

4.

Situação Atual

4.1

Aspectos Metrológicos

Até aqui já foi feita abordagem sobre aprovação de modelo e verificações como forma de garantir que dispositivos e sistemas de medição operam ou continuam operando dentro dos limites de *ema's* especificados na legislação vigente (neste caso Portaria Inmetro nº 58 de 1997), garantindo, assim, relações comerciais mais justas, asseguradas por uma terceira parte, imparcial, representada pelo Inmetro.

Todavia, na prática, a aprovação de modelo e as verificações se concretizam através de ensaios, onde são investigadas algumas características metrológicas, relevantes para conclusão do desempenho do dispositivo ou do sistema de medição.

Alguns parâmetros merecem destaque no contexto da medição de líquidos criogênicos. De acordo com o VIM, exatidão de um instrumento de medição é a aptidão deste instrumento para dar respostas próximas a um valor verdadeiro. Tal conceito, embora qualitativo, é amplamente utilizado, quando se caracteriza o erro, ou seja, a diferença entre a indicação dos valores apresentados por um padrão e a indicação do dispositivo ou sistema em questão.

Uma prática comum em Metrologia Legal é utilizar apenas este dado de erro (neste caso, sistemático) nos ensaios de desempenho (quando da apreciação técnica de modelo) e nas verificações decorrentes. Contudo, esta é uma medida apenas de posição, ou seja, toma-se o valor indicado pelo padrão de referência como valor verdadeiro convencional e, ao se calcular o erro, estima-se quão distante (por isso posição) se encontra o dispositivo ou sistema submetido à avaliação.

Falta a informação sobre a variação, decorrente de contribuições aleatórias, que poderia ser estimada em termos de dispersão dos resultados, quantificada pelo desvio padrão, amplitude, repetitividade, incerteza de medição, etc.

Assim sendo, quando da abordagem dos dispositivos e sistemas pertinentes, encontrados nas visitas realizadas, algumas características metrológicas serão comentadas como forma de definir e propor um modelo para o controle metrológico, assunto este, amplamente abordado no item 4.4 Proposições e na Conclusão.

4.2 Tanques de Armazenamento

No âmbito brasileiro, foram encontrados dois grandes fabricantes de tanques, que, na realidade, são vasos de pressão, projetados e construídos com dois objetivos fundamentais: segurança e manutenção do estado líquido.

4.2.1 Aspectos Construtivos

Os tanques utilizados para armazenamento, no transporte ou estocagem, são constituídos por um vaso interno, cujo material normalmente é aço inoxidável, alumínio ou aço carbono, de modo a suportar temperaturas de até – 269 °C. O vaso externo, também chamado de casco, é fabricado em aço carbono ou alumínio, devendo receber um tratamento contra corrosão, visto que, usualmente, estes tanques são expostos às condições ambientais. Devido a isto, é comum receberem uma cobertura a base de poliuretano. Em algumas carretas, a calota traseira (tampo) pode ser em aço inoxidável, quando todo o restante for em alumínio, para evitar possíveis formações de trincas.

O volume interno é atualmente definido de acordo com as especificações de projeto e pelo próprio fabricante

Não foram identificadas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT contendo especificações construtivas, sendo normalmente atendido o Código Asme (*American Society of Mechanical Engineering*), que traz diretrizes sobre a fabricação de tais tanques.

Para minimizar trocas térmicas capazes de comprometer o estado líquido, estes tanques são termicamente isolados com uma camada de fibra de vidro, ou

várias de mylar aluminizado (tipo específico de filme de poliéster) , ou ainda poliuretano e vácuo, para impedir transferência de calor por condução e convecção.

Os tanques utilizados para estocagem e consumo, são adaptados a um manômetro diferencial analógico, o qual permite ao usuário monitorar o nível de líquido disponível. Nos tanques de caminhões é comum observar a presença de chicanas (quebra ondas).

4.2.2 Segurança

As questões relacionadas à segurança não constituem objeto de estudo da presente dissertação. Todavia, deve-se ressaltar a importância deste tema, sobretudo nas operações de transporte e medição.

Atualmente, vem sendo desenvolvido no âmbito do Inmetro um Regulamento Técnico com vistas a abordar tais questões no tocante a construção e inspeção periódica de equipamentos para o transporte rodoviário de tais produtos.

4.3 Técnicas Encontradas nas Visitas

Para desenvolvimento deste trabalho, foram visitadas bases de distribuição e fabricação, bem como fabricantes de tanques e dispositivos afins e alguns segmentos consumidores. Tais visitas objetivaram identificar as formas de comercialização atualmente praticadas, as quais são apresentadas a seguir. Os itens subseqüentes relatam as metodologias de medição encontradas no mercado brasileiro de líquidos criogênicos, durante o desenrolar desta pesquisa.

Os aspectos referentes à regulamentação e adequação ou não de tais práticas são abordados no item 4.4 Proposições.

4.3.1

Sistema Gravimétrico

Esta técnica, baseada em sistema de pesagem é amplamente observada em comercializações de maior escala, onde a carga líquida é necessariamente acondicionada e transportada em tanques de veículos automotores, especificamente, caminhões-tanque. Há casos ainda em que o comprador alega incredulidade no sistema de medição do distribuidor/vendedor (diferencial de pressão ou medidor volumétrico) e utiliza deste artifício por julgá-lo metrologicamente mais confiável.

Consiste, basicamente, na pesagem do caminhão antes e após o fornecimento da carga, utilizando, para este fim, balança rodoviária instalada no ponto de entrega. A massa (expressa em kg) de líquido criogênico adquirida pelo cliente é obtida pela diferença entre o valor do caminhão antes e após a transferência do líquido criogênico.

Como a unidade usual de comercialização é “m³”, para obtenção do volume (V) basta conhecer a massa específica (ρ), uma vez que esta última é dada pela relação abaixo:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

onde m corresponde a massa de líquido criogênico em kg e
 V volume ocupado pelo líquido criogênico em m³

Logo, V será dado por:

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (2)$$

O valor de ρ deve ser fornecido conforme as condições de pressão e temperatura para determinado líquido no momento do fornecimento. Como tal parâmetro (ρ) não é determinado no momento da comercialização, utiliza-se dado disponibilizado por tabela, fornecida pelo fabricante.

Na regulamentação metrológica vigente, foi identificada a Portaria Inmetro nº 236 de 22 de dezembro de 1994, a qual aplica-se a todos os instrumentos de pesagem não automáticos, conforme diferentes finalidades de utilização,

destacando-se a determinação da massa para transações comerciais (subitem 1.2.1, alínea “a”). Desta maneira, as balanças empregadas na comercialização de líquidos criogênicos devem atender aos parâmetros do referido documento.

4.3.2

Sistema por Diferencial de Pressão

Esta é a forma de medição mais freqüentemente encontrada. Corresponde a medição de níveis inicial e final de abastecimento do líquido criogênico, através de um manômetro acoplado ao sistema, podendo seu dispositivo indicador ser analógico ou digital.

O tipo de manômetro mais usual corresponde a um modelo analógico, em unidades de polegada de água, com escala 0 a 100 polegadas de água.

Este tipo de medidor pode ser utilizado para medição de vazão ou indicação de nível em um tanque de armazenamento. No primeiro modo, deve ser conectado às tomadas de baixa e alta pressão de placas de orifício, Venturi, ou quaisquer outros elementos deprimogênicos. Todavia, para o emprego na comercialização de líquidos criogênicos, são utilizados apenas como indicadores de diferencial de nível.

A seguir é apresentado um esquema exemplificando a montagem deste tipo de sistema, onde:

P_1	pressão da fase gasosa, medida no topo do tanque
P_2	pressão da fase líquida + fase gasosa, medida no fundo do tanque
h	altura da coluna de líquido
d	diâmetro interno do tanque
P	pressão diferencial

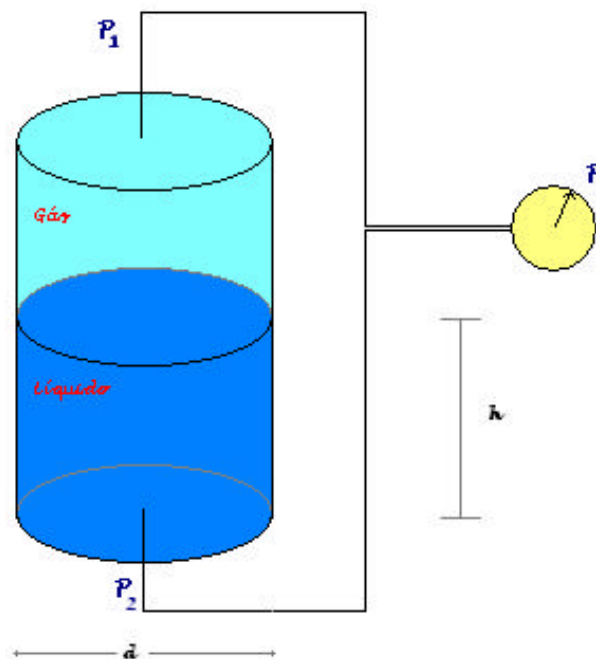


Figura 2 – Esquema de medição por diferencial de pressão

Conforme se pode observar há duas tomadas de pressão: uma no fundo do tanque e outra no topo.

O princípio físico desta medição está fundamentado da hidrostática.

Considerando a Figura 2:

$$P = P_2 - P_1 \quad (3)$$

e,

$$P_2 = P_1 + \rho g h \quad (4)$$

onde:

g aceleração da gravidade local.

ρ massa específica do líquido, nas condições de pressão e temperatura do tanque

Substituindo (4) em (3), tem-se:

$$P = P_1 + \rho g h - P_1, \text{ logo}$$

$$P = \rho g h \quad (5)$$

Através de (5), basta conhecer o valor de P para se obter a altura de líquido no interior do tanque, uma vez que ρ e g podem ser conhecidos. Com este dado de h , tendo o diâmetro interno, d , é possível determinar o volume efetivo de líquido criogênico contido no tanque, de acordo com a geometria deste.

Para comercialização, o volume é calculado a partir da correlação entre os níveis lidos e os volumes correspondentes (antes e após o fornecimento), através de uma tabela de conversão, elaborada pelos fabricantes de acordo com os fundamentos já apresentados e conforme características do tanque. A subtração dos dois valores corresponde ao total de volume abastecido.

Merece destaque o fato de que os próprios fabricantes dos tanques criogênicos é que elaboram as citadas tabelas, em função do líquido acondicionado e dimensões do tanque. Não há qualquer operação de medição tal qual, verificação ou arqueação de tais tanques ainda na fabricação.

4.3.3

Sistema Utilizando Medidor do Tipo Turbina

Outra forma de medição encontrada, mas menos comum (foi identificado apenas um grande fabricante e distribuidor que utiliza desta metodologia) corresponde a um medidor volumétrico tipo turbina. Este tipo de medidor é amplamente utilizado em outros segmentos, como nas medições de água (hidrômetros) e de óleo cru (indústria petrolífera).

De acordo com Fox & McDonald (1992) foi inicialmente desenvolvido para uso militar e depois utilizado em diâmetros menores (2") em medição de vazão de combustíveis e foguetes.

O princípio de funcionamento se baseia num rotor provido de palhetas (ou pás) que podem ser retas ou helicoidais, montado em mancais e com livre movimento de rotação, podendo a disposição das palhetas ser horizontal ou vertical, conforme esquematizado pela figura a seguir.

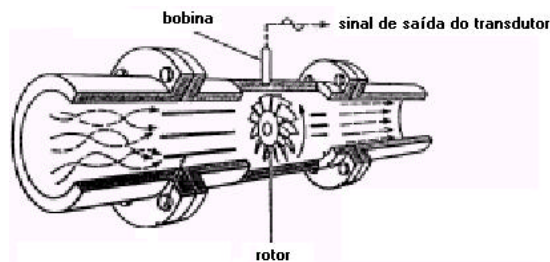


Figura 3 – Montagem esquemática de turbina em corte

O fluido que escoia através do medidor é responsável por girar o rotor. A velocidade angular do fluido, dentro da região linear do medidor, é proporcional à velocidade média axial do fluido.

Usualmente, a turbina é dotada de um transdutor composto, basicamente, de uma bobina detetora, a qual, conforme a passagem das palhetas gera um pulso de voltagem ou de corrente elétrica. Para isso, o material na extremidade de cada palheta deve ser tal que altere o campo magnético sentido pela bobina.

Além da aprovação de modelo destes medidores e das verificações legais, cabem aqui, calibrações, efetuadas para se ter idéia de falhas passíveis de ocorrer, como por exemplo decorrente do desgaste natural dos mancais.

Um outro fato que deve ser atentado é que o rotor é girado por qualquer fluido com energia suficiente para impulsioná-lo, ou seja, líquido ou gás. Dado que, sobre a superfície do líquido criogênico há a presença do gás saturado, este, ao passar pelo rotor ativará o dispositivo indicador tal qual o líquido. Desta maneira, o comprador poderá estar sendo lesado. Este fato justifica a preferência de alguns consumidores por medidores por diferencial de pressão.

4.4

Proposições

A análise a respeito das metodologias atualmente praticadas é importante para demonstrar, de acordo com a ótica metrológica, quais os pontos de instabilidade, cuja confiabilidade do método de medição é colocada em dúvida.

A exemplo de outros segmentos, um esforço deve ser feito no sentido da utilização das unidades do SI, conforme adotado pela Conferência Geral de Pesos

e Medidas, cuja adesão pelo Brasil foi formalizada através do Decreto Lei nº 57, de 27 de junho de 1953. Todavia, em função do aspecto cultural, pode-se optar por manter as unidades já disseminadas (a exemplo da unidade de pressão largamente empregada nesta área: polegadas de água), desde que seja apresentado, de modo visível e facilmente associável, o(s) fator(es) de conversão correlato(s).

No caso específico do sistema gravimétrico (4.3.1), apesar da simplicidade aparente desta metodologia, nem todos os consumidores possuem balança rodoviária para pesagem de cargas. Outro fator preocupante é no caso de pesagem dinâmica, onde se observa dispersão entre pesagens sucessivas da carga líquida, ocasionada, fundamentalmente, pela não estagnação do fluido durante a movimentação do caminhão. Abaixo são dadas diretrizes a serem seguidas para que se adote este tipo de sistema de medição com a confiabilidade requerida:

- Pelos fatores já expostos a pesagem dinâmica não deve ser utilizada até que se tenha um estudo sobre como minimizar os efeitos da movimentação da carga líquida. Assim sendo, a única modalidade de pesagem a ser admitida na comercialização de líquidos criogênicos é a estática, desde que todos os eixos do caminhão fiquem posicionados na plataforma de pesagem.

- Com o intuito de conhecer (ou até mesmo minimizar) erros e fontes de incerteza, é imprescindível que tais balanças possuam modelo aprovado pelo órgão metrológico competente, ficando, ainda, submetidas ao controle metrológico subsequente.

- Considerando que há vinte laboratórios credenciados na RBC para a área de massa, dos quais quatro estão aptos a suprir esta demanda, em função da amplitude da faixa de medição, deve ser requerida, a obrigatoriedade de uma programação de calibração entre as partes envolvidas na relação comercial.

- Neste tipo de sistema verificou-se a utilização de tabelas de massa específica de diferentes fontes de origem. Para efeito de padronização, o órgão metrológico competente deve se posicionar quanto à adoção de uma única tabela, a exemplo da Recomendação nº 81 da OIML, onde é apresentada, no seu anexo C, uma relação de valores de massa específica elaborada pelo Nist.

- Já que a massa específica é função da temperatura, especial atenção deve ser dada quanto aos dispositivos de medição desta última grandeza. Tais dispositivos devem ser selecionados de modo que a resolução dos mesmos seja

compatível com os valores apresentados na tabela de massa específica a ser adotada.

Na medição por diferencial de pressão (4.3.2), não foi identificada a presença do controle metrológico em nenhum dos dispositivos envolvidos. Ressalta-se o fato de que a “tabela de correlação” entre nível e volume de acordo com o produto é elaborada pelo próprio fabricante, seguindo apenas as especificações de projeto, a desprezo dos preceitos práticos da Metrologia, uma vez que tais tanques não são arqueados, calibrados ou verificados. A exemplo do modelo anterior, são apresentadas as proposições para este tipo de medição:

- Para o caso dos tanques deve-se estabelecer o controle metrológico baseado apenas na verificação inicial, ainda na fábrica, uma vez que tais tanques, devido à função a que se destinam, não possibilitam o acesso interno após a construção. Com isto, informações sobre o volume interno dos tanques, necessárias para a construção das tabelas utilizadas, passarão a ser responsabilidade do órgão metrológico executor.

- Ainda no tocante ao volume interno, pode-se optar por uma determinação por metodologia volumétrica, onde a quantidade de líquido contida é transferida ou acondicionada por uma medida materializada de volume. Como o objetivo desta tarefa é simplesmente a determinação do volume interno do tanque, o líquido de enchimento pode ser água.

- Mesmo após a determinação do volume interno dos tanques pelo órgão metrológico, as memórias de cálculo (planilhas ou quaisquer programas) utilizadas para o levantamento da correlação entre nível e volume também devem ser submetidas à análise do órgão metrológico competente.

- Como alguns tanques de armazenamento são importados, os relatórios ou certificados relativos a determinação da capacidade volumétrica podem ser emitidos por laboratório do país de origem, desde que este observe as prescrições da OIML, conforme adotado pela Portaria Inmetro nº. 210 de 1994.

- Além da aprovação de modelo, o manômetro a ser utilizado, requer calibração periódica, executada pela estrutura oferecida pela RBC ou laboratório internacional credenciado em organismo congênere ao Inmetro e que possua acordo de reconhecimento mútuo com este órgão.

▪ Outro item que merece de destaque é na operação de transferência, onde se notou apenas um ponto para aquisição do dado de pressão de topo (fase gasosa), acontecendo o mesmo para a pressão no fundo do tanque (líquido + gás), já detalhado pela Figura 2. Desta maneira, obtém-se somente um valor de pressão diferencial. Este fato introduz erros no processo de medição, conforme o nivelamento do tanque, o qual é variável de acordo com o terreno, caminhão (no caso de carretas) ou características construtivas do próprio tanque, de acordo com a ilustração da Figura 4. Para minimizar este efeito deve-se ter mais de um ponto de medição e trabalhar com a média dos valores, ou ainda, no caso de manter um único ponto, localizá-lo na posição mediana em relação ao eixo das ordenadas. Observe na figura a alteração no nível superficial do líquido. As setas (em azul) indicam o ponto de medição.

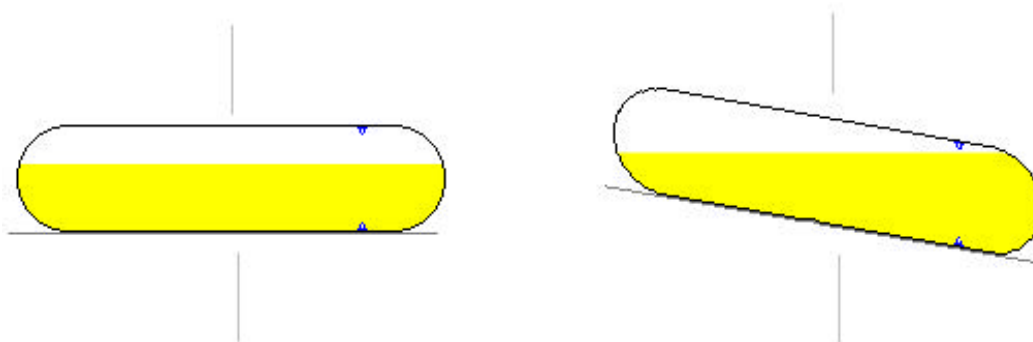


Figura 4 – Efeitos do nivelamento na medição em tanques

Quanto ao sistema utilizando medidor do tipo turbina (4.3.3), o aspecto essencial a ser considerado é o fato de que a passagem de gás também aciona os dispositivos indicadores como se fosse o líquido. Desta maneira:

- Este tipo de medidor não deve ser utilizado para fins comerciais, na forma como vem sendo aplicado, ou seja, não havendo a diferenciação entre o fluxo de gás ou líquido.
- Apenas poderá ser admitido o uso de turbina, se, ao sistema de medição, estiver acoplado algum tipo de dispositivo que identifique o estado físico da matéria por meio de alguma propriedade (temperatura, resistência, etc), sendo este

evento comunicado aos dispositivos indicadores e/ou totalizadores, impedindo, assim que o consumidor seja prejudicado.

- Na regulamentação vigente, encontra-se a Portaria Inmetro nº 114 de 16 de outubro de 1997, que trata sobre medidores tipo rotativo e tipo turbina utilizados nas medições de gás. Embora não específica para este fim (medição de líquidos criogênicos) a citada regulamentação deve ser observada, fundamentalmente no que diz respeito à aprovação de modelo e aos ensaios de desempenho e desgaste pertinentes.

- Dentre as normas internacionais, foi identificado o documento ISO 2715 o qual se aplica a medições volumétricas através de medidor tipo turbina, aplicável à quantificação de hidrocarbonetos líquidos, mas que, no entanto, apresenta algumas particularidades que podem ser direcionadas para o caso dos líquidos criogênicos. Além de questões tais quais características construtivas, instalação, inclusive elétrica, e dispositivos auxiliares, o ponto essencial a ser extraído corresponde às considerações sobre o desempenho do medidor. A presente norma estabelece a calibração das turbinas utilizando um sistema com provador. Todavia, nesta avaliação também pode ser utilizado um medidor padrão (master). A calibração objetiva a determinação do “fator” da turbina, que corresponde à razão entre o volume deslocado no provador ou indicado pelo medidor padrão e o volume indicado na turbina, alvo da calibração. Em operação normal, tal “fator” deve ser multiplicado pelo resultado indicado na turbina, para efeito de correção, podendo esta ser estabelecida ainda por meio de ajuste, quando tal operação for viável.

- Os principais aspectos responsáveis pela variação do “fator” da turbina são: vazão de operação, temperatura, pressão e desgaste mecânico do medidor, em função da utilização (tempo e condições de uso). Sendo assim, fica justificada a necessidade de avaliação deste tipo de medidor nas condições operacionais e, sobretudo, com o líquido a ser comercialmente medido.

- Todos os materiais construtivos em contato com o líquido criogênico a ser medido não devem ser afetados pelos efeitos das baixas temperaturas a que serão submetidos. Atenção especial deve ser dada na escolha de tais materiais, no que diz respeito aos coeficientes de dilatação térmica dos mesmos.

- Dentre os dois laboratórios credenciados atualmente na RBC (última consulta em 04 de junho de 2003) na área vazão, apenas um está habilitado para

calibração de medidores de vazão de líquidos. No entanto, conforme já mencionado, para avaliar o desempenho metrológico das turbinas nesta aplicação em particular, deve-se proceder a avaliação nas condições de comercialização, ou seja, a baixas temperaturas, ainda que utilize apenas nitrogênio líquido nos ensaios, dado que este é economicamente mais viável.

- É fato, conforme mencionado, a carência de laboratórios credenciados na RBC na área vazão. Da mesma maneira, o Inmetro ainda está em fase de estruturação para atender a este segmento. Todavia, não se pode desviar as exigências estabelecidas quanto à aprovação de modelo e calibrações periódicas. Desta forma, cabe ao interessado designado e solicitar a ATM (fabricante, representante, etc) disponibilizar todos os recursos necessários para a condução do processo, que, nesta situação singular, pode ser até mesmo a utilização de laboratórios estrangeiros, ou, de acordo com a viabilidade, estruturação de laboratório em nível nacional. Neste último caso fica a sugestão de se investigar a possibilidade de convênios entre o órgão metrológico, entidades de classe, fabricantes, etc.

O aspecto essencial a ser proposto corresponde à necessidade de uma Regulamentação capaz de abordar todos os tópicos apresentados. A Portaria Inmetro nº 58 de 1997, conforme já apresentada no Capítulo 2 não apresenta, com clareza tais particularidades. É indispensável a elaboração de um texto mais amplo, atendendo às diretrizes internacionais atuais (OIML, ISO, entre outras) e considerando a realidade do mercado nacional.