

1 INTRODUÇÃO

1.1 Histórico

Nos últimos anos, as questões relativas a controle metrológico de elementos de medição têm sido objeto de crescentes preocupações para as indústrias que atuam em diversas áreas da cadeia produtiva, em especial as indústrias nacionais de petróleo, gás natural e derivados . Para atender a este mercado a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biodiesel – ANP - editou, em conjunto com o Instituto Nacional Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – Inmetro – a Portaria Conjunta nº 01 de 19.06.2000, através da qual foi aprovado o Regulamento Técnico de Medição de Petróleo e Gás Natural, estabelecendo as condições e os requisitos mínimos para os sistemas de medição de petróleo e gás natural com vistas a garantir a exatidão das medições. A edição desta regulamentação declara que os medidores de gás devem ser calibrados periodicamente segundo requisitos de garantia da qualidade para equipamentos de medição, por pessoal técnico / instituição acreditada junto ao Inmetro, bem como atender os requisitos de controle metrológico estabelecidos pelo Inmetro.

Dentro do cenário apresentado, há uma grande necessidade de que os laboratórios espalhados por todo o nosso país possam ter um modelo de atuação e infra-estrutura capaz de assegurar que os resultados das medições reflitam um sistema de medição confiável e em consonância com os padrões tecnológicos regulamentares estabelecidos.

Para atender a esta necessidade de mercado foi verificado que um número muito pequeno de laboratórios possuem acreditação junto ao Inmetro para a área de medição de vazão. Analisando o porque dessa dificuldade verificamos em [1], que a dificuldade não está na implementação dos requisitos de gestão e sim, nos requisitos técnicos. Isto se dá pelo alto investimento necessário, falta de pessoal capacitado e um estudo que deixe claro os cuidados metrológicos que se deve ter na construção de uma bancada de calibração de turbina e medidores rotativos.

1.2 Normas e Portaria

Considera-se que os medidores tipo rotativo e tipo turbina utilizados nas medições de gases devem atender a especificações mínimas, de forma a garantir a sua confiabilidade metrológica. Deste modo, existem Normas e Regulamentos Técnicos Metrológicos que estabelecem as condições mínimas às quais devem satisfazer estes tipos de medidores utilizados nas medições de gases. Entretanto, para qualificar estes medidores será necessário um bancada de teste com rastreabilidade e capaz de atender às premissas destes documentos.

1.2.1 Norma NBR ISO 9951

A Norma [2], foi preparada pelo Comitê Brasileiro de Máquinas e Equipamentos na Comissão de Estudos de Medidores de Vazão e disponibilizada oficialmente a partir de 01.04.2002 e se tornou equivalente à ISO 9951:1993.

Esta norma especifica dimensões, faixas de operação, construção, desempenho, calibração e características de saída de medidores tipo turbina para medição de vazão de gás. Também trata das condições de instalação, ensaio de vazamento e ensaio de pressão, incluindo recomendações para uso, verificações de campo e perturbações de escoamento.

A Norma define que deve ser feita uma calibração individual para cada medidor e o resultado da calibração deve estar disponível quando solicitado, juntamente com um relato das condições sob as quais a calibração foi realizada.

1.2.2 Norma NBR 14801

A Norma [3], foi preparada pelo Comitê Brasileiro de Máquinas e Equipamentos na Comissão de Estudos de Medidores de Vazão e disponibilizada oficialmente a partir de 01.04.2002.

Esta Norma complementa a [2] quanto à classificação, ensaios complementares para aprovação e ensaios de recebimento para medidores tipo turbina para medição de vazão de gás.

1.2.3 Portaria INMETRO N° 114 de 16 de outubro de 1997

A Portaria [4] descreve: “Considerando que os medidores tipo rotativos e tipo turbina utilizados nas medições de gases devem atender às especificações mínimas, de forma a garantir a sua confiabilidade metrológica.”

“Art. 1º Fica aprovado o Regulamento Técnico Metrológico, anexo à presente Portaria, estabelecendo as condições a que devem satisfazer os medidores tipo rotativo e tipo turbina utilizados nas medições de gases.”

“Art. 2º A fabricação de medidores, dos tipos referidos no artigo 1º, desta Portaria, deverá, a partir de 01 de julho de 1999, atender integralmente às prescrições deste Regulamento Técnico Metrológico.”

“§1º Os medidores nas características em que são atualmente produzidos, serão submetidos a ensaios de verificação inicial a partir de 01 de julho de 1998.”

“§2º Os medidores já instalados e em utilização pelas empresas e serviços de abastecimento de gás, continuarão a ser utilizados, enquanto os erros máximos que apresentarem estiverem dentro do estabelecido no Regulamento Técnico Metrológico, ora aprovado.”

1.3 Laboratórios de Vazão

1.3.1 CTGÁS

Os dados apresentados neste tópico, foram consultados e retirados do site: www.ctgas.com.br, no mês 04/2007.

O laboratório localizado no Rio Grande do Norte pretende atender, dentre suas atividades, ao mercado nos seguintes serviços:

- Calibração de medidores de vazão de gás, tais como turbinas, rotores, diafragmas, rotâmetro;
- Certificação de equipamentos de medição de vazão;
- Consultoria e análise de questionamentos em transferência de custódia.



Figura 1: Foto do laboratório de medição de vazão de gás do CTGÁS

Bancada de Alta Vazão

Para a prestação dos serviços listados acima, o laboratório conta com duas bancadas de calibração. A primeira bancada, voltada para alta vazão, foi dimensionada para a calibração de medidores que estejam na faixa de 0,2 à 4000 m³/h, podendo trabalhar com medidores de 1 ½” à 12”. Esta bancada considera como fluido de trabalho o ar, escoando a pressão atmosférica. Para a calibração, os medidores são montados na bancada, onde um sistema automatizado combina o

controle supervisorio e aquisição de dados em tempo real reduzindo a possibilidade de erros durante o ensaio.

Como padrões de trabalho, o laboratório conta com três medidores tipo turbina e um medidor tipo rotativo. Os medidores foram calibrados de maneira a se tornarem padrões.



Figura 2: Foto da Bancada de Alta



Figura 3: Padrões da Bancada de Alta

Padrões da bancada de Alta Vazão

A faixa de medição a ser considerada durante o ensaio depende do medidor a ser calibrado, sendo alcançada pela combinação ou não de medidores na bancada. O gráfico apresentado a seguir mostra as faixas de medição de vários padrões existentes na bancada de alta vazão.



Figura 4: Faixa de medição dos padrões usados na bancada de alta vazão

Bancada de Baixa Vazão

A segunda bancada, chamada de baixa vazão, permite que sejam calibrados medidores que trabalhem na faixa de 0,006 à 6,0 m³/h, usando como fluido de trabalho ar comprimido, sob condições de pressão inferiores a 500 mmH₂O. Esta bancada também apresenta aquisição de dados e acompanhamento instantâneo das condições de teste.



Figura 5: Bancada de baixa vazão.

Padrões da bancada de Baixa Vazão

Como padrões esta bancada utiliza medidores do tipo deslocamento positivo, conhecidos como Wet Test Meters. Para a obtenção de vazões durante os ensaios, pode ser necessário utilizar-se os dois medidores (Padrão 1 e Padrão 2), fato que depende da faixa de operação do medidor a calibrar. Na Fig.6, mostram-se as faixas disponíveis para cada padrão desta bancada.



Figura 6: Faixa de medição dos padrões usados na bancada de baixa vazão.

1.3.2 IPT

Os dados apresentados neste tópico, foram consultados e retirados do site: www.ipt.br, no mês 04/2007.

O Laboratório de Gás está acreditado junto ao Inmetro, pertencendo à Rede Brasileira de Calibração e, junto ao DKD - *Deutscher Kalibrierdienst* (Serviço de Calibração da Alemanha) pertencente à rede europeia de calibração.

O Laboratório possui as seguintes bancadas:

- sistema de calibração de baixa vazão por buretas (0,006 a 0,048 m³/h)
- sistema de calibração por pistões com selo de mercúrio (1 cm³/min a 50 dm³/min)
- sistemas de calibração por medidores do tipo rotor submerso (0,06 a 24 m³/h)
- gasômetros (500 e 4.000 litros de capacidade) e faixa de vazão (0,1 a 400 m³/h)
- bancada para calibração de alta vazão (6 a 3.000 m³/h)



Figura 7: Bancada de Alta Vazão

A realização da calibração de alta vazão se dá por comparação do volume medido pelos padrões tipo turbinas e a leitura do medidor em teste. Em função dessa comparação é definido o Fator k do medidor em teste. Todo o processo de calibração busca ser realizado em uma condição de base, 1 atmosfera e temperatura média de 20 °C e, como fluido de calibração, o ar.

1.3.3 Transcontrol

Os dados apresentados neste tópico, foram consultados no mês 04/2007.

O Laboratório de Gás localizado no Rio de Janeiro pretende atender ao mercado nos serviços de calibração e ensaios de medidores tipo turbina e rotativo.



Figura 8: Bancada de Calibração de Turbinas

Para atender à demanda de serviços informados acima, foi preparada uma bancada de calibração de medidores que estejam na faixa de 15 à 3000 m³/h, podendo trabalhar com medidores de 2” a 12”. O processo de calibração considera como fluido de trabalho o ar, escoando a pressão atmosférica em um ambiente controlado. Para a execução da calibração, os medidores são montados na bancada, onde um sistema de aquisição de sinais combina o controle supervísório e aquisição de dados de volume, pressão e temperatura em tempo real, reduzindo possíveis erros humanos na calibração.

Como padrões de trabalho, chamados de master, o laboratório conta com três medidores tipo turbina. Os medidores foram calibrados de maneira a se tornarem padrões rastreáveis à Rede Brasileira de Calibração.



Figura 9: Padrões de trabalho da Bancada de Calibração de Turbinas

1.3.4 Método de Calibração da Instalação de Teste Principal no NMI

Todos os dados apresentados neste item foram retirados do Bulletin OIML n° 98 [5]. Este documento apresenta como é realizado o processo de calibração dos elementos primários do NMI – *Nederlands Meetinstituut*.

O provador de campânula invertida (Bell Prover) é calibrado com um medidor de teste para gás selado por líquido (liquid sealed test gas meter). O erro do medidor de teste para gás selado por líquido é determinado com o padrão volumétrico primário do Service of Legal Metrology, da Holanda (instalação de deslocamento de volume). A incerteza absoluta no erro sistemático do provador de campânula invertida não excede 0,10%. Os dois medidores de gás tipo turbina e vazão máxima de 400 m³/h (S0 e S1) são conectados ao provador de campânula invertida para serem calibrados.

Tabela 1: Medidores de referencia utilizados no NMI

Medidor de Referência // = em paralelo	Calibração do Medidor de Referência Número	Calibração até (m ³ /h)
provador de campânula invertida	S0 e S1	400 (Q _{máx})
S0 // S1	S2 e S3	800
S2 // S3	S4	1200
S4	S2 e S3	1200 (Q _{máx})
S2 // S3	S4	2400
S2 // S3 // S4	S5	4000
S5	S4	4000 (Q _{máx})
S4 // S5	S6	6500
S6	S5	6500 (Q _{máx})
S4 // S5	S6	10000 (Q _{máx})

Com os medidores S0 e S1 em paralelo, os medidores de referência S2 e S3 são calibrados até 800 m³/h. Com S2 e S3 em paralelo é determinado o erro da turbina

de referência S4 até 1600 m³/h. Subseqüentemente, o medidor de referência S4 é usado para calibrar S2 e S3 até 1200 m³/h. Esse método é aplicado até o erro da turbina de referência S6 ser conhecido até 10000 m³/h conforme Tabela 1. A incerteza absoluta de calibração dessa instalação não excede 0,20%.

Método de Cálculo do Erro

Quando um medidor de gás é testado em comparação com uma referência, os seguintes parâmetros devem ser medidos, tanto para o medidor em teste (mensurando - índice m) quanto para o medidor de referência (padrão - índice s).

P_s, P_m	= pressão absoluta de referência (Pa)
T_s, T_m	= temperatura absoluta de referência (K)
V_{as}, V_{am}	= volume indicado no mesmo instante (m ³)
$\tau_s = \tau_m$	= tempo para V_{as} ou V_{am} (s)

O erro do medidor de referência usado (E_s %) é uma função da vazão indicada (Q_{as} m³/h).

O erro de um medidor de gás é por definição:

$$E = \frac{(V_a - V_d)}{V_d} \times 100\% \quad (1)$$

onde V_d é o volume em m³ que realmente passa pelo medidor e V_a é o volume indicado. De acordo com a Eq. (1) o volume que escoa pelo medidor de referência (V_{ds} m³) é:

$$V_{ds} = \frac{V_{as}}{\left(1 + \frac{E}{100}\right)} \quad (2)$$

As vazões reais do medidor em teste e do medidor de referência são respectivamente:

$$Q_{dm} = \frac{V_{dm}}{\tau_m} \quad (3)$$

e

$$Q_{ds} = \frac{V_{ds}}{\tau_s} \quad (4)$$

Para um medidor de gás calibrado com um padrão volumétrico asseguramos que V_{dm} e V_{ds} são medidos durante um período igual ($\tau_s = \tau_m$):

$$\frac{P_m \times V_{dm}}{Z_m \times T_m} = \frac{P_s \times V_{ds}}{Z_s \times T_s} \quad (5)$$

Nesta equação Z_s e Z_m representam o fator de compressibilidade do ar sob pressão P e temperatura T . Como Z_s e Z_m são virtualmente iguais (pequena diferença de pressão) assumimos que eles valem 1 (efeito = 0,02% para uma variação de 1 bar, conforme dados fornecidos em [5]). Usando as Eq.(4) e Eq.(5), podemos reescrever a Eq.(3) da seguinte forma:

$$Q_{dm} = \left(\frac{P_s}{P_m} \right) \times \left(\frac{T_m}{T_s} \right) \times Q_{ds} \quad (6)$$

Quando mais de um medidor de referência são usados em paralelo:

$$Q_{dm} = \left(\frac{T_m}{P_m} \right) \times \left[\frac{(P_{st} \times Q_{dst})}{T_{st}} + \dots + \frac{(P_{sn} \times Q_{dsn})}{T_{sn}} \right] \quad (7)$$

O erro do medidor em teste pode ser calculado a partir da vazão:

$$E_m = \left[\frac{(Q_{am} - Q_{dm})}{Q_{dm}} \right] \times 100\% \quad (8)$$

Substituindo a Eq.(6) na Eq.(8) o erro pode ser calculado:

$$E_m = \left[\frac{Q_{am}}{Q_{ds}} \times \frac{P_m}{P_s} \times \frac{T_s}{T_m} - 1 \right] \times 100\% \quad (9)$$

Ou com a Eq.(2) até a Eq.(4):

$$E_m = \left[\frac{V_{am}}{V_{as}} \times \frac{\tau_s}{\tau_m} \times \frac{P_m}{P_s} \times \frac{T_s}{T_m} \times \left(1 + \frac{E_s}{100} \right) - 1 \right] \times 100\% \quad (10)$$

Os parâmetros mostrados na Eq. (10) podem ser determinados de uma só vez ou são conhecidos. Para testes onde os contadores de volume do medidor em teste e do medidor de referência são lidos quando os medidores foram parados no início e no fim do teste, temos:

$$V_{as} = V_{am} \quad (11)$$

Para testes onde o tempo é medido para um volume V_a m³ tanto para o medidor em teste quanto para o de referência, temos:

$$\tau_s = \tau_m \quad (12)$$

A curva do erro do medidor de referência deve se adequar em uma equação. Uma equação satisfatória é apresentada no Bulletin OIML n° 98 [5], e é mostrada abaixo:

$$E = C_0 + C_1 \times Q_a^m + C_2 \times Q_a^n + C_3 \times Q_a^i (\%) \quad (13)$$

onde:

Q_a = vazão indicada (m³/s ou m³/h)

$C_0...C_3$ = coeficientes

m, n, i = expoentes

Os expoentes normalmente são:

$$m = -0,2; n = 0,33; i = -2$$

$$m = -1; n = 1; i = 2$$

$$m = 1; n = 2; i = 3$$

Usando as fórmulas acima, o erro de um medidor de gás pode ser calculado facilmente. Os cálculos podem ser feitos mais rapidamente se usado um método programável de cálculo.

1.4 Objetivos

Apesar de já existir alguns laboratórios acreditados com procedimentos de calibração aceitos pelo organismo que concede acreditação no país – Inmetro – seus procedimentos não são abertos para que todos possam analisar a metodologia aplicada ao processo de calibração e ao processo que os levaram à construção da bancada.

Diante destas considerações, este trabalho tem como objetivo apresentar um processo utilizado para a construção de uma bancada de teste para medidores tipo turbina e rotativo, desde o estabelecimento das premissas básicas de projeto até os resultados obtidos nos testes para determinação das incertezas de medição das variáveis envolvidas, de forma a atender as especificações.

Este trabalho está constituído das seguintes etapas:

- Analisar o que há em termos de normas e portaria sobre instalação e calibração de medidores tipo turbina;
- Elaboração de procedimentos para testes dos instrumentos que informam os valores das grandezas envolvidas;
- Estabelecimento das premissas básicas de projeto da bancada de teste;
- Detalhamento de projeto e construção da bancada de teste;
- Definição das estratégias e implantação do sistema de aquisição de dados, controle e comando da bancada;

- Elaboração dos procedimentos de calibração e determinação das incertezas dos componentes constituintes da bancada;
- Elaboração do procedimento de calibração e determinação das incertezas da bancada de teste;

As calibrações efetuadas em todas as etapas deste trabalho foram realizadas utilizando-se instrumentos de medição rastreáveis aos padrões nacionais através da Rede Brasileira de Calibração.

1.5 Estruturação da Dissertação

No capítulo 2 está sendo apresentado um resumo dos princípios teóricos, para subsidiar as análises, as conclusões e as recomendações propostas neste trabalho.

No capítulo 3 são descritos todos os equipamentos utilizados na bancada de calibração de medidores tipo turbina, assim como o procedimento experimental para atender as especificações mínimas, de forma a garantir a sua confiabilidade metrológica. Utilizando estes equipamentos e seguindo o procedimento proposto definiu-se um volume mínimo para uma calibração, a determinação do k-factor e uma metodologia para o cálculo da incerteza.

No capítulo 4 todos os dados apurados para qualificação metrológica da bancada estão apresentados. Estes dados levam a valores de grande importância em um processo de calibração.

O capítulo 5 propõe um procedimento a ser utilizado no processo de calibração que irá garantir uma confiabilidade metrológica na bancada de calibração do laboratório da Transcontrol.