerar os manômetros.

4.8.2.5 Conseguir uma vazão apropriada através do sistema, seja variando a resistência à vazão no CPV ou variando a voltagem do motoaspirador. O emprego de placas de resistência como as mostradas na figura 2.a) é mais trabalhoso, visto que a verificação de vazamentos tem que ser repetida toda vez que um nova placa de resistência for instalada. São exigidas pelo menos cinco vazão diferentes, porém constantes, uniformemente distribuídas, com pelo menos três no intervalo especificado para a vazão (1,1 m³/min a 1,7 m³/min).

4.8.2.6 Anotar os dados de certificação em um formulário similar ao ilustrado na figura 4.a) e de acordo com 4.8.2.7 a 4.8.2.18

4.8.2.7 Obter a pressão barométrica no local de calibração e anotar como P_1 (dados de calibração da figura 4.a).

4.8.2.8 Ler a temperatura ambiente no local de calibração e anotar como T_1 (dados de calibração da figura 4.a)

4.8.2.9 Ligar o motoaspirador, ajustar a vazão e deixar o sistema funcionar por pelo menos 1 min, a fim de se atingir uma velocidade constante para o motor.

4.8.2.10 Adotar um volume V_m no medidor padrão de volume (MPV) de no mínimo 3 m³ e medir o tempo t (em minutos) necessário para completar o volume. Anotar na tabela da figura 4.a).

4.8.2.11 Anotar a leitura do manômetro para a pressão diferencial na entrada do MPV, como ΔP , na terceira coluna da figura 4.a) bem como a leitura do manômetro do CPV, como ΔH , na segunda coluna da figura 4.a). Certificar-se de que as unidades estejam sendo usadas corretamente.

4.8.2.12 Corrigir o volume V_m para as condições-padrão

(m³/min nas condições-padrão) como segue e anotar na quinta coluna da figura 4.a):

$$V_p = V_m \left(\frac{P_1 - \Delta P}{P_p} \right) \left(\frac{T_p}{T_1} \right)$$

onde:

V_p é o volume em condições-padrão, em metros cúbicos;

V_m é o volume real medido pelo MPV, em metros cúbicos;

P_1 é a pressão barométrica durante a calibração, mmHg ou kPa;

ΔP é a pressão diferencial na entrada do MPV, mmHg ou kPa;

$P_p = 760$ mmHg ou 101kPa

$T_p = 298$ K;

T_1 é a temperatura ambiente durante a calibração em Kelvin

Calcular a vazão nas condições-padrão como segue:

$$Q_p = \frac{V_p}{t} \quad (2)$$

(1) Onde:

Q_p é a vazão volumétrica nas condições-padrão, em metros cúbicos por minuto;

T é o tempo decorrido, em minutos.

Anotar Q_p com aproximação de 0,01 m³/min nas condições-padrão na sexta coluna da figura 4.a

4.9.3.13 Repetir 4.8.2.9 a 4.8.2.12, para pelo menos mais quatro vazões constantes diferentes, nas condições-padrão, uniformemente espaçadas na faixa aproximada de 1,0 m³/min a 1,8 m³/min.

4.8.2.14 Corrigir os valores de ΔH para condições-padrão, utilizando a expressão abaixo, e anotar na última coluna da figura 4.a.

$$\Delta H_{\text{CORR}} = \sqrt{\Delta H \left(\frac{P_1}{P_p} \right) \left(\frac{T_p}{T_1} \right)} \quad (3)$$

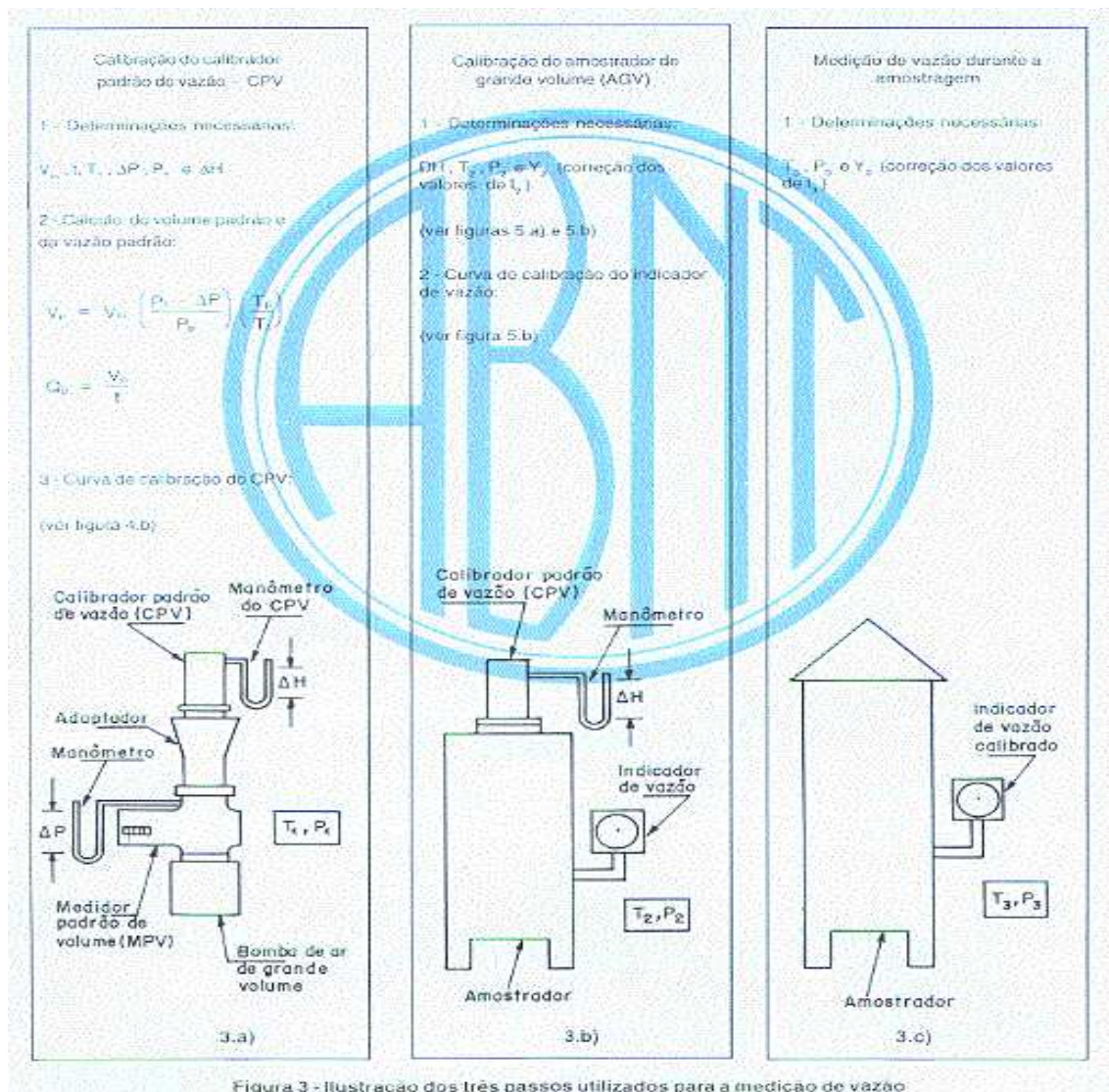


Figura 3 - Ilustração dos três passos utilizados para a medição de vazão

4.8.2.15 Plotar os valores de ΔH_{CORR} contra Q_p , conforme ilustrado na figura 4 b)ou calcular pela técnica dos mínimos quadrados (regressão linear) a inclinação (a_1), a interseção (b_1) e o coeficiente de correlação (r_1) da curva de certificação

$$\Delta H_{CORR} = a_1 Q_p + b_1$$

4.8.2.16 Anotar os valores a_1 , b_1 , e r_1 , na figura 4.b). Um gráfico de certificação deve permitir a leitura com aproximação de 0,02 m³/min nas condições-padrão.

4.8.2.17 Em condições de utilização normal, recalibrar o CPV anualmente ou conforme exigido pelos órgãos oficiais.

4.8.2.18 Utilizar os valores de a_1 e b_1 nas calibrações do AGV conforme especificado na figura 4.b)

4.8.3 Calibração do dispositivo indicador de vazão

Nota – Para amostradores equipados com controlador automático de vazão mássica, este deve ser desativado a fim de permitir variações de vazão durante a calibração do indicador de vazão. Uma calibração alternativa é apresentada em 4.8.4.

Dados da calibração

Identificação do calibrador padrão de vazão (CPV) = _____

Identificação do medidor padrão de volume (MPV) = _____

P_1 = pressão atmosférica no local de calibração (mmHg) = _____

T_1 = temperatura ambiente no local de calibração (K) = _____

Local e data da calibração: _____ / _____ / _____

Tabela - Valores medidos e calculados

Tempo de medida (t) min	Pressão diferencial		Volume m ³		Vazão padrão (Q_p) m ³ /min	ΔH_{CORR}
	CPV (ΔH) cmH ₂ O	MPV (ΔP) mmHg	Medido (V_m)	Padrão (V_p)		

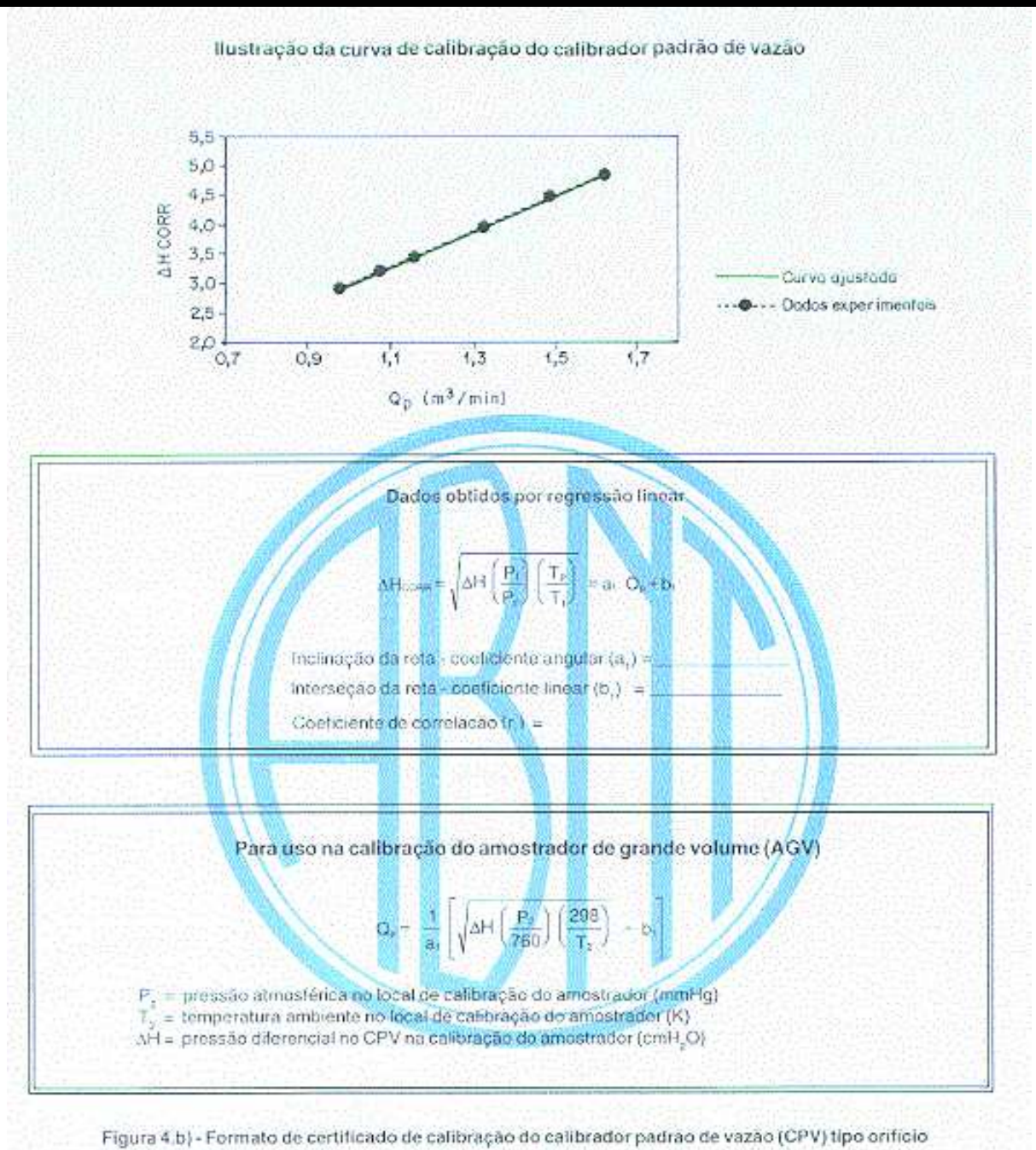
Equações

$$V_m = V_p \left(\frac{P_1 + \Delta P}{P_1} \right) \left(\frac{T_0}{T_1} \right)$$

$$Q_p = \frac{V_p}{t}$$

$$\Delta H_{CORR} = \sqrt{\Delta H \left(\frac{P_1}{760} + \frac{296}{T_1} \right)}$$

Figura 4.a) - Formato de certificado de calibração do calibrador padrão de vazão (CPV) tipo orifício



4.8.3.1 Um formulário similar ao ilustrado na figura 5.a) deve ser usado para registro dos dados de calibração

4.8.3.2 Conectar o CPV (do tipo orifício) à entrada do amostrador. Conectar o manômetro de coluna à tomada e pressão do calibrador, conforme ilustrado na figura 3.b). Certificar-se de que não haja vazamento entre o PV e o amostrador.

4.8.3.3 Deixar o amostrador funcionar por 5 min, a fim de estabelecer equilíbrio térmico antes da calibração.

4.8.3.4 Obter a temperatura ambiente, T_2 e a pressão barométrica, P_2 durante a calibração. Anotar no quadro "Dados de calibração" da figura 5.a).

4.8.3.5 Inserir a placa de orifícios apropriada ou ajustar os tamanhos dos orifícios para obter a vazão desejada.

4.8.3.6 Deixar o amostrador funcionar por pelo menos 2 min para restabelecer as condições térmicas de funcionamento. Ler a pressão diferencial (ΔH) no orifício do CPV e o valor indicado (I_2) do indicador de vazão. Anotar na tabela da figura 5.a).

4.8.3.7 Calcular a vazão nas condições-padrão (Q_p) a partir da equação abaixo, indicada na figura 4.b). Anotar o valor de Q_p na tabela da figura 5.a).

$$Q_p = \frac{1}{a_1} \left[\sqrt{\Delta H \left(\frac{P_2}{760} \right) \left(\frac{298}{T_2} \right)} - b_1 \right]$$

Dados da calibração

Identificação do amostrador de grande volume (AGV) = _____

Identificação do calibrador padrão de vazão (CPV) = _____

P₂ = pressão atmosférica no local de calibração (mmHg) = _____

T₂ = temperatura ambiente no local de calibração (K) = _____

Local e data da calibração: _____ / _____ / _____

Tabela - Valores medidos e calculados

Placa de orifício	ΔH cmH ₂ O	l ₂	Q _v m ³ /min	Y _v

ΔH = pressão diferencial no CPV (cmH₂O)

l₂ = valor indicado no indicador de vazão

Equação do CPV (ver figura 4.b):

$$Q_v = \frac{1}{a_1} \sqrt{\Delta H \left(\frac{P_2}{760} \right) \left(\frac{298}{T_2} \right)} \cdot b_1$$

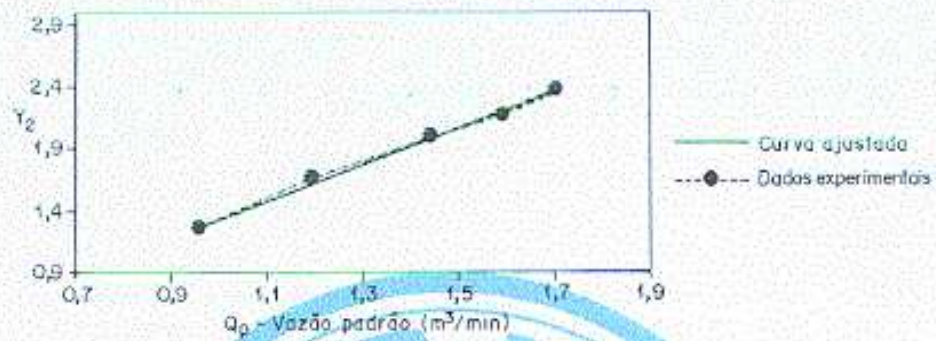
Q_v = vazão volumétrica padrão (m³/min)

Quadro 1
Y_v = Correção dos valores de l₂ - 3ª coluna da Tabela acima

Tipo de indicador de vazão	Com correção das condições reais (P ₂ , T ₂) para as condições-padrão	Com correção das condições reais (P ₂ , T ₂) para condições sazonais ou anuais (p _n , T _n)
Manômetro de coluna ou registrador de carta em escala linear	$Y_v = \sqrt{l_2 \left(\frac{P_2}{P_n} \times \frac{298}{T_2} \right)}$	$Y_v = \sqrt{l_2 \left(\frac{P_2}{P_n} \times \frac{T_n}{T_2} \right)}$
Rotâmetro ou registrador de carta em escala não linear (raiz quadrada)	$Y_v = l_2 \sqrt{\left(\frac{P_2}{P_n} \times \frac{298}{T_2} \right)}$	$Y_v = l_2 \sqrt{\left(\frac{P_2}{P_n} \times \frac{T_n}{T_2} \right)}$
Indicador de vazão mássica	Y _v = l ₂	Y _v = l ₂

Figura 5.a) - Formato de certificado de calibração do amostrador de grande volume

Ilustração gráfica da curva de calibração do indicador de vazão



Equação para determinação da vazão durante a amostragem:

Inclinação (a) = _____ $Q_p = \frac{1}{a_2} (Y_2 - b_2)$

Interseção (b) = _____

Coefficiente de correlação (r) = _____

Quadro II
Valores de Y₂ da equação acima

Tipo de indicador de vazão	Com correção das condições reais (P _s , T _s) para as condições-padrão	Com correção das condições reais (P _s , T _s) para condições sazonais ou anuais (P _n , T _n)
Manômetro de coluna ou registrador com escala linear	$Y_2 = \sqrt{I_1 \left(\frac{P_s \times 298}{P_p \times T_s} \right)}$	$Y_2 = \sqrt{I_1}$
Rotâmetro ou registrador com escala não linear (raiz quadrada)	$Y_2 = I_1 \sqrt{\left(\frac{P_s \times 298}{P_p \times T_s} \right)}$	$Y_2 = I_1$
Indicador de vazão mássica	$Y_2 = I_1$	$Y_2 = I_1$

P_s e T_s = pressão atmosférica (mmHg) e temperatura (K) no local de amostragem

Figura 5.b) - Formato de certificado de calibração do amostrador de grande volume

4.8.3.8 Repetir 4.8.3.5 a 4.8.3.7, para pelo menos mais quatro vazões constantes diferentes, uniformemente espaçadas na faixa aproximada de 1,0 m³/min a 1,8 m³/min, nas condições-padrão.

4.8.3.9 Para a determinação da curva de calibração, identificar antes que tipo de indicador de vazão (por exemplo, registrador contínuo com carta com escala linear, registrador contínuo com carta com escala não-linear, manômetro de coluna, rotâmetro e Indicador de vazão mássica) e que correções para pressão e temperatura (nas condições-padrão ou nas condições médias sazonais ou anuais) estão sendo considerados. Consultar o quadro I da figura 5.a) para fazer as identificações.

NOTAS

1 Quando for possível determinar uma pressão barométrica média geográfica (P_m) e uma temperatura média sazonal ou anual T_m de forma que a pressão barométrica e a temperatura reais no local não variem mais que ± 60 mmHg (8kPa) de P_m e $\pm 15^\circ\text{C}$ de T_m ,

Respectivamente, evitar a necessidade de cálculos posteriores de pressão e temperatura durante as amostragens.

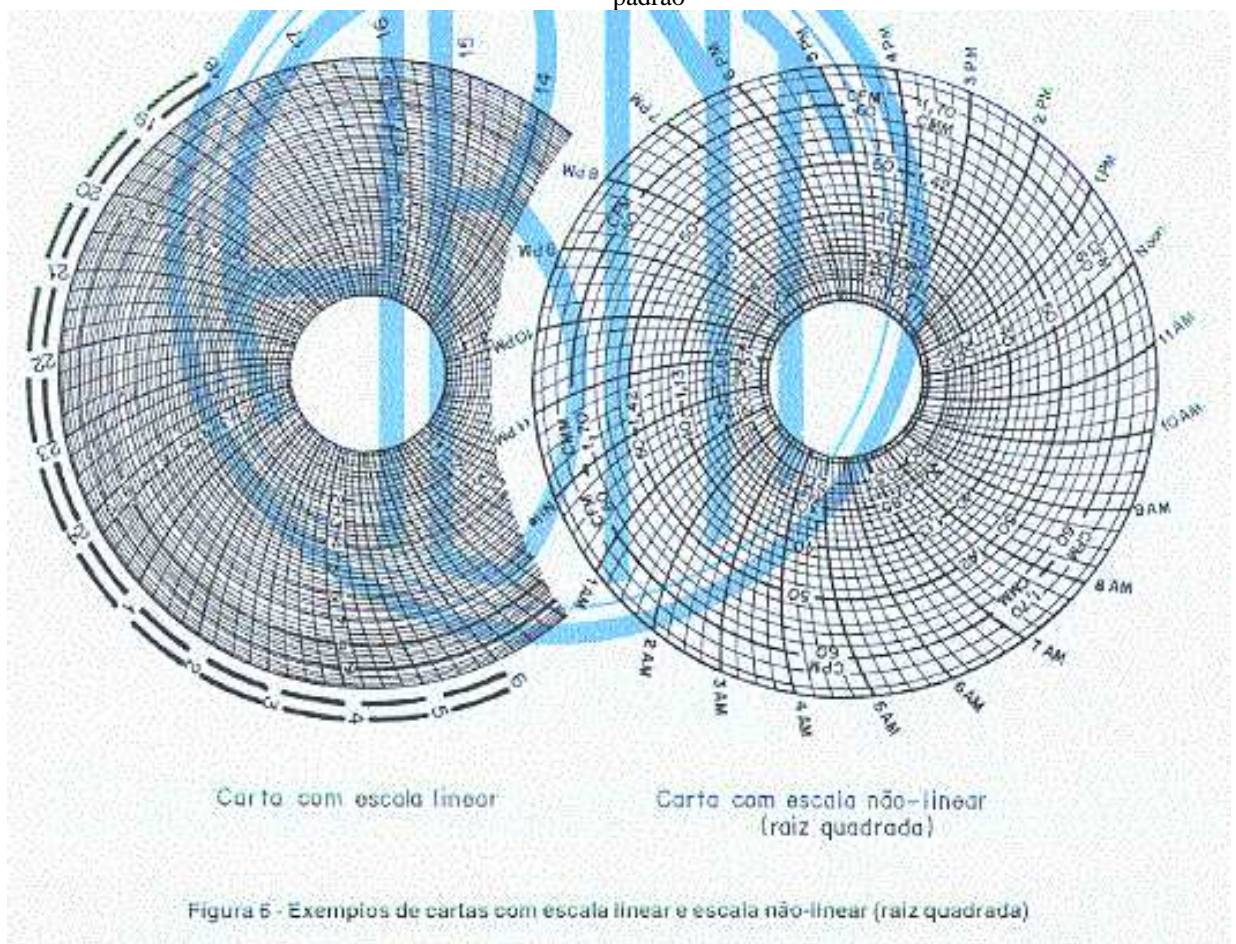
2 Exemplos de cartas com escalas linear e não-linear (raiz quadrada) são mostrados na figura 6.

Estabelecidas as identificações conforme o quadro I da figura 5.0), corrigir os valores de I_2 e anotar os valores corrigidos obtidos, denotados por Y_2 , na tabela da mesma figura 5.a).

4.8.3.10 Plotar os valores de Y_2 contra os valores correspondentes de Q_p conforme ilustrado na figura 5.b), ou calcular pela técnica dos mínimos quadrados (regressão linear) a inclinação (a_2) a interseção (b_2) e o coeficiente de correlação (r_2) da curva de calibração

$$Q_p = \frac{1}{a_2} (Y_2 - b_2) \quad (6)$$

Os valores locados nas curvas de calibração devem ser lidos com aproximação de 0,02 m³/min nas condições-padrão



4.8.3.11 Anotar os valores de a_2 , b_2 e r_2 na figura 5.b)

4.8.3.12 Recalibrar o indicador de vazão:

- 1) após deslocamento do AGV de um local para outro;
- 2) após parada para manutenção;
- 3) conforme exigência dos órgãos oficiais

4.8.3.13 Utilizar os valores de a_2 e b_2 posteriormente nas amostragens com o AGV, conforme especificado na figura 5.b).

4.8.3.14 Para um amostrador equipado com controlador de vazão, o mecanismo de controle deve ser reativado e, com um filtro limpo instalado, ajustado para uma vazão

próxima ao limite inferior ($1,1 \text{ m}^3/\text{min}$), a fim de permitir uma máxima faixa de controle. Acrescentar então dois ou mais filtros limpos no amostrador para verificar se a vazão permanece constante.

4.8.4 Calibração alternativa de amostradores com controlador de vazão mássica

Um amostrador com controlador de vazão mássica pode ser calibrado unicamente na sua vazão controlada nominal, desde que o histórico de amostragem indique que esta vazão tem-se mantido estável e confiável. Neste caso, o indicador de vazão pode permanecer sem calibração, devendo, porém, ser usado para verificar qualquer variação relativa entre as vazões inicial e final. Além disso, o amostrador deve ser recalibrado mais freqüentemente, a fim de minimizar perdas de amostragens devido a eventuais defeitos do controlador.

4.8.4.1 Ajustar o controlador para uma vazão próxima ao limite inferior ($1,1 \text{ m}^3/\text{min}$), a fim de permitir uma máxima faixa de controle.

4.8.4.2 Instalar um filtro limpo no amostrador e realizar o descrito em 4.8.3.2, 4.8.3.3, 4.8.3.4, 4.8.3.6 e 4.8.3.7.

4.8.4.3 Em seguida à calibração, acrescentar um ou dois filtros limpos no amostrador, conectar novamente o CPV e operar o amostrador para verificar se o controlador mantém a mesma vazão calibrada.

4.9 Expressão dos resultados

Para calcular a concentração de PTS, usar o procedimento descrito em 4.9.1.

4.9.1 Obter a vazão média do amostrador durante o período de amostragem conforme 4.9.1.1 ou 4.9.1.2.

4.9.1.1 Para um amostrador sem registrador contínuo de vazão, obter Q_p para as vazões inicial e final a partir da curva de calibração do amostrador, graficamente ou pela equação de regressão.

$$Q_p = \frac{1}{a_2} (Y_3 - b_2) \quad (7)$$

O valor de Y_3 deve ser calculado conforme a expressão escolhida no quadro II da figura 5.b)

Obter a vazão Q_p média, como sendo a metade da soma das vazões inicial e final determinadas pela equação acima.

4.9.1.2 Para um amostrador com registrador contínuo de vazão, determinar o valor médio, I_3 do indicador de vazão para o período. Obter Q_p a partir da curva de calibração do amostrador, graficamente ou pela equação de regressão

$$Q_p = \frac{1}{a_2} (Y_3 - b_2) \quad (8)$$

O valor de Y_3 deve ser calculado conforme a expressão escolhida no quadro II da figura 5.b).

Caso o traçado do registro indique uma variação substancial da vazão durante o período de amostragem, pode-se obter maior exatidão dividindo-se o período de amostragem em intervalos e calculando-se um valor médio, I_3 , antes de se obter Q_p .

4.9.2 Calcular o volume de ar total amostrado pela expressão:

$$V = Q_p \times t \quad (9)$$

onde:

V é o volume de ar total amostrado, em condições-padrão, em metros-cúbicos

Q_p é a vazão média, em condições-padrão, em metros cúbicos por minuto;

T é o tempo de amostragem, em minutos.

4.9.3 Calcular a concentração de material particulado pela expressão:

$$C = \frac{M_f - M_i}{V} \times 10^6 \quad (10)$$

onde:

C é a concentração mássica das partículas totais em suspensão (PTS), $\mu\text{g}/\text{m}^3$, em condições-padrão

M_i é a massa inicial do filtro limpo, em gramas:

M_f é a massa final do filtro (com material da amostragem), em gramas;

V é o volume de ar amostrado, convertido para condições-padrão, em metros cúbicos

10^6 é a conversão de gramas para microgramas

4.9.4. Caso desejado, a concentração de material particulado sob condições reais (ver 4.1.2) pode ser calculada como segue:

$$C_r = C \times \left[\frac{P_3}{P_p} \right] \left[\frac{T_p}{T_3} \right] \quad (11)$$

onde:

C_r é a concentração nas condições reais no campo, em microgramas por metros cúbicos

C é a concentração nas condições-padrão, em microgramas por metros cúbicos

P_3 é a pressão barométrica média durante o período de amostragem, em milímetros de mercúrio;

T_3 é a temperatura ambiente média durante o período de amostragem, em Kelvin;

$P_p = 760 \text{ mmHg}$ ou 101 kPa ;

$T_p = 298 \text{ K}$.