

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO**



Iris da Silva Trindade

**Proposição de Controle Metrológico
na Medição de Líquidos Criogênicos**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Metrologia do Centro Técnico Científico da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Antonio Carlos Oliveira Bruno

Rio de Janeiro
Julho de 2003



Iris da Silva Trindade

**Proposição de Controle Metrológico na Medição de Líquidos
Criogênicos**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Metrologia do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Antonio Carlos Oliveira Bruno

Orientador

Departamento de Física

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-Rio

Prof. Roberto Peixoto Nogueira

Departamento de Engenharia Industrial

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-Rio

Eng^a Vanderléa de Souza

Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial -

INMETRO

Prof. Ney Augusto Dumont

Coordenador Setorial do

Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 14 de julho de 2003

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

Iris da Silva Trindade

Graduou-se em Engenharia Química na UFRRJ (Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro) em 1999. Atuou na área de Qualidade e Credenciamento de laboratórios de calibração. Desenvolveu diversas pesquisas no âmbito da grandeza volume. Atualmente atua na Divisão de Instrumentos de Massa Específica, Temperatura e Outros – Dimet, da Diretoria de Metrologia Legal - Dimel do Inmetro.

Ficha Catalográfica

Trindade, Iris da Silva

Proposição de controle metrológico na medição de líquidos criogênicos / Iris da Silva Trindade ; orientador: Antonio Carlos Oliveira Bruno. – Rio de Janeiro : PUC, Centro Técnico Científico, 2003.

118 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Centro Técnico Científico.

Inclui referências bibliográficas.

1. Metrologia – Teses. 2. Líquidos criogênicos. 3. Controle metrológico. 4. Sistemas de medição. 5. Comercialização. 6. Metrologia legal. I. Bruno, Antonio Carlos. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Centro Técnico Científico. III. Título.

Para minha família e Ramos,
pelo apoio e estímulo

Agradecimentos

Ao meu orientador, Professor Antonio Carlos Bruno, pelo apoio e parceria fundamentais na elaboração deste trabalho.

Aos membros da comissão examinadora.

A todos os docentes do Pós-MQI e funcionários do Ituc, especialmente a Eliane Albernaz, pela sua incansável colaboração.

Ao Presidente do Inmetro, Armando Mariante de Carvalho, ao Diretor de Metrologia Legal, Roberto Luiz de Lima Guimarães e a César Luís Leal Moreira da Silva, pelos auxílios concedidos, sem os quais o curso de Mestrado não teria sido concluído.

Aos companheiros da Divol – Divisão de Instrumentos de Medição de Volume / Inmetro, notavelmente ao incentivo, parceria e exemplo de competência de Maurício Evangelista.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram com informações e palavras de apoio.

Resumo

Trindade, Iris da Silva; Bruno, Antonio Carlos. **Proposição de controle metrológico na medição de líquidos criogênicos**. Rio de Janeiro, 2003. 117p. Dissertação de Mestrado – Instituto de Tecnologia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Líquidos criogênicos são amplamente empregados em diversos segmentos da atuação humana, destacando-se a Medicina, Engenharia Genética, setor industrial e no desenvolvimento científico. Sendo assim, efetuar o controle metrológico sobre os dispositivos e sistemas utilizados na comercialização de tais materiais é fundamental. Nesta dissertação propomos a implementação do controle metrológico neste segmento como forma de estabelecer confiabilidade e garantir trocas cada vez mais justas, sem prejuízos as partes envolvidas. Para tal, a estrutura legal é amparada pela regulamentação vigente no âmbito brasileiro, a qual é abordada e confrontada com as diretrizes internacionais. Os diferentes sistemas de medição atualmente adotados são abordados, com o intuito de julgar a adequação dos mesmos e estabelecer requisitos mínimos. Diante da inexistência de uma regulamentação ampla, capaz de agregar aspectos não só inerentes às boas práticas, mas que contemplem a realidade do mercado nacional, são estabelecidas proposições e diretrizes a serem seguidas na implementação e efetivação do controle metrológico.

Palavras-chave

Líquidos criogênicos; controle metrológico; sistemas de medição; comercialização; Metrologia Legal.

Abstract

Trindade, Iris da Silva; Bruno, Antonio Carlos (Advisor). **Proposition of metrological control for measurement of cryogenic liquids**. Rio de Janeiro, 2003. 117p. MSc. Dissertation – Instituto de Tecnologia, Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Cryogenic liquids are widely employed in several fields of human activity, such as in Medicine, Genetics Engineering, the industrial sector and for the scientific development. This way, applying the metrological controls in devices and systems used for the commercialization of cryogenic liquids is essential. In this dissertation we proposed the implementation of the metrological controls in this area, objectifying to establish the reliability and the guarantee of fair trade, without damages for the involved parts. Thus, the legal structure is supported by the valid regulamentation in the Brazilian case, that is mentioned and faced against international policies. The different measurement systems adopted nowadays are approached, for judging their adequacy and establishing minimum requests. Considering that there is not a broad regulamentaion, capable of aggregate aspects of the good practice and to heed the national reality, proposals and guidelines are presented for reaching the implementation of effective metrological controls.

Keywords

Cryogenic liquids; metrological controls; measurement systems; Legal Metrology.

Sumário

1. Introdução	14
2. Metrologia Legal	
2.1 Princípios	17
2.2 Metrologia Legal no Brasil	18
2.3 Parâmetros Relevantes do Controle Metrológico	19
2.4 Regulamentação	22
2.4.1 Portaria Inmetro nº 58 de 21 de maio de 1997	23
2.4.1.1 Diretrizes Atuais para Aprovação de Modelo	24
2.4.2 OIML R 81	29
2.4.3 OIML R 81 x Portaria Inmetro nº 58 de 1997	30
3. Líquidos Criogênicos	
3.1 História da Criogenia	32
3.2 Aspectos Gerais	33
3.3 Aplicabilidade	34
4. Situação Atual	
4.1 Aspectos Metrológicos	36
4.2 Tanques de Armazenamento	37
4.2.1 Aspectos Construtivos	37
4.2.2 Segurança	38
4.3 Técnicas encontradas nas visitas	38
4.3.1 Sistema Gravimétrico	39
4.3.2 Sistema por Diferencial de Pressão	40
4.3.3 Sistema Utilizando Medidor do Tipo Turbina	42
4.4 Proposições	43
5. Conclusão	49

Glossário	54
Referências Bibliográficas	57
Apêndice A - Tradução da OIML R 81	61
Apêndice B - Matriz de Correlação entre a Portaria Inmetro nº 58 de 1997 e OIML R 81	115

Lista de figuras

Figura 1 – Esquema da hierarquia da legislação brasileira	22
Figura 2 – Esquema de medição por diferencial de pressão	41
Figura 3 – Montagem esquemática de turbina em corte	43
Figura 4 – Efeitos do nivelamento na medição em tanques	46

Tabelas

Tabela 1 – Alguns requisitos metrológicos conforme Port. Inmetro nº 58 de 1997	26
Tabela 2 – Exemplos de líquidos criogênicos e seus respectivos pontos de ebulição	33
Tabela 3 – <i>ema</i> aplicável a dispositivos/sistemas de medição de líquidos criogênicos	52

Abreviaturas e siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AM	Aprovação de modelo
Asme	American Society of Mechanical Engineers
ATM	Apreciação Técnica de Modelo
Conmetro	Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
CT	Comissão Técnica de Regulamentação Metrológica
GT	Grupo de Trabalho
<i>ema</i>	erro máximo admissível
<i>ema's</i>	erros máximos admissíveis
Dimel	Diretoria de Metrologia Legal
Inmetro	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
Ilac	International Laboratory Accreditation Cooperation
INPM	Instituto Nacional de Pesos e Medidas
Ipem	Instituto de Pesos e Medidas
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
NIE	Norma Inmetro Específica
Nist	National Institute of Standards and Technology
OIML	Organização Internacional de Metrologia Legal
OIML R	Recomendação da OIML
$Q_{\text{máx.}}$	vazão máxima
$Q_{\text{mín}}$	vazão mínima
RBC	Rede Brasileira de Calibração
RBLE	Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaios
RBMLQ	Rede Brasileira de Metrologia Legal e Qualidade
RTM	Regulamento Técnico Metrológico

Sinmetro	Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
VIM	Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia

1. Introdução

A presente dissertação tem o intuito de prescrever a atividade do controle metrológico para sistemas e dispositivos de medição de líquidos criogênicos, conforme os princípios da Metrologia Legal, face às regulamentações existentes e recomendações internacionais. O estudo aponta novas proposições, na tentativa de adequação com a realidade nacional.

A iniciativa desta tarefa surgiu em atendimento à diversidade de utilizações destinadas aos líquidos criogênicos, nos vários segmentos da atuação humana tais quais tecnologia de modo geral, medicina, destacando-se o suporte aos avanços da engenharia genética, meio ambiente, processo produtivo, entre outros.

Entre os preceitos fundamentais da Metrologia, que é a ciência das medições, deve-se ressaltar que todos os sistemas e dispositivos de medição devem atender a requisitos mínimos, de forma a garantir sua *confiabilidade metrológica*.

Grande incentivo adveio da preocupação decorrente do não cumprimento da Portaria Inmetro nº 58 de 1997 que estabelece requisitos mínimos para dispositivos e sistemas de medição de líquidos criogênicos. Desta maneira, uma análise do citado documento é realizada, sendo o mesmo passível a discussão, no sentido de implementar o controle metrológico com eficácia, dado que, conforme a Resolução Conmetro nº 11 de 1988, nenhum dispositivo de medição ou sistema de medição poderá ser utilizado para comercialização sem a correspondente aprovação de modelo, bem como sem ter sido aprovado em verificação inicial.

Considerando que o Brasil é país membro da Organização Internacional de Metrologia Legal – OIML, atentou-se para as recomendações atuais da referida organização no que concerne ao foco de estudo, encontrando-se, neste contexto a referência bibliográfica OIML R 81 – *Dynamic measuring devices and systems for cryogenic liquids*, a qual servirá de principal base para análise crítica da Portaria mencionada acima e para proposta de adequação dos dispositivos e sistemas de medição de líquidos criogênicos. Devido à dificuldade de acesso ao citado documento, a etapa inicial da elaboração deste trabalho consistiu na tradução da recomendação em questão, apresentada no Apêndice A.

Para obtenção dos subsídios necessários à estruturação da dissertação, além de ampla pesquisa bibliográfica e análise de outros modelos de controle metrológico implementados em áreas distintas, realizaram-se visitas a diversos fabricantes de líquidos criogênicos e de sistemas e dispositivos de medição destes, bem como a algumas bases de distribuição e aos usuários finais de diversos segmentos.

Entretanto, não constitui objeto de análise desta dissertação as diferentes metodologias para obtenção e/ou processamento dos líquidos criogênicos, uma vez que a proposta corresponde apenas às atividades previstas no item 8 da Resolução Conmetro nº 11 de 1988, já mencionada.

O trabalho tem seu desenvolvimento e aplicação na Diretoria de Metrologia Legal – Dimel, no âmbito do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - Inmetro.

Neste contexto, salienta-se a importância da Metrologia como veículo capaz de estabelecer a confiabilidade nas relações comerciais, além de constituir ferramenta de garantia da incolumidade dos indivíduos e do ambiente. De acordo com esta ótica, o presente estudo pretende trazer uma contribuição, à medida que propõe a prática do controle metrológico ao caso específico dos dispositivos e sistemas de medição de líquidos criogênicos.

De acordo com a estrutura desta dissertação, no Capítulo 2 são citados os parâmetros relevantes da Metrologia Legal, aludindo-se aos aspectos do contexto brasileiro, à prática do controle metrológico e à composição da regulamentação nacional. Os documentos de referência pertinentes também são analisados; desta forma é feita abordagem da Portaria Inmetro nº. 58 de 1997, sendo apresentados os requisitos válidos atualmente no Brasil para aprovação de modelo, além de ser abordada, ainda, a recomendação internacional, OIML R 81. Para finalizar o capítulo, os documentos apresentados são então confrontados, para que seja possível perceber, comparativamente, o estado da arte da regulamentação nacional.

Na seqüência, o Capítulo 3 trata sobre alguns aspectos sobre os líquidos criogênicos, tais quais, características, a evolução da criogenia e a aplicabilidade, com o intuito de clarificar o contexto de atuação do presente trabalho.

O Capítulo 4 apresenta os diferentes sistemas e dispositivos encontrados para medição, sendo, nesta ocasião, levantados os aspectos metrológicos pertinentes,

bem como proposições a serem adotadas, com o objetivo de assegurar a confiabilidade metrológica.

Por fim, são apresentadas as conclusões alcançadas, que objetivam fornecer elementos suficientes a implementação do controle metrológico neste segmento.

2. Metrologia Legal

2.1 Princípios

Em linhas gerais, a Metrologia Legal pode ser entendida como o conjunto de procedimentos legislativos, administrativos e técnicos adotados por autoridades públicas no sentido de estabelecer e garantir a qualidade apropriada e a credibilidade das medições relacionadas aos controles oficiais (interesses de Estado), comércio, saúde, segurança e meio ambiente (www.oiml.org). É devido à natureza destas atribuições, que as mesmas são incumbidas ao Estado, podendo este ser o próprio executor ou optar por um modelo descentralizado, delegando sua atuação a entidades privadas ou organismos públicos em outras instâncias.

Na prática, as ações governamentais no campo da Metrologia Legal objetivam, por um lado, a disseminação e manutenção de medidas e unidades harmonizadas, e de outro, a supervisão e exame de instrumentos e métodos de medição.

Desde a remota história da humanidade, observou-se a preocupação e a incessante necessidade de assegurar trocas justas, o que possibilitou o advento de práticas que podem ser entendidas como os primeiros passos da Metrologia Legal. Atualmente uma das principais contribuições desta vertente da Metrologia é o seu papel de aumentar a eficiência no comércio, estabelecendo confiabilidade nas medições e reduzindo os custos das relações, favorecendo, assim, não só o mercado interno, mas, sobretudo, impondo vigor às exportações.

Credibilidade na medição é a expressão fundamental para justificar a relevância das atividades da Metrologia Legal, especialmente onde quer que exista conflito de interesses, ou onde quer que medições incorretas levem a riscos indesejáveis aos indivíduos ou a sociedade.

Todos os aspectos já levantados são importantes no desenvolvimento de políticas e transações nacionais. Todavia, e cada vez mais intensamente nos dias atuais, há a necessidade de harmonização das práticas de Metrologia Legal entre

as economias mundiais. Com este propósito, que, desde de 1955, a Organização Internacional de Metrologia Legal – OIML, vem atuando, no sentido de promover esta consonância global, através do desenvolvimento de uma estrutura técnica que fornece aos seus países membros, diretrizes para elaboração de Regulamentos nacionais e regionais, no que diz respeito ao seu campo de atuação.

2.2 Metrologia Legal no Brasil

No Brasil, durante os anos, 30 foi promulgada a primeira legislação nos moldes de uma "Lei de Metrologia", mas a implantação de um controle metrológico, em nível nacional, só teve início a partir dos anos 60, com a criação do Instituto Nacional de Pesos e Medidas – INPM.

Em 12 de dezembro de 1973 foi criada a Lei 5966, que instituiu o Sinmetro - Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, sendo então originado o Inmetro, o qual incorporou as atividades do INPM, atribuídas à Diretoria de Metrologia Legal – Dimel. O modelo brasileiro adotado tem atuação concentrada no próprio Estado, sendo o Inmetro, autarquia do atual Ministério do Desenvolvimento Indústria e Comércio Exterior - MDIC, o executor central desta política.

Através da lei nº 9933 de 1999, a legislação anterior foi complementada no tocante a deveres, competências, delegação, entre outros aspectos relativos ao Inmetro.

Desta forma, cabe ao Inmetro, através da Dimel e observando a competência que lhe é atribuída pelas leis 5966 de 1973 e 9933 de 1999 e pela Resolução nº 11, de 12 de dezembro de 1988, do Conmetro, organizar e executar as atividades de Metrologia Legal em todo território brasileiro.

Nesta lógica, observa-se a atuação do Inmetro no sentido de assegurar a uniformidade de tais aplicações em relação ao contexto mundial, visto que está inserido em acordos internacionais, a exemplo do Mercosul e da OIML, a qual o Brasil está filiado como país membro, sendo, atualmente o único representante da América do Sul.

Como em todas as sociedades organizadas, o desenvolvimento tecnológico, econômico e social tem, também no Brasil, determinado a efetiva implantação do controle metrológico dos instrumentos de medição. Cobrindo inicialmente apenas as medições com fins comerciais, as atividades de Metrologia Legal vêm sendo estendidas, gradualmente, às demais áreas previstas na legislação, a exemplo da atuação na área dos líquidos criogênicos.

2.3 Parâmetros Relevantes do Controle Metrológico

O controle metrológico pode ser entendido como uma expressão que designa o controle efetuado pelo Estado sobre os instrumentos (ou sistemas) de medição ou medidas materializadas, notadamente utilizados nas atividades comerciais, na saúde, na segurança e no meio ambiente.

O objetivo fundamental estabelecido legalmente no campo econômico é proteger o consumidor enquanto comprador de produtos e serviços medidos, e o vendedor, enquanto fornecedor destes. A exatidão dos instrumentos de medição ou medidas materializadas, especialmente em atividades comerciais, dificilmente pode ser conferida pela segunda parte envolvida, a qual nem sempre possui meios técnicos para fazê-lo. Em geral os instrumentos (ou medidas materializadas) estão na posse de um dos parceiros comerciais o qual tem acesso a eles, mesmo na ausência da outra parte. É tarefa do controle metrológico estabelecer adequada transparência e confiança entre as partes, com base em ensaios imparciais.

Devido à dimensão do território brasileiro, a execução do controle metrológico, no que diz respeito às verificações e inspeções, em toda sua extensão teve de ser delegada aos órgãos metrológicos estaduais (Ipem), agências regionais e superintendências do Inmetro, que compõe a Rede Brasileira de Metrologia Legal e Qualidade – RBMLQ (atualmente formada por 26 órgãos metrológicos).

Todos os novos instrumentos de medição devem ter seu modelo aprovado pelo Inmetro, ao qual cabe examinar, ensaiar e verificar se o mesmo está adequado para a sua finalidade.

Após a fabricação, cada instrumento deve ser submetido à verificação inicial para assegurar sua exatidão antes da utilização.

A partir do momento em que já está em utilização, o detentor é o responsável pela manutenção de sua exatidão e uso correto, sendo o mesmo controlado por verificações periódicas e eventuais.

De maneira sucinta, pode-se delimitar o controle metrológico em quatro aspectos, que compreendem:

1. Apreciação Técnica de Modelo (ATM)

Esta atividade corresponde a um conjunto de ações destinadas a averiguar se dado modelo de um instrumento, sistema de medição ou medida materializada satisfaz aos requisitos estabelecidos pelo Regulamento Técnico Metrológico aplicável.

A solicitação de ATM deve ser feita pelo fabricante, representante legal deste ou importador de maneira padronizada, nos moldes da Norma NIE-Dimel-013 – *Solicitação de aprovação de modelos de instrumentos de medição e medidas materializadas*, contendo, além do pedido formal, detalhamento acerca do modelo postulante à aprovação, em documento denominado memorial descritivo.

Na prática, a ATM consiste da análise da documentação descritiva acerca do modelo (memorial descritivo, manual de instruções, esquema de circuito eletrônico, etc.), inspeção visual (também chamada de exame de protótipo) para avaliar a correspondência com a documentação enviada e com o(s) protótipo(s) apresentado(s) e, por fim, realização de ensaios em um ou mais exemplares do modelo, conforme definido no Regulamento Técnico Metrológico (RTM) pertinente. Todas as informações necessárias para que a apreciação técnica de modelo seja realizada devem ser fornecidas ao Inmetro ao qual cabe o sigilo sobre tais dados.

Os ensaios realizados visam, fundamentalmente, avaliar o desempenho do modelo quanto à exatidão das medições, através da determinação do erro de medição. Outras características metrológicas também podem ser avaliadas, de acordo com o princípio de operação, uso pretendido, ou quaisquer outras particularidades do modelo em apreciação. Desta forma, pode ser determinada a repetitividade das medições, histerese, erro fiducial, deriva, entre outras.

Além disso, para modelos que possuem o que é comumente chamado de “partes móveis” (como por exemplo medidor volumétrico do tipo turbina, onde as

paletas ou pás são as partes móveis), são ainda realizados ensaios de desgaste após o ensaio de desempenho, onde o modelo em questão é colocado em operação por um período pré-determinado de tempo (conforme RTM aplicável), após o qual é novamente avaliada a exatidão, para saber se tal parâmetro, durante a utilização normal do modelo, pode ser afetado pelo desgaste mecânico das partes móveis e até quando (tempo de uso) este efeito não é relevante.

Para instrumentos ou sistemas de medição que possuem dispositivos eletrônicos, são aplicáveis ainda ensaios específicos para evidenciar o adequado funcionamento de tais dispositivos.

Dependendo da finalidade e particularidades do modelo sob avaliação outros ensaios podem ser recomendados, tais como, por questões de segurança em ambiente explosivo, preservação ambiental, etc.

Após a conclusão do processo, caso seja evidenciado o atendimento a todas as exigências regulamentares, é concedida a aprovação de modelo (AM). Para tal, é expedida uma *portaria de aprovação de modelo*, publicada no Diário Oficial da União, sendo este o documento hábil da aprovação.

Em virtude da infra-estrutura laboratorial brasileira ainda não contemplar todas as demandas do segmento, ficou estabelecido pela Portaria Inmetro nº. 210 de 1994, a possibilidade de se utilizar na ATM resultados de ensaios realizados em laboratórios de outros países, desde que estes observem as prescrições técnicas e de ensaios constantes nas Recomendações da OIML.

Deve-se esclarecer que, no decorrer deste texto, aparece tanto a expressão ‘aprovação de dispositivos’ quanto ‘aprovação de sistemas de medição’. Cabe ressaltar que os dispositivos de medição devem ser submetidos ao processo de aprovação de modelo sob a responsabilidade dos fabricantes ou representantes dos mesmos. Todavia, quando tais dispositivos passam a integrar um sistema de medição, tal qual observado nos distribuidores de líquidos criogênicos, o sistema também deve ser avaliado na totalidade.

2. Verificação Inicial

A etapa seguinte a ATM compreende a verificação do modelo aprovado, logo após sua fabricação e antes da instalação e/ou primeira utilização. Corresponde a um ensaio de desempenho, conforme estabelecido pela regulamentação aplicável.

3. Verificações Periódicas

Representam verificações, que consistem em ensaios de desempenho, realizados em intervalos de tempo pré-determinados (normalmente anual ou semestral), de acordo com procedimentos estabelecidos por Regulamentos.

4. Verificações Eventuais

Estas verificações de dado modelo aprovado podem ser efetuadas a qualquer momento, a pedido do usuário, ou por decisão das autoridades competentes, também correspondendo a ensaios de desempenho, na prática.

Além dos quatro aspectos que atualmente delimitam o controle metrológico, a Dimel vem empenhando esforços para implantação de uma nova modalidade, denominada *exame de conformidade ao modelo aprovado*. Esta etapa corresponde à avaliação, em fábrica, de dado modelo previamente aprovado e que já tenha sido submetido às etapas previstas pelo controle metrológico. Numa amostragem aleatória, exemplares do modelo aprovado são novamente avaliados com o intuito de demonstrar o atendimento a todos os requisitos definidos pelo RTM e concordância com a portaria de aprovação de modelo referente.

2.4 Regulamentação

A hierarquia da legislação brasileira pode ser esquematizada pela figura abaixo:

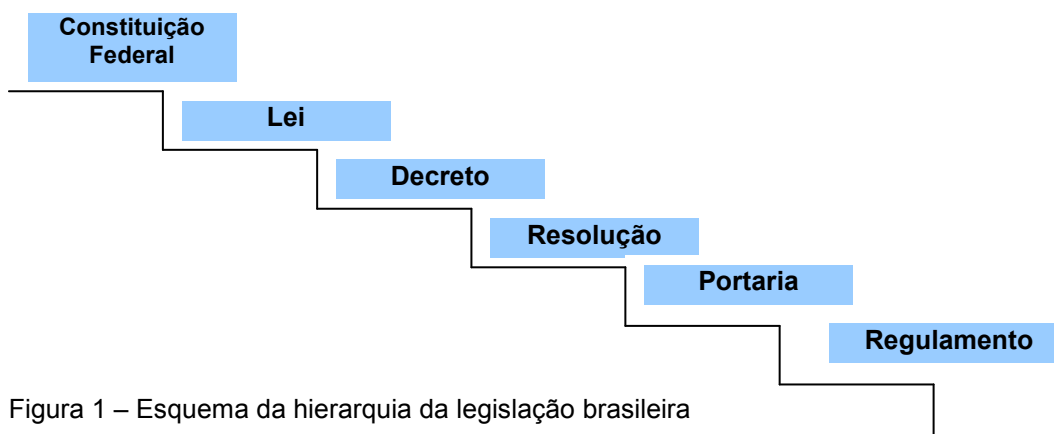


Figura 1 – Esquema da hierarquia da legislação brasileira

Para o cumprimento da responsabilidade de Metrologia Legal, o governo expede diversos tipos de legislações, tais quais leis e regulamentos. Os regulamentos estabelecem as unidades de medição autorizadas, as exigências técnicas e metrológicas, as exigências de marcação*, de utilização e o controle metrológico, a que devem satisfazer os fabricantes, importadores e detentores dos instrumentos de medição a que se referem.

A elaboração da regulamentação se baseia geralmente nas Recomendações da OIML e conta com a colaboração dos fabricantes dos instrumentos de medição envolvidos, representados por suas entidades de classe, e entidades representativas dos consumidores, através da participação nas Comissões Técnicas de Regulamentação Metrológica (CT).

Estas comissões têm o objetivo de tornar este processo de elaboração de Regulamentos Técnicos Metrológicos mais participativo, representativo e transparente, sendo compostas por representantes do Inmetro, dos órgãos metrológicos estaduais (RBMLQ), de representantes de entidades de classe, de órgãos governamentais envolvidos na área de atuação da comissão e outros que a própria comissão julgar necessário. Atuam também na avaliação dos projetos de Recomendação Internacional da OIML, que são encaminhados ao Inmetro para obtenção do posicionamento do Brasil, bem como na análise dos projetos de Resolução Mercosul.

De acordo com o descrito anteriormente, esta dissertação objetiva também fornecer subsídios ao Grupo de Trabalho (GT) Líquidos Criogênicos, instituído no âmbito da CT Medição Dinâmica de Líquidos (outros que a água), na Dimel/Inmetro, conforme Ordem de Serviço nº. 006/Dimel de 15 de abril de 2003.

2.4.1

Portaria Inmetro nº 58 de 21 de maio de 1997

No âmbito da legislação brasileira, encontra-se a Portaria Inmetro nº. 58 de 21 de maio de 1997, (disponível em <http://www.inmetro.gov.br/servicos/rtf.asp>), a qual aprova o RTM que estabelece as condições mínimas a que devem satisfazer os sistemas e dispositivos de medição de líquidos criogênicos.

* Neste contexto, exigências de marcação são inscrições obrigatórias, constantes fisicamente no instrumento ou sistema de medição aprovado. Normalmente são placas de metal afixadas em local visível, contendo informações tais quais o número da Portaria de aprovação de modelo, restrições de uso, condições de operação e outros dados que sejam relevantes.

Conforme descrito no art. 2º, ficou instituído o prazo até 31 de dezembro do ano de sua publicação para que solicitações de aprovação de modelo dos dispositivos e sistemas de medição de líquidos criogênicos fossem encaminhadas ao Inmetro. Constatou-se que alguns pedidos de aprovação de modelo foram realizados, no entanto, a referida aprovação ainda não foi concretizada, ou seja, apesar da regulamentação existente sobre o assunto, não há, no Brasil, nenhum modelo de sistema ou dispositivo de medição para líquidos criogênicos aprovado.

Para os modelos já produzidos na época da publicação da Portaria, ficou determinado que seriam submetidos a ensaios de verificação inicial, fato ainda não efetivado até o momento.

Quanto aos dispositivos e sistemas já em utilização pelos fornecedores, ficou designado que estes continuariam em uso, desde que os erros de medição se mantivessem dentro dos valores especificados pelo RTM. Contudo, não há evidências desta constatação.

Os motivos pelos quais nenhum modelo de sistema de medição ou dispositivo tenha sido aprovado até o momento, não sendo, desta forma, submetidos ao controle metrológico subsequente, conforme mencionado nos parágrafos anteriores, podem ser atribuídos à ausência de elementos, no RTM em questão, que subsidiem a implementação de tais atividades, conforme se pretende mostrar nas linhas seguintes.

Ressalta-se, todavia a necessidade de harmonização do vocabulário empregado com o Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia - VIM, uma vez que o texto traz termos como “acurácia”, atualmente em desuso pela comunidade metrológica.

A seguir, os pontos fundamentais observados são apresentados, especialmente no que diz respeito às especificações para os dispositivos e sistemas de medição.

2.4.1.1 Diretrizes Atuais para Aprovação de Modelo

O referido regulamento estabelece quais são as condições mínimas a que devem atender os dispositivos e sistemas de medição de líquidos criogênicos para

as atividades previstas no item 8 da Resolução Conmetro nº 11 de 1988, onde está definido que:

“os instrumentos de medir e as medidas materializadas, que tenham sido objeto de atos normativos, quando forem oferecidos a venda; quando forem empregados em atividades econômicas ... e quando forem empregados em quaisquer outras medições que interessem a incolumidade das pessoas, deverão, obrigatoriamente:*

- a) corresponder ao modelo aprovado pelo Inmetro;*
- b) ser aprovados em verificação inicial, nas condições fixadas pelo Instituto;*
- c) ser verificados periodicamente.”*

O sistema de medição deve ser entendido como um conjunto de dispositivos, reunidos para realizar a medição específica. É constituído pelo dispositivo de medição e demais dispositivos associados (por exemplo, dispositivos de impressão, totalização, retorno ao zero, etc.) conforme apropriado. Já o dispositivo de medição corresponde ao medidor propriamente dito, que neste caso pode ser volumétrico (medidor de vazão volumétrica) ou mássico (medidor de vazão mássica). O medidor deve ser constituído, pelo menos, por um transdutor de medição, dispositivo calculador (incluindo dispositivos de ajuste e correção, se presentes), dispositivo de conversão (se necessário) e dispositivo indicador.

Cabe ressaltar que os requisitos esperados devem ser atendidos dentro das condições normais de operação especificadas pelos fabricantes.

Além da prática do controle metrológico, o documento em questão estabelece requisitos mínimos a serem cumpridos pelos fabricantes com o intuito de satisfazer às prescrições regulamentadas. Dentro das orientações de fabricação, ressalta-se a relevância do item 4 – *Requisitos de Construção*. Na realidade corresponde a uma análise das características construtivas quanto ao projeto dos dispositivos de indicação, registro e exigências de marcação. No ato do pedido de aprovação de modelo, o interessado deve apresentar informações desta natureza no memorial descritivo, conforme a norma NIE-Dimel-013. Além disso, tais informações devem ser averiguadas através da análise de protótipo(s) do dispositivo ou sistema de medição postulante à aprovação.

Condições de base, devem ser entendidas como as condições especificadas de temperatura e pressão para as quais o volume mensurado é convertido. As condições de base fixadas pelo RTM correspondem à temperatura de 21 °C e à

* Em 1988, ano de publicação da citada Resolução, o VIM ainda não havia sido publicado. Desta maneira, ainda se utilizava o termo *instrumento de medir*. Atualmente a forma correta é *instrumento de medição*.

pressão de 101,325 kPa.

Os resultados podem ser indicados em termos de massa, volume no ponto de ebulição normal, isto é, a pressão atmosférica ou ainda em termos de volume de gás equivalente ao volume de líquido nas condições de base, uma vez que nestas condições o material se encontra realmente no estado gasoso.

Pelo propósito deste trabalho, as exigências metrológicas merecem maior destaque. Assim sendo, no RTM em questão, várias são as restrições quanto à exatidão das medições em diferentes situações, conforme especificado pela Tabela 1, a seguir, onde *ema* corresponde ao erro máximo admissível e *U* ao valor máximo aceitável para a incerteza de medição expandida. Deve-se atentar também para as exigências quanto aos dispositivos de medição de temperatura e pressão, dado que tais grandezas devem ser registradas durante os ensaios para efeito de correção. Além disso, as incertezas requeridas para os padrões e instrumentos auxiliares subentendem mais uma vez a necessidade de uma infra-estrutura laboratorial para a realização das avaliações.

Descrição/Situação	ema (\pm)	U (\pm)
ATM de dispositivo de medição	1,5%	---
Verificação inicial ou eventual de sistema de medição	2,5%	---
Dispositivo de medição operando na entrega mínima	3,0%	---
Sistema de medição operando na entrega mínima	5,0%	---
Padrões utilizados nos ensaios (de forma geral)	1/3 do ema aplicável	---
Padrão gravimétrico	0,3%	---
Padrão de temperatura (todo sistema de medição)	---	0,5 K
Padrão de pressão (todo sistema de medição)	---	50 kPa
Padrão para medição do tempo	---	1 s

Tabela 1 – Alguns requisitos metrológicos conforme Portaria Inmetro nº. 58 de 1997

Deve-se observar na tabela anterior que não há especificações quanto ao *ema* para aprovação do sistema de medição como um todo (em condições diferentes da entrega mínima), além de não constarem diretrizes para aprovação de componentes do sistema, isoladamente, tais como dispositivos de conversão e calculador.

O termo *entrega mínima* neste texto corresponde à menor vazão de operação para a qual a medição é metrologicamente aceitável.

Como especificação da repetitividade requerida, pode-se identificar a necessidade de um desvio padrão menor ou igual a 0,3% da quantidade medida, para o padrão de trabalho.

Outro fato de grande interesse é que para os ensaios deverá ser utilizado o mesmo fluido (apenas numa avaliação, nitrogênio líquido pode ser utilizado) que será comercializado através do sistema sob avaliação, o que, mais uma vez, introduz a necessidade de uma infra-estrutura laboratorial para tal, podendo os ensaios ser realizados na propriedade do interessado (fabricante, representante, etc.).

Como o material líquido a ser comercializado encontra-se a uma temperatura bastante peculiar e distante da temperatura ambiente, quaisquer gradientes podem gerar vaporização da fase líquida com conseqüente mudança no volume a ser medido. O texto do regulamento é bastante enfático ao estabelecer que o material a ser medido permaneça no estado líquido durante sua passagem através do medidor. Logo, no decorrer dos ensaios, o fenômeno de transferência de calor deve ser minimizado ao extremo. Este fato aponta para o aspecto construtivo dos dispositivos, sobretudo os tanques de armazenamento e para a necessidade de pré-resfriamento do sistema de medição antes da passagem efetiva do líquido, devendo esta prática ser adotada inclusive na comercialização.

Para que o processo de apreciação técnica de modelo, já mencionado no item 2.3, seja eficientemente conduzido no caso de dispositivos e sistemas de medição de líquidos criogênicos, devem ser previstos ensaios com vistas a identificar o desempenho de dado modelo. Assim sendo, devem ser disponibilizados meios para que se obtenha informações a respeito da exatidão das medições realizadas. Para tal, deve-se escolher um método de ensaio capaz de possibilitar a comparação entre as indicações fornecidas por um padrão e pelo modelo em apreciação. Outra característica de interesse é a repetitividade das medições, a

qual também pode ser avaliada nesta oportunidade. Além dos parâmetros exatidão e repetitividade, conforme estabelecido no item 2.3, quando apropriado também é designada a execução de ensaio de desgaste. Especificamente no caso de dispositivos eletrônicos, devem ser realizados ensaios apropriados a avaliar o correto funcionamento destes, conforme previsto no documento OIML D 11 – *General requirements for electronic measuring instruments*.

As recomendações do parágrafo anterior não constam no RTM. Apesar das exigências metrológicas estarem bem definidas, não há argumentos suficientes para identificar quais os métodos recomendados para avaliação dos sistemas e dispositivos de medição e a quais ensaios estes devem ser submetidos. No item 5.6.1 do RTM, há considerações sobre a necessidade de pré-resfriamento do tanque e do sistema de transferência para o caso de ensaio gravimétrico, logo, subentende-se este método como aceitável, de acordo com o texto, onde, novamente em 5.6.5.2 apresenta a alternativa de pesagem dinâmica.

Quanto à estrutura do sistema de medição, não são admitidos contornos e derivações após o medidor, com o intuito de evitar possíveis desvios do líquido medido.

Na operação de fornecimento, a mangueira deve ser completamente drenada, sendo esta ação comumente chamada de *fornecimento do tipo mangueira seca*.

O texto faz uma abordagem sobre as condições de ensaio, apenas no que diz respeito aos cuidados para minimizar a evaporação, no caso de ensaio por método gravimétrico, conforme já mencionado, ao tipo de líquido a ser utilizado e aos padrões a serem empregados. Todavia não mostra qualquer detalhamento sobre o método de ensaio a ser empregado para avaliar o desempenho dos sistemas ou dispositivos de medição de líquidos criogênicos.

Observou-se também grande detalhamento na especificação dos dispositivos de automação da transferência e do sistema de medição como um todo, além de contemplar válvulas e linhas de descarga.

Finalmente, a atividade de aprovação de modelo é mencionada, sendo detalhados os trâmites normais, as verificações subseqüentes, merecendo destaque à programação anual para as verificações periódicas, além de disposições quanto à selagem (mecânica) dos sistemas e condições de utilização.

2.4.2 OIML R 81

A Recomendação nº 81 da OIML (*Dynamic measuring devices and systems for cryogenic liquids*) aborda diretrizes sobre dispositivos e sistemas de medição dinâmica de líquidos criogênicos, tendo sido publicado em 1998, apenas um ano após regulamentação vigente no âmbito brasileiro. O conteúdo traduzido na íntegra é apresentado no Apêndice A. Neste texto, a presente referência é citada apenas como OIML R81 ou Recomendação nº. 81.

A OIML R81 traz a terminologia utilizada na área bem definida, abordando, de maneira sucinta, os termos relevantes, fazendo referência também ao VIM.

Embora não especifique, detalhadamente, quais os dispositivos de medição recomendados, aponta para a indicação dos resultados em termos de massa ou volume, bem como estabelece exclusivamente a medição dinâmica, ficando, assim, limitado o uso apenas de medidores de vazão.

Aspectos construtivos e requisitos metrológicos são apresentados. É especificada ainda a necessidade de realização de ensaios de desempenho e desgaste (este último é aplicável a medidores que apresentam partes móveis, a exemplo dos medidores tipo turbina). Merece destaque o detalhamento de procedimentos e condições de ensaio, sendo abordados até ensaios específicos para dispositivos eletrônicos. Quanto à metodologia de ensaio a ser empregada para avaliar o desempenho, nitidamente identifica-se o uso de método gravimétrico ou de comparação com um medidor padrão. Quanto ao líquido de ensaio, este deve ser tal que possua características semelhantes ao qual o dispositivo/sistema se destina a medir. Os ensaios de desempenho visam avaliar a exatidão e repetitividade das medições realizadas.

Observa-se um detalhamento quanto aos padrões utilizados, empregando-se até mesmo especificações quanto a incerteza de medição (menor que 1/5 do *ema* para o sistema em aprovação de modelo e menor que 1/3 do *ema* para o sistema em verificação), prática não muito comum em Metrologia Legal, onde o parâmetro disseminado é o erro de medição.

A atividade de controle metrológico segue os moldes já existentes no Brasil, o que já era esperado por ser país membro da OIML.

2.4.3 OIML R 81 x Portaria Inmetro nº 58 de 1997

Neste subitem algumas confrontações entre os documentos de referência OIML R81 e a Portaria Inmetro nº 58 de 1997 são apresentadas. São abordados os temas mais relevantes, uma vez que no Apêndice B há uma matriz de correlação, através da qual pode-se estabelecer uma comparação direta entre as abordagens estabelecidas pelos dois documentos.

O primeiro fato a atentar é quanto ao escopo de cada documentação, uma vez que a OIML R81 especifica claramente a medição dinâmica de líquidos criogênicos. Por medição dinâmica, dentro deste contexto, entende-se o uso de medidores, especificamente volumétricos, já que, de acordo com o texto, no caso de medidores de vazão mássica aplica-se o documento OIML R105 – *Direct mass flow measuring systems for quantities of liquids*.

Todavia, a Portaria Inmetro nº 58 de 1997 subentende o uso de medidores volumétricos ou mássicos, generalizando sua utilização a todos os dispositivos e sistemas de medição com finalidade prevista no item 8 da Resolução Conmetro nº 11 de 1988.

Quanto aos termos metrológicos empregados observa-se uma maior preocupação por parte da Recomendação nº 81 em adotar o VIM, em atendimento a tendência mundial, também seguida no âmbito nacional, conforme estabelecido na Portaria Inmetro nº 29 de 1995.

No tocante aos ensaios de desempenho necessários para avaliação dos dispositivos e sistemas, a OIML R81 elucida a utilização de método gravimétrico ou utilização de um medidor padrão para comparação. Seguindo esta linha, no Apêndice A (da Recomendação) são apresentadas diretrizes para a realização dos ensaios. Estes pontos não são contemplados na regulamentação brasileira, constituindo uma das principais dificuldades na efetivação do controle metrológico, à medida que faltam argumentos para que sejam estabelecidas metodologias de ensaio e avaliação dos dispositivos e sistemas em questão.

No âmbito nacional, está estabelecido que os dados de pressão e temperatura devem ser convertidos para as condições de base, que correspondem a 21°C e 101,325 kPa. Tais condições não são especificadas pelo documento da OIML.

Ambos os documentos abordam requisitos de caráter construtivo, notadamente no que se refere aos dispositivos de indicação, totalização, impressão, mas apenas a Recomendação da OIML dedica um capítulo exclusivo aos sistemas equipados com dispositivos eletrônicos, sendo também tratados os ensaios pertinentes a tais dispositivos. Este último fato é interessante, uma vez que cada vez mais dispositivos eletrônicos são utilizados em substituição aos mecânicos.

As diretrizes para aprovação de modelo são basicamente as mesmas; no entanto a OIML R81 trata com maior enfoque a questão dos ensaios, bem como delimita com mais intensidade o controle metrológico.

O que deve ser percebido nesta abordagem é a ausência de requisitos fundamentais na regulamentação brasileira. Provavelmente a este fato pode-se atribuir a responsabilidade da não implementação do controle metrológico até o presente momento.

De uma forma geral, deve-se admitir que a OIML R81 possui elementos mais significativos e melhor fundamentados no que diz respeito à atividade do controle metrológico. Todavia, ambas as referências não contemplam a totalidade das metodologias empregadas na comercialização, apresentadas no Capítulo 4. Sendo assim, deve-se fazer uma reflexão sobre a adequação das técnicas empregadas, visto que nem sempre estão contempladas pelos documentos de referência, ou a adequação destes últimos, visto que não contemplam todas as metodologias de medição praticadas.

As questões consideradas como válidas serão aproveitadas na estruturação de uma proposta para implantação das atividades do controle metrológico nesta área, apresentada nas considerações finais desta dissertação.

3. Líquidos Criogênicos

3.1 Historia da Criogenia

A criogenia (*crio gen* – do grego, geração de frio) pode ser entendida, em linhas gerais, como a produção e utilização de frio muito intenso, alcançado por alguns gases no estado líquido.

O desenvolvimento da refrigeração e processos de baixa temperatura pode considerar como marco o ano de 1883, quando foram obtidas temperaturas abaixo de 100 K com a liquefação do ar, N₂ e O₂ (Bailey, 1971).

Posteriormente, em 1898, James Dewar obteve a liquefação do hidrogênio a 20 K. Relata-se também nesta época a identificação do hélio, sendo este (⁴He) finalmente liquefeito em 1908 a 4,2 K (Pobell, 1996).

Desde então, estabeleceu-se grande esforço para a conquista de temperaturas mais baixas, próximas ao zero absoluto. Atribui-se ao cientista H. Kamerlingh-Onnes grande mérito nesta área, o qual, em 1922 obteve 0,83 K, sendo superado por seu sucessor, W. H. Keesom em 1932 ao atingir 0,71 K (Bailey, 1971).

Várias tecnologias foram propostas na tentativa de obtenção de temperaturas cada vez menores, possibilitando alcançar a ordem de grandeza de milikelvin e, posteriormente, microkelvin.

Justifica-se o empenho das pesquisas na área da criogenia devido à diversidade de utilizações verificadas na atualidade. Foi possível a identificação de várias linhas de aplicação, destacando-se a medicina, a conservação de material humano, indispensável às atividades de engenharia genética.

De acordo com Shreve (1977), as temperaturas “super frias” provocam modificações nas propriedades dos materiais, sendo empregadas na propulsão de foguetes, no processamento eletrônico de dados, no campo dos materiais magnéticos (supercondutores), em processos industriais e no setor químico, onde se observa grande atuação na obtenção de nitrogênio para fabricação de amônia e na metalurgia, onde o uso de oxigênio acelera a produção de aço.

3.2 Aspectos Gerais

A magnitude das temperaturas criogênicas pode ser ilustrada pela tabela abaixo, onde são mostrados alguns dos principais líquidos criogênicos com as respectivas temperaturas de ebulição:

Substância	Temperatura de ebulição	
	(K)	(°C)
Hélio	4,2	-268,95
Hidrogênio	20,4	-252,75
Nitrogênio	77,3	-195,85
Oxigênio	90,2	-182,85

Tabela 2 – Exemplos de líquidos criogênicos e seus respectivos pontos de ebulição

O estudo nesta área teve grande êxito devido ao implemento da supercondutividade (capacidade de um material em conduzir a corrente elétrica sem oferecer resistência). Em 1911 observou-se pela primeira vez que metais tais como o mercúrio tornavam-se supercondutores quando congelados perto do zero absoluto. Como essas baixas temperaturas somente podiam ser obtidas com generosa utilização de hélio líquido, bastante oneroso, pesquisas tiveram continuidade buscando a supercondutividade a temperaturas mais elevadas.

Devido a sua natureza os líquidos criogênicos podem apresentar danos à saúde, pois as baixas temperaturas são capazes de provocar sérias queimaduras ao tecido, conhecidas por enregelamento. A formação de uma nuvem a partir de um gás criogênico sempre representará uma situação de risco, visto que a densidade do vapor será maior que a do ar, uma vez que a temperatura é muito baixa, o que poderá ocasionar o deslocamento do ar atmosférico e, conseqüentemente, redução na concentração de oxigênio no ambiente.

Além disso, tais líquidos têm efeito sobre outros materiais, danificando-os; a exemplo do que se observa quando do contato de tanques de armazenamento de produtos químicos, que se tornam quebradiços ao contato com líquidos criogênicos, favorecendo ao vazamento do produto estocado.

Uma pesquisa com os principais fornecedores apontou nitrogênio, hidrogênio, oxigênio, hélio, argônio e ar como os líquidos criogênicos mais comuns utilizados comercialmente.

3.3 Aplicabilidade

Várias são as aplicações dos líquidos criogênicos que puderam ser constatadas na literatura e nas visitas realizadas.

Na saúde, destaca-se a utilização de hélio líquido, devido a sua característica de boa condutividade térmica, em ressonância magnética. Outra contribuição importante é na biocriogenia, que consiste na conservação e armazenamento de materiais biológicos por longos períodos de tempo a baixas temperaturas (entre $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$), sendo aplicável à preservação de células vivas, vacinas, derivados do sangue, preservação de órgãos, conservação de sêmen para inseminação artificial, entre muitos outros. O ar medicinal, indispensável no auxílio em alguns casos clínicos é fornecido por um arranjo composto dos líquidos criogênicos nitrogênio e oxigênio (cujas formas gasosas são os principais constituintes do ar atmosférico).

Além da geração de frio, outro ponto relevante é a redução de volume quando se compara o mesmo número de mols do estado gasoso para o estado líquido, favorecendo a operações tais quais o transporte e estocagem. Para exemplificar esta situação é apresentado o relato abaixo, extraído do *site* <http://www.agahealthcare.com.br/Web/Web2000/br/HC/WPP.nsf/pages/oxigenio>, em 16/10/2002:

“... o líquido é vaporizado, gerando gás, e aquecido dentro do tanque antes de ser inalado pelo paciente ... Um tanque típico, que contém cerca de 30 litros de líquido, pode fornecer ao paciente mais de 25.000 litros de oxigênio gasoso ou o bastante para uma ou duas semanas de utilização. O paciente também pode encher um pequeno recipiente de 1,2 litros com oxigênio líquido do tanque estacionário instalado na sua casa. Quando cheio, o recipiente pesa cerca de 3,5 kg e pode fornecer uma vazão de oxigênio de 1 litro/minuto por 14 a 16 horas...”

Nos processos químicos também foi observada relevante contribuição, notadamente nos procedimentos de cristalização criogênica, capaz de aumentar a pureza dos produtos, bem como o rendimento e a uniformidade no tamanho dos

cristais. Notou-se também a possibilidade de resfriamento rápido e eficaz controle de temperatura de reatores, podendo, inclusive otimizar o rendimento de algumas reações.

No ramo da indústria alimentícia, a utilização de líquidos criogênicos traz um aspecto importante com o uso em laticínios, pois, além do rápido resfriamento, o congelamento a temperaturas mais baixas reduz a proliferação de microrganismos garantindo a qualidade dos produtos. Com pescados, o congelamento rápido propicia a formação de menores cristais de água no produto, acarretando manutenção das propriedades originais do alimento após descongelamento.

Outra aplicação de grande interesse é a criomoagem, que consiste na utilização de líquido criogênico para moagem de diversos materiais, onde o calor gerado pelo atrito durante a operação é rapidamente absorvido pelo líquido a baixa temperatura, evitando a decomposição térmica do produto e a emissão de elementos voláteis na atmosfera.

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 n° 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

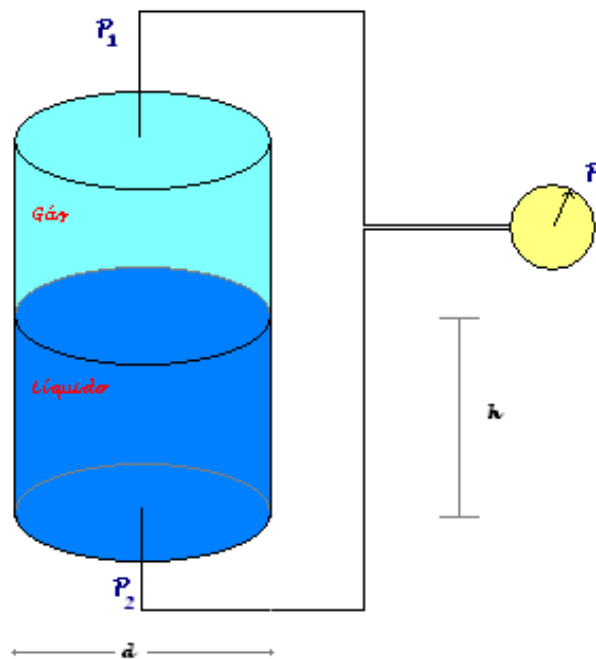


Figura 2 – Esquema de medição por diferencial de pressão

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.

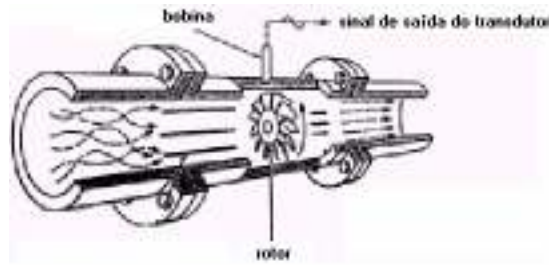


Figura 3 – Montagem esquemática de turbina em corte

O fluido que escoar 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 ativar 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 despeito 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 n.º 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.

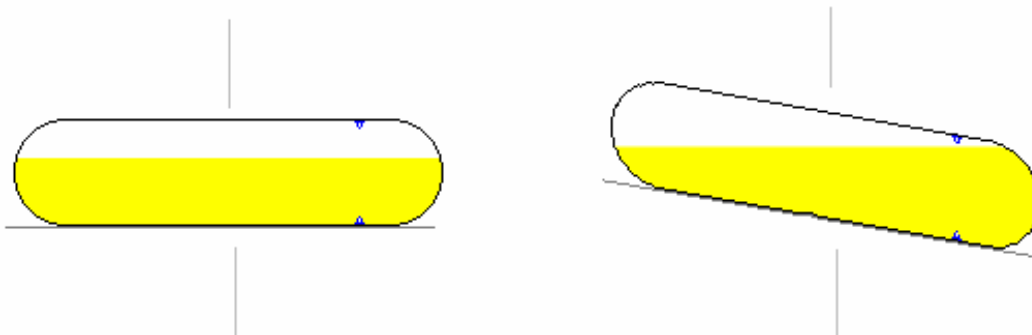


Figura 4 – Efeitos do nivelamento na medição em tanques

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.

5

Conclusão

De acordo com o apresentado, fica evidente a necessidade de estabelecer o controle metrológico neste seguimento. Conforme mostrado no Capítulo 4, há distintas metodologias de medição para a prática comercial de líquidos criogênicos, estabelecidas de acordo com tendências internacionais e do próprio mercado interno, o qual foi se moldando, ao longo dos anos, em função de acordos entre os envolvidos, sem a interferência de um organismo de terceira parte, imparcial nos julgamentos.

Entretanto, para o estabelecimento do controle metrológico em questão, é essencial o amparo de uma regulamentação capaz de agregar aspectos não só inerentes às boas práticas, mas que contemplem a realidade do mercado brasileiro. Uma regulamentação apropriada carrega a responsabilidade de amparar as decisões sobre como atingir a coerência metrológica, a fim de melhorar a eficiência em custos, além de não criar obstáculos desnecessários ao comércio.

É de fundamental importância atentar para as diretrizes internacionais e para o contexto nacional, estreitar contatos com os envolvidos em todos os segmentos, além de buscar alicerces acadêmicos, quando da estruturação de um regulamento. Tais ações visam evitar a não aplicabilidade da regulamentação, o que fatalmente leva ao descaso com a questão legal, quadro de difícil reversão.

Além disso, durante o desenvolvimento, há que se prever como o controle metrológico correspondente será efetivado, em todos os seus desdobramentos. Mais uma vez, a lacuna deixada entre a adoção de um RTM e a efetivação do controle correspondente não pode ser superior aos prazos previstos pela legislação para a adequação esperada.

Mediante tais abordagens, as conclusões apresentadas a seguir objetivam indicar os trâmites a serem percorridos para a adoção da prática do controle metrológico nos dispositivos e sistemas de medição de líquidos criogênicos:

1) O ponto de partida corresponde à reestruturação da regulamentação vigente, neste caso, a Portaria Inmetro n.º 58 de 1997. Entendo que tal documento deve ser revisto tendo como base os argumentos apresentados por esta dissertação e a Recomendação n.º 81 da OIML.

2) Todavia, *o que deve estar submetido ao controle metrológico?* Para responder a esta indagação busquei elementos na Resolução Conmetro n.º 11 de 1988, onde, conforme o capítulo 3, item 8, fica estabelecido que, cabe o controle metrológico aos sistemas e dispositivos envolvidos direta ou indiretamente na quantificação e conclusão da atividade comercial de líquidos criogênicos. Dependendo do sistema seriam submetidos ao controle metrológico os seguintes dispositivos:

- medidor volumétrico (turbina);
- transdutor de medição;
- dispositivo calculador eletrônico;
- dispositivo indicador;
- dispositivo de conversão;
- dispositivo para fornecimento ou memorização de resultados de medição;
- impressora;
- dispositivo para medição de temperatura;
- dispositivo para medição de pressão;
- dispositivo para medição de massa específica;
- manômetro diferencial (indicador de nível);
- tanque de armazenamento;
- balança.

3) Para todas as formas de comercialização, observo que é imprescindível a manutenção do estado líquido durante as medições. Ainda que quaisquer mudanças de estado venham a ocorrer, apenas a matéria no estado líquido poderá ser contabilizada em termos comerciais. Desta maneira sugiro que sejam previstos dispositivos e/ou técnicas para tal, a exemplo da possibilidade de pré-resfriamento do sistema com a passagem de pequena quantidade de líquido criogênico antes do início das medições.

4) Devo salientar, ainda, que o dispositivo (mangueira, mangote) utilizado para transferência do líquido criogênico, do fornecedor para o comprador, não necessita ter comprimento delimitado por regulamento, uma vez que o fornecimento deve ser do tipo, comumente chamado, “mangueira seca”.

5) Ressalto o fato de que deve ser respeitado o aspecto conceitual referente aos termos *densidade* e *massa específica*. Embora a Portaria Inmetro n.º 58 de 1997 empregue o termo *densidade*, esta abordagem é errônea, uma vez que a grandeza *massa específica* é que congrega a relação entre massa e volume de um líquido, podendo, assim, ser utilizada como fator de conversão entre massa e volume, ou vice-versa.

6) Quanto às metodologias de medição a serem aceitas para fins de comercialização, indico a adoção, sem preferência, de qualquer uma das três práticas apresentadas no Capítulo 4, todavia atendendo, obrigatoriamente, as proposições estabelecidas no subitem 4.3. Sendo assim, aplicam-se os seguintes princípios de medição:

- medição de massa (estática);
- medição por diferencial de pressão (nível);
- medição de vazão volumétrica (medidor do tipo turbina).

7) A citada Portaria Inmetro n.º 210 de 1994 sinaliza a possibilidade da utilização de laboratórios estrangeiros, devido à estrutura ainda não abrangente da rede nacional, desde que sejam observadas as prescrições da OIML, conforme comentado anteriormente. Todavia, quando o assunto é confiabilidade metrológica ressalto, a seguir, alguns aspectos adicionais. Inicialmente, em termos laboratoriais, de imediato, é aplicável a norma NBR ISO/IEC 17025 – *Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração*. Neste contexto, na conjuntura nacional, os laboratórios credenciados pelo Inmetro na RBC e RBLE atendem a este princípio. No âmbito internacional, para garantir a utilização de serviços laboratoriais fundamentados nos mesmos preceitos de confiabilidade metrológica, deve-se utilizar laboratório credenciado, pertencente a país que possua acordo de reconhecimento mútuo com o Inmetro, na atmosfera do Ilac (fórum que congrega diversos países reunidos por um acordo de

reconhecimento, tendo como objetivo, eliminar barreiras técnicas do mercado internacional, o desenvolvimento e a interação entre laboratórios credenciados em todo mundo).

8) Sugiro que o processo de aprovação de modelo seja conduzido para todo um sistema de medição ou para dispositivos isoladamente. Desta maneira, devem ser aplicados os critérios de exatidão requeridos no documento OIML R81, sendo estes apresentados na tabela seguinte:

Descrição	ema (\pm)
Sistema de medição	2,5 %
Medidor (neste caso, volumétrico, tipo turbina)	1,5 %
Dispositivo para medição de temperatura	1 K
Dispositivo para medição de pressão	50 kPa
Dispositivo para medição de massa específica	5 kg/m ³
Transdutor de medição	1 %
Dispositivo calculador	0,25 %
Dispositivo de conversão	1 %

Tabela 3 – *ema* aplicável a dispositivos/sistemas de medição de líquidos criogênicos

No caso da utilização de balanças, são aplicáveis as condições estabelecidas na regulamentação específica, neste caso a Portaria Inmetro n°. 236 de 1994. Para os manômetros utilizados com a função de indicadores de nível, dado a inexistência de referências quanto ao *ema*, deve-se proceder uma avaliação prática da influência dos erros apresentados por tais dispositivos no volume final a ser medido.

De uma forma geral, o *ema* estabelecido para o sistema de medição deve ser o critério soberano para qualquer avaliação.

Para as verificações do sistema de medição no campo, recomendo manter o *ema* igual a $\pm 2,5$ %

9) Conforme apresentado, para avaliação do desempenho de determinado medidor ou sistema de medição devem ser realizados ensaios com o intuito de averiguar o desempenho requerido. Desta maneira, recomendo que sejam feitos

ensaios através de metodologia gravimétrica, volumétrica ou utilizando um medidor padrão, para que se obtenha o erro de medição e a repetitividade, pelo menos, considerando, para os ensaios, condições similares as de operação. Tal fato pressupõe vazões que cubram toda a faixa de operação (de $Q_{\text{máx}}$ a $Q_{\text{mín}}$, incluindo os extremos), além de impor a necessidade de avaliação do sistema com o líquido (ou outro de características semelhantes) a ser comercialmente medido e mesmas condições de temperatura e pressão de operação.

Para medidores que possuem partes móveis, a exemplo dos medidores tipo turbina, concluo ainda que são indispensáveis os ensaios de desgaste, na vazão máxima do medidor, sendo este procedido de novo ensaio de desempenho.

Ressalto também a necessidade contemplar ensaios em dispositivos eletrônicos, conforme apresentado pelo Anexo B da OIML R81. Para estes últimos, deve ser previsto esquema de selagem eletrônica, assunto este não contemplado na regulamentação vigente.

10) Para efeito de padronização, indico que os valores de massa específica utilizados para fins de cálculos e/ou conversões entre unidades com objetivo comercial, quando não medidos no momento e nas condições de operação, sejam extraídos de uma única fonte. Considerando que a tabela apresentada no Anexo C da OIML R81 (para argônio, hélio, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio líquidos), foi elaborada pelo Nist, a pedido da OIML, tais dados podem ser adotados no âmbito brasileiro. Para demais líquidos, não contemplados pela tabela citada, sugiro que os dados a serem utilizados sejam avaliados pelo órgão metrológico, ao qual cabe investigar a veracidade e rastreabilidade dos mesmos.

Glossário

De modo geral, para todos os termos utilizados neste trabalho, são aplicáveis as definições do Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia (VIM) – 2ª edição brasileira.

Abaixo são apresentados os termos de maior relevância, bem como alguns outros cuja definição não está contemplada pelo VIM:

ajuste	operação destinada a fazer com que um instrumento de medição tenha desempenho compatível com seu uso
amplitude	diferença, em módulo, entre os dois limites de uma faixa nominal
arqueação	determinação da capacidade volumétrica de reservatórios (tanques e embarcações) utilizados para armazenamento de produtos a granel, através de verificação dimensional
condições de base	condições especificadas para os quais o volume mensurado do líquido é convertido (exemplos: temperatura de base e pressão de base)
deriva	variação lenta de uma característica metrológica de um instrumento de medição
elemento de primogênio	elemento que mede a vazão através de dados de pressão diferencial
ensaio de desgaste	ensaio destinado a avaliar a habilidade de determinado dispositivo ou sistema de medição em

	continuar operando dentro do <i>ema</i> estabelecido, após o início da utilização e com o desgaste natural de seus elementos constituintes
ensaio desempenho	ensaio destinado a verificar se dado dispositivo ou sistema de medição é capaz de efetuar as funções pretendidas, dentro do limite de erro máximo admissível estabelecido
erro fiducial	erro de um instrumento de medição dividido por um valor especificado para o instrumento
erro máximo admissível	valor máximo admitido para o erro de dado dispositivo ou sistema, estabelecido por regulamentação específica
histerese	é a diferença entre a indicação de dado resultado da grandeza medida, quando esta grandeza foi atingida por valores crescentes e a indicação quando a grandeza foi atingida por valores decrescentes. O valor poderá ser diferente, conforme o ciclo de carregamento e descarregamento, típico dos instrumentos mecânicos, tendo como fonte de erro, principalmente, folgas e deformações, associadas ao atrito.
incerteza de medição	parâmetro associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser fundamentalmente atribuídos a um mensurando
medidor padrão (master)	padrão de trabalho, rastreável ao padrão nacional, usado para calibração e/ou verificação de dispositivos e sistemas de medição de líquidos criogênicos

memorial descritivo	descrição detalhada do modelo do instrumento de medição ou medida materializada, do equipamento ou do acessório, apresentando, conforme o caso, informações quanto ao processo de medição, condições de instalação necessárias, características construtivas, características metrológicas inerentes, condições de utilização, entre outros.
provador (prover)	tubo ou cilindro, cujo volume interno é conhecido, sendo utilizado para calibrar um medidor, através da circulação de um elemento móvel (em geral esfera ou pistão) ao longo do tubo, fazendo com que detetores que delimitam a seção de calibração sejam acionados; o volume conhecido nesta seção é corrigido em função da temperatura e da pressão, e comparada com a indicação do medidor.
repetitividade	neste texto aplica-se o presente termo fazendo referência aos resultados de medição ou a um instrumento de medição em particular; no primeiro caso, corresponde ao grau de concordância entre resultados de medições sucessivas de um mensurando efetuadas sob as mesmas condições de medição; no segundo caso equivale a aptidão de um instrumento de medição em fornecer indicações muito próximas, em repetidas aplicações do mesmo mensurando, sob as mesmas condições de medição
rastreabilidade	propriedade de uma medição ou do valor de um padrão estar relacionado a referências estabelecidas, geralmente a padrões nacionais ou internacionais, através de uma cadeia contínua de comparações, todas tendo incertezas estabelecidas

Referências Bibliográficas

AGA. Apresenta a página institucional da empresa e a aplicabilidade dos produtos. Disponível em: <<http://www.agahealthcare.com.br/Web/Web2000/br/HC/WPP.nsf/pages/oxigenio>>. Acesso em 16 out. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/IEC 17025**: requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração. Rio de Janeiro, 2001.

BAILEY, C. A. **Advanced cryogenics**. 3. ed. New York: Plenum Publishing Co., 1971.

BRASIL. Lei nº 5966 de 11 de dezembro de 1973. Institui o Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 12 de dezembro de 1973. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 25 out 2002.

BRASIL. Lei nº 9933 de 20 de dezembro de 1999. Dispõe sobre as competências do Conmetro e do Inmetro, institui a Taxa de Serviços Metrológicos, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 20 de dezembro de 1999. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 28 out 2002.

CONSELHO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Resolução nº 11, de 12 de outubro de 1988**. Disponível em: < http://www.inmetro.gov.br/rtf/lista_regulamento.asp>. Acesso em: 17 jan 2003.

FOX, R. W.; MCDONALD, A. T. **Introdução à mecânica dos fluidos**. Tradução de Alexandre Matos de Souza Melo. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1992. 662 p. Título original: Introduction to fluid mechanics.

INMETRO. Apresenta a página oficial do Instituto e o sistema de consulta *on line* ao catálogo da Rede Brasileira de Calibração – RBC. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/laboratorios/rbc/>> Acesso em 04 jun. 2003.

INMETRO, DIRETORIA DE METROLOGIA LEGAL. **Ordem de serviço nº 006/Dimel, de 15 de abril de 2003.**

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **NIE/Dimel-013** Solicitação de aprovação de modelos de instrumentos de medição e medidas materializadas.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Portaria nº 58, de 21 de maio de 1997.** Dispõe sobre dispositivos e sistemas de medição de líquidos criogênicos. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/rtf/lista_regulamento.asp>. Acesso em: 15 jun 2003.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Portaria nº 114, de 16 de outubro de 1997.** Aprova 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. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/rtf/lista_regulamento.asp>. Acesso em: 15 jun 2003.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Portaria nº 210, de 04 de novembro de 1994.** Aprova alterações nas instruções relativas às condições a que devem satisfazer, nas aprovações de modelo, os seguintes medidores: a) Medidores de energia elétrica ativa de indução, monofásicos, classe2; b) Medidores de energia elétrica ativa de indução, polifásicos, classe 2. Revogação de itens do Regulamento Técnico de Hidrômetros taquimétricos para água fria. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/rtf/lista_regulamento.asp>. Acesso em: 15 jun 2003.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Portaria nº 236, de 22 de dezembro de 1994.**

Aprovação do Regulamento Técnico referente à fabricação, instalação e utilização de instrumentos de pesagem não automáticos. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/rtf/lista_regulamento.asp>. Acesso em: 15 jun 2003.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia**. 2 ed. Brasília, SENAI/DN, 2000. 75p.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Sistema internacional de unidades - SI**. 6 ed. Brasília, SENAI/DN, 2000. 114p.

INTERNATIONAL ORGANISATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 2715**: Liquid hydrocarbons – Volumetric measurement by turbine meter systems. Switzerland, 1981.

INTERNATIONAL ORGANIZATION OF LEGAL METROLOGY. **OIML R 81**: Dynamic measuring devices and systems for cryogenic liquids, France, 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION OF LEGAL METROLOGY. **OIML R 119**: Pipe provers for testing measuring systems for liquids other than water, France, 1996.

INTERNATIONAL ORGANIZATION OF LEGAL METROLOGY. **OIML D 11**: General requirements for electronic measuring instruments, France, 1994.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DE METROLOGIA LEGAL. **OIML R105**: Sistemas para medição de vazão mássica para quantidades de líquidos.

OIML. Apresenta a página oficial da OIML. Disponível em: <http://www.oiml.org>. Acesso em 30 jan 2003.

POBELL, F. **Matter and methods at low temperature**. 2. ed. Berlim: Verlag, 1996.

SHREVE, R. N.;BRINK JR, J. A. **Indústria de processos químicos**. Tradução de Horácio Macedo. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1977. 717 p. Título original: Industry of chemistry process.

Apêndice A
Tradução da OIML R 81 de 1998
(omitiu-se apenas a bibliografia)

OIML R 81 – Dispositivos e Sistemas de Medição Dinâmica de Líquidos Criogênicos

Conteúdo

Prefácio	63
SEÇÃO I – GERAL	
1 Escopo	64
2 Aplicação	64
3 Terminologia	64
4 Princípios da Recomendação	68
5 Unidades de medição	68
SEÇÃO II – REQUISITOS METROLÓGICOS	
6 Erro máximo admissível (ema)	68
7 Vazões em um sistema de medição ou medidor	69
8 Quantidade mínima mensurável	69
SEÇÃO III – REQUISITOS TÉCNICOS	
9 Dispositivos de indicação (indicadores)	69
10 Dispositivos de impressão (impressoras)	70
11 Sistemas de medição	71
12 Linhas de descarga e válvulas	72
13 Inscrições obrigatórias	73
SEÇÃO IV – SISTEMAS DE MEDIÇÃO EQUIPADOS COM DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS	
14 Sistemas de medição equipados com dispositivos eletrônicos	73
SEÇÃO V – CONTROLE METROLÓGICO	
15 Requisitos gerais	76
16 Condições de ensaio	82
Anexo A	Procedimentos de ensaio. Ensaios de desempenho – geral 83
Anexo B	Procedimentos de ensaio. Ensaios de desempenho – aplicável a equipamentos eletrônicos 85
Anexo C	Tabelas de massa específica para argônio, hélio, hidrogênio, nitrogênio e oxigênio 94

Prefácio

A Organização Internacional de Metrologia Legal (OIML) é uma organização intergovernamental mundial, cujo principal objetivo é harmonizar as regulamentações e controles metrológicos aplicados pelos serviços nacionais de metrologia ou organizações correlatas, de seus estados membros.

As duas principais categorias de publicações da OIML são:

- **Recomendações Internacionais (OIML R)**, que são modelos de regulamentações que estabelecem as características metrológicas dos instrumentos de medição e quais os métodos e equipamentos específicos para avaliar sua conformidade; os países membros da OIML devem implementar estas Recomendações na máxima extensão possível;
- **Documentos Internacionais (OIML D)**, que são de natureza informativa e objetivam a melhoria da execução dos serviços metrológicos.

Os projetos de Recomendações e Documentos OIML são desenvolvidos pelos comitês técnicos ou subcomitês compostos pelos Estados membros. Determinadas instituições internacionais e regionais também são consultadas.

Acordos de cooperação são estabelecidos entre a OIML e algumas instituições, tais como ISO e IEC, com o objetivo de evitar exigências contraditórias; consequentemente, fabricantes e usuários dos instrumentos de medição, laboratórios de ensaios, etc. podem utilizar simultaneamente publicações da OIML e destas outras instituições.

As Recomendações e os Documentos Internacionais são publicados em francês (F) e inglês (E), sendo submetidos a revisões periódicas.

Esta publicação - referência OIML R 81, edição 1998 (E) - foi desenvolvida pelo subcomitê TC 8/SC 6 *Medição de líquidos criogênicos*. Foi aprovada para publicação final pelo Comitê Internacional de Metrologia Legal em 1997 e será submetida à Conferência Internacional de Metrologia Legal em 2000 para sanção formal. Substitui a edição anterior de 1989.

As publicações da OIML podem ser obtidas na matriz da organização:

Bureau International de Métrologie Légale
11, rue Turgot - 75009 Paris - France
Telephone: 33 (0)1 48 78 12 82 and 42 85 27 11
Fax: 33 (0) 1 42 82 17 27
E-mail: biml@oiml.org

Dispositivos e sistemas de medição dinâmica de líquidos criogênicos

Seção I GERAL

1. Escopo

Esta Recomendação descreve os requisitos metrológicos e técnicos bem como os métodos de ensaio para dispositivos e sistemas de medição utilizados para medição dinâmica de líquidos criogênicos.

Esta Recomendação estabelece as condições que os dispositivos e sistemas de medição devem atender como requisitos para o controle metrológico.

2. Aplicação

2.1 Esta Recomendação se aplica aos dispositivos usados na medição de líquidos criogênicos, tais como, mas não limitado a, oxigênio, nitrogênio, hidrogênio e argônio. Em princípio, esta Recomendação é aplicável especificamente para medições quantitativas de líquidos criogênicos quer em instalações permanentes ou montados para uso em transportes e/ou outros vasos recipientes ou tanques.

2.2 Esta Recomendação não se aplica ao seguinte:

- Dispositivos usados para fornecimento gases liquefeitos de petróleo (ver OIML R 117 -1995- *Sistemas de medição para líquidos outros que água*);
- Medidores de vazão mássica (ver OIML R 105 - 1993- *Sistemas de medição de vazão mássica direta de líquidos*).

3. Terminologia

O vocabulário fornecido a seguir foi selecionado com termos frequentemente utilizados, relacionados a sistemas de medição de líquidos criogênicos.

3.1 Líquido criogênico

Fluido com ponto de ebulição menor que 120 K (-153 °C) sob condições de pressão atmosférica, que tenha sido liquefeito por refrigeração.

3.2 Ponto de ebulição normal

Temperatura na qual o líquido vaporiza ou entra em ebulição a pressão atmosférica de 101325 Pa.

3.3 Padrão de referência (ou trabalho)

Padrão, rastreável aos padrões nacional, utilizado para verificação dos dispositivos e sistemas de medição de líquidos criogênicos.

Nota: É usualmente referenciado como “medidor master” nesta área.

3.4 Sistema de medição

Sistema composto pelo medidor propriamente e todos os dispositivos auxiliares e outros equipamentos acoplados para conduzir a medição especificada.

3.5 Medidor

Instrumento destinado a medir continuamente, memorizar e indicar a quantidade de líquido que passa pelo transdutor de medição.

Nota: Um medidor deve ser constituído, pelo menos, por transdutor de medição, dispositivo calculador (incluindo dispositivos de ajuste e correção, se presentes), dispositivo de conversão (se necessário) e dispositivo indicador.

3.6 Transdutor de medição

Parte do medidor que transforma a vazão de líquido a ser medida em sinal(is) que é (são) enviado(s) ao dispositivo calculador. Pode ainda ser autônomo ou usar uma fonte externa de energia.

Nota: Para o propósito desta Recomendação, o transdutor de medição inclui o sensor de vazão ou volume.

3.7 Dispositivo calculador

Componente do medidor que recebe o sinal de saída do transdutor, o transforma, e, se apropriado, armazena os resultados na memória até serem usados. Além disso, o dispositivo calculador pode ter a capacidade de comunicação bilateral com equipamentos periféricos.

3.8 Dispositivo indicador

Parte do medidor que apresenta continuamente os resultados da medição.

Nota: Um dispositivo de impressão que fornece o resultado no final da medição não deve ser considerado um dispositivo indicador.

3.9 Dispositivo auxiliar

Dispositivo destinado a realizar uma função específica, diretamente envolvida na elaboração, memorização, transmissão ou exibição dos resultados da medição. Como exemplos, podem ser citados os dispositivos de impressão ou indicador remoto.

3.10 Dispositivo de correção

Dispositivo conectado ou incorporado ao medidor para correção automática do volume nas condições de medição, considerando a vazão e/ou as características do líquido a ser medido (viscosidade, temperatura, pressão, etc.) e curvas de calibração pré-estabelecidas.

As características do líquido podem, ainda, ser medidas com a utilização de instrumentos de medição associados, ou armazenadas em uma memória do instrumento.

3.11 Dispositivo de conversão

Dispositivo que converte automaticamente o volume mensurado nas condições de medição em volume nas condições de base ou na massa, considerando as características do líquido mensurado (temperatura, pressão, massa específica, densidade, etc.) utilizando instrumentos de medição associados ou valores associados armazenados em uma memória.

A razão entre o volume nas condições de base, ou a massa, e o volume nas condições de medição é referenciado como "fator de conversão".

3.12 Tipo mangueira vazia ou mangueira seca

Tipo de sistema no qual a mangueira de descarga é drenada após cada entrega.

3.13 Quantidade mínima mensurável de um sistema de medição

Menor volume de líquido para qual a medição atende as características metrológicas estabelecidas nas exigências regulamentadas.

Nota: Nos sistemas de medição destinados ao fornecimento, esta quantidade é chamada de fornecimento mínimo e nos sistemas destinados às operações de recebimento, é chamada de recebimento mínimo.

3.14 Intervalo de escala

Diferença entre valores de escala correspondentes a duas marcas de escala sucessivas.

3.15 Dispositivo de pré-determinação

Dispositivo que permite selecionar a quantidade a ser mensurada e que automaticamente interrompe o escoamento do líquido no final da medição da quantidade selecionada.

3.16 Condições de medição

Condições do volume de líquido no ponto de medição. Por exemplo, temperatura e pressão.

3.17 Condições de base

Condições especificadas de temperatura e pressão para as quais o volume mensurado é convertido.

Nota: Ainda que o termo "condições de referência" seja frequentemente utilizado no lugar de "condições de base", condições de medição e de base (que se referem apenas ao volume de líquido a ser medido ou indicado), não devem ser confundidas com as "condições de operação especificadas" e "condições de referência" que se referem às grandezas de influência.

3.18 Ponto de transferência

Ponto onde a quantidade de líquido medida é definida como sendo fornecida ou recebida.

3.19 Repetitividade

Aptidão de um sistema de medição em fornecer indicações muito próximas, em repetidas aplicações do mesmo mensurando, sob as mesmas condições de medição. [VIM 5.27]

3.20 Erro intrínseco

Erro de um sistema de medição utilizado nas condições de referência.

3.21 Erro intrínseco inicial

Erro intrínseco do instrumento determinado antes dos ensaios de desempenho.

3.22 Incerteza na determinação de um erro

Estimativa que caracteriza uma amplitude de valores onde o valor verdadeiro se encontra, incluindo componentes devido aos padrões e seu uso e componentes

devidos ao próprio instrumento verificado ou calibrado.

Nota: As componentes referentes ao medidor verificado ou calibrado são notavelmente relacionadas à resolução do dispositivo de indicação e à variação periódica.

3.23 Falha*

Diferença entre o erro de indicação e o erro intrínseco de um sistema de medição.

3.24 Falha significativa*

Falha de magnitude maior que 20% do erro máximo admissível (ema) para a grandeza medida.

Os tópicos seguintes não são considerados falhas significativas:

- falhas resultantes de causas simultâneas e mutuamente independentes do próprio instrumento de medição ou nos seus sistemas de monitoramento;
- falhas transitórias sendo variações momentâneas na indicação, as quais não podem ser interpretadas, memorizadas ou transmitidas como um resultado de medição;
- falhas implicando a impossibilidade de desempenho de qualquer medição.

3.25 Grandeza de influência*

Grandeza que não é o mensurando, mas que afeta o resultado da medição deste [VIM 2.7].

3.26 Fator de influência

Grandeza de influência que apresenta um valor dentro das condições de operação do sistema de medição, conforme especificado nesta Recomendação.

3.27 Perturbação

Grandeza de influência que apresenta um valor dentro dos limites especificados nesta Recomendação, mas fora das condições de operação especificadas para o sistema de medição.

3.28 Condições de operação especificadas*

Condições de uso, especificando a faixa de valores das grandezas de influência para as quais as características metrológicas devem estar dentro dos limites de erro máximo admissível.

3.29 Sistema de monitoramento automático permanente (tipo P)*

Sistema de monitoramento automático que funciona durante toda a operação de medição.

3.30 Sistema de monitoramento automático intermitente (tipo I)*

Sistema automático que funciona pelo menos uma vez, no início ou no fim de cada operação de medição.

3.31 Sistema de monitoramento não automático (tipo N)*

Sistema de monitoramento que requer a intervenção do operador.

* As definições marcadas são relevantes apenas para sistemas de medição eletrônicos.

3.32 Condições de referência

Valores especificados de fatores de influência para assegurar intercomparações válidas dos resultados de medição.

3.33 Ensaio de desempenho

Ensaio destinado a verificar se o sistema de medição sob ensaio (ESE) é capaz de efetuar as funções pretendidas.

3.34 Indicação principal

Indicação (exibida, impressa ou armazenada) que esteja submetida ao controle metrológico.

Nota: Outras indicações diferentes da principal são normalmente chamadas de secundárias.

3.35 Venda direta ao público

Transação (compra ou venda) comercial cuja conclusão está associada a indicações fornecidas por um sistema de medição, ao qual as partes têm acesso, sendo uma delas o consumidor.

Nota: O consumidor pode ser qualquer pessoa. Geralmente, o consumidor é o comprador, mas também pode ser o vendedor.

4. Princípios da Recomendação

A determinação da exatidão dos dispositivos e sistemas de medição avaliados por esta Recomendação está baseada no uso de método gravimétrico ou na utilização de um medidor padrão.

5. Unidades de Medição

5.1 Os resultados de medição podem ser indicados em termos de:

- massa;
- volume do líquido no ponto de ebulição normal; ou
- gás equivalente ao volume de líquido nas condições de base.

As unidades indicadas e registradas devem ser o quilograma, metro cúbico ou litro, múltiplos decimais ou submúltiplos destes.

5.2 Os valores de massa específica apresentados nas “tabelas de massa específica para líquidos criogênicos” (ver Anexo C) devem ser usados para conversões entre volume e massa de argônio, hélio, hidrogênio, nitrogênio e oxigênio líquidos. Para outros líquidos criogênicos, devem ser usadas tabelas aplicáveis sob autorização das autoridades nacionais de metrologia legal.

Seção II REQUISITOS METROLÓGICOS

6. Erro máximo admissível (ema)

6.1 Para aprovação de modelo de um sistema de medição, o ema é $\pm 2,5$ % da quantidade mensurada.

6.2 Para aprovação de modelo de um medidor (3.5), o erro é $\pm 1,5\%$ da quantidade mensurada.

6.3 Para aprovação de modelo de componentes, o erro é:

- | | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 6.3.1 Sensor de temperatura: | $\pm 1\text{K}$; |
| 6.3.2 Sensor de pressão: | $\pm 50\text{ kPa}$; |
| 6.3.3 Sensor de massa específica: | $\pm 5\text{ kg/m}^3$; |
| 6.3.4 Transdutor de medição (3.6) | $\pm 1\%$ da quantidade mensurada; |
| 6.3.5 Dispositivo calculador (3.7) | $\pm 0,25\%$ da quantidade calculada; |
| 6.3.6 Dispositivo de conversão (3.11) | $\pm 1\%$ da quantidade convertida. |

6.4 Para verificação inicial ou periódica de um sistema de medição, sob condições de serviço, o erro é igual a $\pm 2,5\%$ da quantidade mensurada.

6.5 Repetitividade (3.19). A diferença entre o maior e o menor resultado de medições sucessivas não deve ser maior que 1% da quantidade mensurada.

7. Vazões em um sistema de medição ou medidor

7.1 As vazões máxima e mínima autorizadas para um sistema de medição devem ser especificadas pelo fabricante.

7.2 A razão entre as vazões máxima e mínima de um medidor deve ser no mínimo igual a 5.

8. Quantidade mínima mensurável

8.1 A quantidade mínima mensurável por um sistema de medição deve ser especificada pelo fabricante.

8.2 A quantidade mínima mensurável não deve ser inferior a 100 intervalos de escala.

8.3 O valor da quantidade mínima mensurável deve ser na forma 1×10^n , 2×10^n ou 5×10^n em unidades autorizadas, sendo n um número inteiro positivo ou negativo ou zero.

Seção III REQUISITOS TÉCNICOS

9. Dispositivos de indicação (indicadores)

9.1 Provisões gerais

Indicações devem ser dadas em unidades legais conforme descrito em 5.1 e devem estar acompanhadas do nome ou símbolo da unidade. Indicações que não estão sujeitas ao controle metrológico são permitidas desde que não possam ser confundidas com informações metrológicas.

A leitura das indicações deve ser exata, fácil e não-ambígua quando o dispositivo de indicação for desligado. Se o dispositivo de indicação compreende

vários elementos, a instalação deve ser de tal modo que as leituras do mensurando possam ser efetuadas pela simples justaposição dos diferentes elementos.

9.1.1 O intervalo de escala da indicação deve ser na forma de 1×10^n , 2×10^n ou 5×10^n em unidades autorizadas, sendo n um número inteiro positivo ou negativo ou zero.

9.1.2 As unidades especificadas no subitem 5.1 devem ser claramente definidas.

9.1.3 A marca decimal deve aparecer distintamente.

9.2 Dispositivo de retorno ao zero

9.2.1 Um dispositivo de indicação pode ser provido com um dispositivo que retorna a indicação a zero por operação manual ou por meios automáticos.

9.2.2 O dispositivo de retorno ao zero não deve permitir qualquer alteração do resultado de medição mostrado pelo indicador (cabendo apenas o desaparecimento do resultado e a substituição por zeros).

9.2.3 Uma vez que se tenha iniciado a operação de retorno ao zero deverá ser impossível para o indicador mostrar um resultado diferente da última medição realizada, até que a operação de retorno ao zero tenha sido terminada.

Dispositivos de indicação não devem ser capazes de retornar ao zero durante a medição.

9.3 Indicador de totalização

Um indicador com dispositivo de retorno ao zero pode ser equipado com um dispositivo para totalização das diferentes quantidades mostradas sucessivamente pelo indicador.

Nota: O indicador de totalização não deve ter retorno ao zero.

10. Dispositivos de impressão (impressoras)

10.1 Um dispositivo de impressão pode ser conectado ao indicador.

10.2 O intervalo de escala impresso deve ser o mesmo exibido pelo indicador.

10.3 A quantidade impressa pode ser expressa em uma das unidades autorizadas para o indicador. A unidade utilizada ou seu símbolo e marcas decimais, se presentes, devem estar indicadas no meio impresso. As quantidades impressas devem ser adequadas e claramente definidas.

10.4 O dispositivo de impressão pode imprimir outra informação relativa à medição, tal qual número de série, data, local, tipo de líquido, etc.

10.5 Se uma impressora permite repetição da impressão antes do início de uma nova medição, as cópias devem ser claramente identificadas como, por exemplo, com a inscrição "duplicata".

10.6 Para qualquer quantidade, os valores impressos devem ser os mesmos que os indicados.

10.7 Talão impresso. No caso de uma indicação de volume, o talão deve estar impresso nas condições de base em termos do gás ou líquido.

11. Sistemas de medição

11.1 Manutenção do estado líquido

Um sistema de medição deve ser projetado e operado de forma que o produto sendo medido permaneça no estado líquido durante a passagem através do medidor.

11.2 Mecanismos de ajuste

11.2.1 Medidores devem ser providos com mecanismos que permitam ajuste da razão entre a quantidade indicada e a quantidade real de líquido que tenha passado através do dispositivo de medição.

11.2.2 Se os mecanismos de ajuste modificam esta razão de maneira descontínua, valores consecutivos da razão não devem diferir mais que 0,002.

11.2.3 Ajustes através de mecanismos de contorno no dispositivo de medição são proibidos.

11.3 Selagem

Mecanismos de selagem devem ser fornecidos para as partes que possam afetar a exatidão da medição e para os parâmetros (ex. correção e conversão) que possam afetar os resultados da medição.

11.3.1 Selagem mecânica

Selagem mecânica deve ser executada por selos de chumbo, presos com arame ou outro dispositivo igualmente eficaz.

11.3.2 Selagem eletrônica

Quando o acesso aos parâmetros que afetam a determinação dos resultados da medição não for protegido por dispositivo de selagem mecânica, a proteção deve satisfazer às seguintes exigências:

- o acesso somente poderá ser possível por dispositivo tal qual código alfa numérico ou chave;
- um contador eventual (000-999) deverá ser fornecido para indicar quais intervenções foram feitas.

Nota: Os dispositivos de selagem eletrônica devem possuir um mecanismo para identificar se ocorreu uma intervenção e por quem. O organismo nacional responsável pode requerer tais mecanismos como o uso de rótulos ou um “logger” eventual que inclui um contador eventual, data e horário da intervenção, e a identidade e valor do parâmetro modificado.

11.4 Dispositivos de memória

11.4.1 Sistemas de medição podem ser providos de um dispositivo de memória para armazenar os resultados da medição até que estes sejam utilizados ou para

manter um histórico de transações comerciais, fornecendo provas em caso de divergência. Dispositivos utilizados para ler informações armazenadas são considerados como pertencentes aos dispositivos de memória.

11.4.2 O meio no qual os dados são armazenados devem ter permanência suficiente para garantir que os dados não são corrompidos sob condições normais de armazenagem.

11.4.3 Quando o dispositivo de armazenagem tiver sua capacidade alcançada, os dados armazenados poderão ser apagados desde que as condições seguintes sejam satisfeitas:

- as regras estabelecidas para a aplicação particular sejam respeitadas;
- dados devem ser apagados na mesma ordem que foram registrados e
- o ato de apagar somente será conduzido após uma operação manual específica.

11.4.4 A memorização deve ser de tal forma que seja impossível, em condições normais de uso, modificar valores armazenados.

12. Linhas de descarga e válvulas

12.1 Linhas de retorno de vapor

Uma linha de retorno de vapor entre o tanque do fornecedor e o tanque do cliente não deve ser permitida, ao menos que necessária para completar a entrega do produto.

12.2 Válvula de direcionamento de fluxo

Válvula(s) ou outros meios para prevenir o retorno do fluxo, que sejam de operação automática devem ser instalados no lado de fora do medidor ou na linha interna do tanque de recebimento.

12.3 Desvio do líquido medido

Quaisquer meios capazes de desviar o líquido medido do elemento de medição ou linha de descarga não devem ser utilizados. Todavia, uma saída manualmente controlada que possa ser aberta para purgar ou drenar o sistema de medição será permitido. Mecanismos efetivos devem ser fornecidos para prevenir a passagem de líquido através de qualquer tipo de abertura durante a operação normal do sistema de medição.

12.4 Ponto de transferência

12.4.1 Os sistemas de medição devem ter um ponto de transferência. Este ponto de transferência deve estar localizado à jusante do medidor na unidade de entrega e à montante do medidor na unidade de recebimento.

12.4.2 Este ponto de transferência pode ter a forma de um dispositivo fechado, combinado com um sistema que garanta o esvaziamento da mangueira de descarga após cada operação de medição.

12.5 Válvulas e mecanismos de controle

Válvulas de inspeção e mecanismos de fechamento não utilizados para definir a quantidade de medição devem, se necessário, ter válvulas de alívio a fim de dissipar pressões anormalmente altas, que podem surgir no sistema de medição.

12.6 Mangueira de descarga

A mangueira de descarga do sistema de medição deve ser do tipo mangueira seca.

13. Inscrições Obrigatórias

Um sistema de medição deve ser legível e claramente marcado com as seguintes informações:

- marca de aprovação de modelo;
- nome do fabricante ou marca registrada;
- classe de exatidão (designação selecionada pelo fabricante), se apropriado;
- número de série e ano de fabricação;
- vazões máxima e mínima ($Q_{\text{máx}}$ e $Q_{\text{mín}}$);
- pressão máxima ($P_{\text{máx}}$);
- temperaturas máxima e mínima ($T_{\text{máx}}$ e $T_{\text{mín}}$);
- quantidade mínima mensurável

Seção IV

SISTEMAS DE MEDIÇÃO EQUIPADOS COM DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS

14. Sistemas de medição equipados com dispositivos eletrônicos

14.1 Requisitos Gerais

14.1.1 Sistemas de medição eletrônicos devem ser projetados e fabricados de modo que os erros não excedam os erros máximos admissíveis definidos no item 6 sobre condições de operação especificadas.

14.1.1.1 Sistemas de medição eletrônicos interruptivos devem ser projetados e fabricados de modo que, quando expostos a distúrbios especificados em B.4:

- a) não apresentem falhas significativas, ou
- b) as falhas significativas são detectadas e sofrem a atuação dos sistemas de monitoramento das instalações. Isto se pode aplicar separadamente a cada causa individual de falha significativa e/ou a cada parte do sistema de medição.

14.1.1.2 Sistemas de medição eletrônicos não interruptivos devem ser projetados e fabricados de tal maneira que, nenhuma falha significativa ocorra quando expostos aos distúrbios especificados em B.4.

14.1.2 É responsabilidade do fabricante decidir se um dado modelo de sistema de medição é interruptivo ou não interruptivo, considerando as regras de aplicação e segurança.

14.1.2.1 Sistemas de medição para venda direta ao público devem ser interruptivos. Quando, na ocasião da aprovação de modelo, não for possível

especificar a utilização futura do instrumento, os requisitos no subitem 14.1.1.2 são aplicáveis.

14.1.3 Sistemas de medição eletrônicos devem ser providos com os sistemas de monitoramento especificadas no subitem 14.3.

14.1.4 Considera-se que um modelo de sistema de medição atende aos requisitos dos subitens 14.1.1 e 14.1.3 se este for aprovado na inspeção e ensaios especificados no subitem 15.1.10.

14.1.5 Quando uma falha significativa ocorre, sistemas de medição devem permitir a segurança da informação, relacionada à quantidade mensurada, que é contida pelo sistema de medição.

14.2 Dispositivo de fornecimento de energia

Quando o escoamento for interrompido durante uma falha do dispositivo principal de fornecimento de energia:

- o sistema de medição deve ser provido de um dispositivo de fornecimento de energia emergencial para garantir a preservação de todas as funções de medição durante a falha, ou
- os dados contidos no momento da falha devem se salvos e exibidos, no momento do retorno da energia, em um dispositivo indicador sujeito ao controle metrológico, por um período suficiente que permita a conclusão da transação corrente.

O valor absoluto do erro máximo admissível para o volume indicado neste caso é acrescido de 5% da quantidade mínima mensurada (subitem 8.1).

14.3 Sistemas de monitoramento

Os sistemas de monitoramento podem ser permanentes automáticos (Tipo P), intermitentes automáticos (Tipo I) ou não automáticos (Tipo N), conforme apropriado.

14.3.1 Atuação dos sistemas de monitoramento

A detecção de falhas significativas pelos sistemas de monitoramento deve resultar nas seguintes ações, de acordo com o tipo:

14.3.1.1 Sistemas de monitoramento tipo I ou P

a) para sistemas de medição não interruptivos (tal qual em tubulações):

- correção automática da falha, ou
- interrupção do funcionamento apenas do dispositivo defeituoso, desde que o sistema de medição, sem o mesmo, continue a atender a esta Recomendação, ou
- um alarme visível ou audível para o operador, que deve durar até que a causa do alarme seja suprimida. Adicionalmente, quando o sistema de medição transmite dados a equipamentos periféricos, esta transmissão deve ser acompanhada de mensagem indicando a presença de falha.

Nota: O último ponto apresentado acima não é aplicável para o caso de perturbações especificadas em B.4.

Em adição, o instrumento pode ser provido com dispositivos para estimar a quantidade de líquido que escoou através da instalação durante a ocorrência da

falha. O resultado desta estimativa não pode ser capaz de introduzir erro a um a indicação válida.

b) para sistemas de medição interruptivos:

- correção automática da falha, ou
- interrupção do funcionamento apenas do dispositivo defeituoso, desde que o sistema de medição, sem o mesmo, continue a atender a esta Recomendação, ou
- interrupção do fluxo.

14.3.2 Sistemas de monitoramento para o transdutor de medição

O objetivo destes sistemas de monitoramento após o transdutor, é para verificar sua correta operação e a veracidade dos dados transmitidos.

Para todas as tecnologias, os sistemas de monitoramento devem fornecer um nível de segurança equivalente a ISO 6551 parte 3 – Níveis de Segurança, 3.1.4 – Nível B, exceto para os equipamentos com comprimento de cabo menor ou igual a 3 metros, para os quais 3.1.3 Nível C é aplicável.

Nota: Este requisito pode ser satisfeito sem a geração de dois pulsos.

14.3.3 Sistemas de monitoramento para o dispositivo calculador (Tipo P ou I)

O objetivo destes sistemas de monitoramento é verificar se o dispositivo calculador funciona corretamente e garantir a validade dos cálculos executados.

Não há mecanismos especiais requeridos para a indicação de que estes sistemas de monitoramento funcionam corretamente.

Os valores corretos de todos os dados relacionados a medição devem ser verificados pelo instrumento toda vez que estes dados forem transmitidos a um dispositivo auxiliar através de uma interface.

Adicionalmente, o sistema calculador deve ser provido de mecanismos para controlar a continuidade do programa de cálculo.

14.3.4 Sistema de monitoramento para o dispositivo de indicação (tipo N)

O objetivo deste sistema de monitoramento é confirmar se as indicações principais são mostradas e correspondem aos dados fornecidos pelo calculador.

Adicionalmente, permite a verificação da presença dos dispositivos indicadores, quando eles são removíveis.

O sistema de monitoramento para o dispositivo indicador deve incluir, pelo menos uma verificação visual do mostrador, conforme a seguir:

- exibindo todos os elementos (teste dos “oitos”);
- apagando todos os elementos (teste em “branco”);
- mostrando “zeros”

Cada passo da seqüência deve ser finalizado no mínimo em 0,75 segundos.

Nota: O sinal produzido deve ter origem no calculador.

14.3.5 Sistema de monitoramento para um dispositivo auxiliar

Qualquer dispositivo auxiliar com indicações principais deve incluir um sistema de monitoramento tipo I ou P. O objetivo destes sistemas é verificar a presença do dispositivo auxiliar, quando este for um dispositivo necessário, e validar os dados transmitidos pelo calculador.

O objetivo do monitoramento de um dispositivo de impressão é assegurar que a função de controle da impressão é tal que a saída corresponde aos dados transmitidos pelo computador. A presença de papel também deve ser observada.

Onde a ação do sistema de monitoramento for um aviso, este deve ser dado pelo dispositivo auxiliar que está na origem.

14.3.6 Sistemas de monitoramento para instrumentos de medição associados

Instrumentos de medição associados devem incluir sistema de monitoramento do tipo P. O objetivo deste sistema de monitoramento é garantir que o sinal dado por estes instrumentos associados está dentro de uma faixa de medição pré-determinada.

Seção V **CONTROLE METROLÓGICO**

15. Requisitos gerais

A incerteza expandida, U (para um fator de abrangência $k=2$) para o padrão de referência (incluindo seu dispositivo indicador), deve ser menor que $1/5$ do erro máximo admissível aplicável ao sistema sob ensaio para aprovação de modelo e deve ser menor que $1/3$ do erro máximo admissível aplicável ao sistema de medição sob ensaio para outras verificações (Ver Guia de Expressão da Incerteza de Medição, 1995)

Os padrões de referência e sua utilização podem ser sujeitos a outras Recomendações Internacionais.

15.1 Aprovação de modelo

15.1.1 Geral

Sistemas de medição sujeitos ao controle metrológico devem ser submetidos a aprovação de modelo. Adicionalmente, os elementos constituintes de um sistema de medição, principalmente, mas não limitados àqueles listados abaixo, e subsistemas que podem incluir mais de um desses elementos, podem estar sujeitos a aprovação de modelo em separado:

- transdutor;
- medidor;
- computador eletrônico (incluindo o dispositivo indicador);
- dispositivo de conversão;
- dispositivos para fornecimento ou memorização de resultados de medição;
- impressora;
- sensor de temperatura;
- sensor de pressão;
- sensor de massa específica.

15.1.2 Documentação

15.1.2.1 O proponente da aprovação de modelo de um sistema de medição ou de um elemento constituinte de um sistema de medição deve apresentar os seguintes documentos:

- descrição contendo as características técnicas e o princípio de operação;
- desenho ou fotografia;

- lista dos componentes com a descrição dos materiais constituintes. Quando houver uma influência metrológica, um desenho esquemático com a identificação dos diferentes componentes, para os sistemas de medição, as referências das Portarias de aprovação dos elementos constituintes, se existentes, para os sistemas de medição e medidores acoplados com dispositivos de correção, uma descrição da maneira como os parâmetros de correção são determinados.

- esquema mostrando os pontos de selagem e marcas de verificação;
- esquema das marcações regulamentadas.

15.1.2.2 Adicionalmente, o interessado pela aprovação de modelo para um sistema de medição eletrônico deve incluir:

- descrição funcional dos vários dispositivos eletrônicos;
- diagrama de fluxo da lógica, mostrando os dispositivos eletrônicos;
- qualquer documento ou evidência que demonstre que o projeto e construção do sistema de medição eletrônico atende aos requisitos desta Recomendação.

15.1.2.3 O interessado deve fornecer ao organismo responsável pela avaliação um instrumento representativo do modelo final.

15.1.3 Portaria de aprovação de modelo

As seguintes informações devem estar contidas na portaria de aprovação de modelo:

- nome e endereço do interessado na Portaria de aprovação;
- nome e endereço do fabricante, caso seja diferente do interessado;
- tipo e/ou designação comercial;
- características técnicas e metrológicas;
- marca de aprovação de modelo;
- prazo de validade;
- classificação ambiental, se aplicável (ver anexo A);
- informação do local da marca de aprovação de modelo, verificação inicial e plano de selagem (por exemplo, figura ou desenho);
- lista de documentos que acompanham a Portaria de aprovação de modelo;
- marcações específicas.

Quando aplicável, a versão da parte metrológica do software avaliado deve ser indicado na Portaria de aprovação de modelo ou em seus anexos (arquivo técnico).

15.1.4 Modificação de um modelo aprovado

15.1.4.1 O interessado na aprovação do modelo deve informar ao organismo responsável pela aprovação quaisquer modificações ou adições que competem ao modelo aprovado.

15.1.4.2 Modificações e adições devem ser submetidas a aprovação de modelo suplementar, quando influenciam, ou podem influenciar, os resultados da medição ou as condições regulamentadas para o uso do instrumento.

O organismo tendo aprovado o modelo inicial poderá decidir qual a extensão da avaliação e ensaios, conforme descritos posteriormente, deverão ser conduzidos no modelo modificado em relação à natureza da modificação.

15.1.4.3 Quando o organismo tendo aprovado o modelo inicial julgar que as modificações ou adições são tais que não influenciam os resultados da medição, este organismo pode permitir que os instrumentos modificados sejam apresentados a verificação inicial sem a necessidade de uma Portaria de aprovação de modelo suplementar.

Uma nova aprovação de modelo deve ser realizada quando o modelo modificado não corresponder às características do modelo previamente aprovado.

15.1.5 Aprovação de modelo de um medidor ou transdutor de medição

15.1.5.1 A aprovação de modelo pode ser feita para o medidor (3.5). Pode também ser feita para o transdutor de medição (conforme definido em 3.6) separadamente quando este se destina a ser conectado a diferentes tipos de calculadores.

Os exames e ensaios seguintes poderão ser conduzidos para o medidor sozinho ou para o transdutor de medição quando sujeito a aprovação de modelo separadamente. Também podem ser realizados para todo o sistema de medição.

Normalmente, os ensaios são realizados no medidor completo, acoplado a um dispositivo indicador, com todos os dispositivos auxiliares e um dispositivo de correção, se presente.

Contudo, o medidor submetido a ensaio não necessita estar acoplado a seus dispositivos auxiliares quando estes não influenciam a exatidão do medidor e quando tais dispositivos tenham sido verificados separadamente (por exemplo: dispositivo de impressão eletrônico). O transdutor de medição pode também ser ensaiado isoladamente, desde que fornecidos os dispositivos computadores e indicadores, submetidos a aprovação de modelo separadamente. Caso pretenda-se conectar este transdutor de medição a um computador com dispositivo de correção, o algoritmo de correção, conforme descrito pelo fabricante deve ser aplicado ao sinal de saída do transdutor para determinar os seus erros.

15.1.5.2 Ensaios para erro máximo

15.1.5.2.1 Os erros do medidor devem ser determinados em pelo menos 6 vazões (por exemplo, $Q_{\text{máx}}$, 80% $Q_{\text{máx}}$, 70% $Q_{\text{máx}}$, 50% $Q_{\text{máx}}$, 40% $Q_{\text{máx}}$, e em $Q_{\text{mín}}$), distribuídas por toda a amplitude de medição em intervalos regulares. Para cada vazão os erros devem ser determinados pelo menos três vezes, independentemente. Cada erro não pode ser maior que o erro máximo admissível (em valor absoluto), conforme especificado em 6.2. A repetitividade deve atender aos requisitos de 6.5.

15.1.5.2.2 Os ensaios seguintes também devem ser realizados:

- ensaios para o erro máximo (15.1.5.2.1) na quantidade mínima mensurada, se viável;
- ensaios com perturbações no escoamento, caso apropriado.

15.1.5.3 Ensaio de desgaste

Um ensaio de desgaste deve ser realizado na vazão máxima do medidor, com o líquido que este se destina a medir ou outro de características similares.

Quando o medidor destina-se a diferentes líquidos, os ensaios devem ser realizados com o líquido que proporciona as condições mais severas.

Um ensaio de exatidão deve preceder o ensaio de desgaste.

O ensaio de desgaste deve ser realizado de acordo com A.1.5.

Após o ensaio de desgaste, o medidor deve ser novamente submetido a um ensaio de exatidão.

15.1.6 Aprovação de modelo de um calculador eletrônico

Quando um calculador eletrônico é submetido a aprovação de modelo separadamente, ensaios são realizados no próprio calculador, simulando diferentes entradas com padrões apropriados. Para este propósito, o erro obtido na indicação do resultado é calculado considerando que o valor verdadeiro é computado com os métodos padrões de cálculo utilizando as quantidades simuladas aplicadas às entradas do calculador.

15.1.7 Aprovação de modelo de um dispositivo de conversão

Quando um dispositivo de conversão é submetido a aprovação de modelo separadamente, os procedimentos especificados em 15.1.7.1 ou 15.1.7.2 devem ser usados.

15.1.7.1 Caso geral

É necessário verificar se o dispositivo de conversão conectado a todos os seus instrumentos de medição associados atende ao estabelecido em 6.3.6. Para este propósito, o volume a ser convertido é considerado sem erros nas condições de medição. No caso de um dispositivo de conversão eletrônico, é necessário realizar a avaliação e ensaios descritos em 15.1.10.

15.1.7.2 Dispositivo de conversão eletrônico

No lugar do procedimento em 15.1.7.1, também é possível:

- verificar separadamente a exatidão de instrumentos de medição associados (ver 6.3.1, 6.3.2 e 6.3.3);
- verificar se o estabelecido em 15.1.6 é atendido; e
- proceder a avaliação e ensaios descritos em 15.1.10.

15.1.8 Aprovação de modelo de um dispositivo auxiliar

15.1.8.1 Quando um dispositivo auxiliar que fornece indicações primárias é destinado a aprovação separadamente, suas indicações devem ser comparadas com as indicações fornecidas por um dispositivo indicador já aprovado tendo o mesmo intervalo de escala ou inferior.

Para qualquer grandeza medida relacionada à mesma medição, as indicações fornecidas por vários dispositivos não devem desviar umas das outras.

De acordo com o possível, as condições necessárias para compatibilidade com outros dispositivos de um sistema de medição são estabelecidas na Portaria de aprovação de modelo.

15.1.8.2 Dispositivos eletrônicos podem ser aprovados separadamente quando são utilizados para transmissão de indicações principais ou outra informação necessária a determinação das indicações principais. Por exemplo, um dispositivo que concentra informação de dois ou mais calculadores e transmite a um único dispositivo de impressão.

Quando pelo menos um dos sinais da informação da indicação principal é analógico, o dispositivo deve ser ensaiado associado com outro dispositivo para o qual esta Recomendação fornece os erros máximos admissíveis.

Quando todos os sinais da indicação principal forem digitais, as instruções acima podem ser aplicadas. Contudo quando as entradas e saídas do dispositivo estiverem disponíveis, este pode ser ensaiado separadamente; neste caso, somente erros devido aos métodos de ensaio são seguidos e o dispositivo não deve apresentar nenhum outro erro.

Em ambos os casos e de acordo com o possível, as condições necessárias para compatibilidade com outros dispositivos de um sistema de medição são estabelecidos na Portaria de aprovação de modelo.

15.1.9 Aprovação de modelo de um sistema de medição

A aprovação de modelo de um sistema de medição consiste na verificação de que o sistema de medição, o medidor e os elementos constituintes atendem aos requisitos correspondentes e que os elementos constituintes são compatíveis uns com outros.

Para o medidor é possível verificar que seus próprios elementos constituintes atendem aos requisitos estabelecidos e que são compatíveis entre si.

Os ensaios realizados para a aprovação de modelo de um sistema de medição podem ser determinados tendo como base aprovações de modelos já outorgadas para os elementos constituintes do sistema.

Nota: Elementos constituintes podem ser submetidos à aprovação de modelo separadamente quando estes estão destinados a integrar vários modelos de sistemas de medição. Isto é uma vantagem quando os diversos sistemas de medição são produzidos por diferentes fabricantes e quando os organismos responsáveis pelas aprovações de modelo são diferentes.

15.1.10 Aprovação de modelo de um dispositivo eletrônico

Adicionalmente às avaliações e ensaios que resultam dos parágrafos precedentes, um sistema de medição eletrônico ou um elemento constituinte deste sistema devem ser submetidos aos ensaios seguintes.

15.1.10.1 Inspeção de projeto

Esta avaliação dos documentos pretende verificar se o projeto dos dispositivos eletrônicos e seus sistemas de monitoramento atendem aos requisitos estabelecidos nesta Recomendação. Isto inclui:

- exame do modo de construção e dos subsistemas e componentes eletrônicos utilizados para verificar a apropriação para o uso pretendido;
- admitindo que falhas podem ocorrer, verificar se em todos os casos considerados estes dispositivos atendem ao previsto no subitem 14.3;
- verificação da presença e efetividade de dispositivo(s) de ensaio para os sistemas de monitoramento.

15.1.10.2 Ensaios de desempenho

Estes ensaios objetivam verificar se o sistema de medição corresponde ao estabelecido no subitem 14.1.1 quanto às grandezas de influência. Estes ensaios estão especificados no Anexo B.

a) Desempenho sob efeito de fatores de influência

Quando submetidos ao efeito de fatores de influência conforme estabelecido pelo Anexo, o equipamento deve continuar a operar corretamente e os erros não devem exceder aos erros máximos admissíveis.

b) Desempenho sob efeito de perturbações

Quando submetido a perturbações externas conforme estabelecido pelo Anexo, o equipamento deve continuar a operar corretamente ou detectar e indicar a presença de qualquer falha significativa. Falhas significativas não devem ocorrer em sistemas de medição não interruptivos.

15.1.10.3 Equipamento sob ensaio (ESE)

Os ensaios devem ser realizados no sistema de medição completo desde que as dimensões e a configuração permitam, exceto quando houver outra recomendação prevista no Anexo.

Caso contrário, dispositivos eletrônicos devem ser submetidos a ensaios separadamente, de forma que o equipamento possua pelo menos os dispositivos seguintes:

- transdutor de medição;
- calculador;
- dispositivo de indicação;
- dispositivo de fornecimento de energia;
- dispositivo de correção, se apropriado.

Este equipamento deve ser submetido a uma simulação representativa da operação normal do sistema de medição. Por exemplo, o movimento do líquido pode ser simulado por um dispositivo apropriado.

O calculador deve estar em seu compartimento final.

Em todos os casos, equipamentos periféricos podem ser ensaiados separadamente.

15.2 Verificação inicial

15.2.1 Geral

Verificação inicial de um sistema de medição:

- é realizada em um único estágio quando o sistema pode ser transportado sem ser desmontado e quando é verificado nas condições de utilização.

- é realizada em dois estágios em todos os outros casos.

Primeiro estágio: abrange o sensor de fluxo, propriamente ou acoplado com seus dispositivos auxiliares, ou possivelmente incluído em um subsistema. O primeiro estágio de ensaios pode ser realizado em uma bancada de ensaio, possivelmente nas dependências do fabricante, ou no sistema de medição instalado. Neste estágio, as avaliações metrológicas podem ser realizadas com líquidos diferentes dos que o sistema se destina a medir.

O primeiro estágio também compreende o calculador e o sensor de massa específica notavelmente. Se necessário, o transdutor de medição e o calculador podem ser verificados separadamente.

Segundo estágio: compreende o sistema de medição sob condições reais de trabalho. É realizado no local de instalação, nas condições de operação e com o líquido o qual se destina a medir. Contudo, o segundo estágio pode ser realizado em local designado pelo organismo responsável pela verificação caso o sistema de medição possa ser transportado sem ser desmontado e desde que os ensaios possam ser desenvolvidos nas condições de operação pretendidas para o sistema de medição.

A verificação inicial de sistemas eletrônicos deve incluir um procedimento para verificar a presença e a correta operação dos sistemas de monitoramento pelo uso dos dispositivos de ensaio conforme especificado no subitem 14.3.

15.2.2 Ensaaios

15.2.2.1 Quando a verificação inicial ocorrer em dois estágios, o primeiro estágio deve incluir:

- uma avaliação da conformidade do medidor, incluindo os dispositivos auxiliares associados (conformidade com o respectivo modelo);
- uma avaliação metrológica do medidor, incluindo os dispositivos auxiliares associados.

O segundo estágio deve incluir:

- uma avaliação da conformidade do sistema de medição, incluindo o medidor e os dispositivos auxiliares e adicionais;
- uma avaliação metrológica do sistema de medição; se possível, esta avaliação é realizada dentro dos limites das condições de operação para o sistema.

15.2.2.2 Quando a verificação inicial ocorrer em um único estágio, todos os ensaios mencionados no subitem 15.2.2.1 devem ser realizados.

15.2.2.3 Os erros máximos admissíveis nas verificações iniciais devem atender aos requisitos estabelecidos em 6.4.

15.3 Verificações periódicas

15.3.1 Os procedimentos e requisitos para as verificações periódicas de um sistema de medição devem ser idênticos aos da verificação inicial.

15.3.2 Se as marcas de selagem do medidor e/ou dos dispositivos auxiliares estiverem intactos, um exame completo do sistema de medição pode não ser necessário. Para determinar a curva de erro, os ensaios devem ser conduzidos no mínimo com um volume de líquido igual a quantidade mínima mensurada, e em pelo menos 60% da vazão máxima do medidor.

15.3.3 Os erros máximos admissíveis nas verificações periódicas devem atender aos requisitos estabelecidos em 6.4.

16. Condições de ensaio

16.1 Geral

Cuidado deve ser tomado para reduzir a vaporização e mudanças no volume ao mínimo. Quando é realizado procedimento gravimétrico, o tanque a ser pesado e o sistema de transferência devem ser pré-resfriados à temperatura do líquido antes de iniciar o ensaio para evitar formação de vapor no vaso sendo pesado.

16.1.1 Líquido de ensaio

O sistema deve ser ensaiado com o mesmo líquido que se destina a medir; outro líquido criogênico pode ser utilizado desde que seja evidenciado que este proporcionará desempenho equivalente nas condições de ensaio requeridas.

16.1.2 Quantidades de ensaio

A quantidade mínima de ensaio não deve normalmente ser menor que 300 intervalos de escala do medidor em ensaio e 1000 intervalos de escala do medidor padrão, o qual deve ser o menor.

Todavia, a quantidade de ensaio para determinar o erro próximo a quantidade mínima mensurada deve ser igual a quantidade mínima mensurada.

Nota 1: Para um ensaio que determina o intervalo de tempo necessário para coletar a massa de líquido pré-selecionada, se a incerteza do padrão puder ser mantida conforme especificada no item 15, a menor quantidade poderá ser usada. Contudo, em nenhum caso, a quantidade deverá ser menor que 140 kg para dispositivos com vazão máxima de pelo menos 50 l/min, de acordo com o especificado pelo fabricante.

Nota 2: No caso de ensaio com um medidor padrão, a quantidade de ensaio deve ser igual, pelo menos, a quantidade mínima entregue em três minutos operando na vazão máxima. Quando os medidores são submetidos a ensaios sem compensação em uma circulação contínua do fluxo, correções apropriadas devem ser aplicadas caso as condições do produto sejam anormalmente afetadas por este tipo de ensaio.

16.1.3 Dados de temperatura e pressão

A temperatura e pressão do líquido medido devem ser registradas durante o ensaio para determinação da massa específica ou fatores de correção do volume, quando aplicável.

ANEXO A

PROCEDIMENTOS DE ENSAIO

Ensaio de desempenho – geral

Os ensaios devem ser aplicados uniformemente com efeito do controle metrológico e objetivam garantir que os instrumentos têm desempenho e funcionalidade de acordo com o prescrito, sob condições designadas de uso.

Quando o efeito de uma grandeza de influência ou perturbação estiver sendo avaliado, todas as outras grandezas de influência ou perturbações devem ser mantidas relativamente constantes, a um valor próximo do normal.

A seguir são apresentadas condições relativamente estáveis para cada parâmetro do líquido:

temperatura: ± 5 °C

pressão: $\pm 20\%$ desde que não exceda 200 kPa (2 bar);

vazão: $\pm 5\%$

O instrumento deve ser ensaiado com o líquido a ser comercialmente medido ou com um líquido com as mesmas características físicas genéricas (ver 16.1.1).

A.1 Ensaio para aprovação de modelo

O ensaio gravimétrico é recomendado; outros métodos aplicáveis podem ser utilizados desde que atendidos os requisitos em A.1.1.

A.1.1 Incerteza

A incerteza expandida, U (para fator de abrangência $k=2$), para o padrão de referência (incluindo seu dispositivo de indicação), deve ser menor que 1/5 do

erro máximo admissível para o sistema de medição sob ensaio para aprovação de modelo. (Ver *Guia para Expressão da Incerteza de Medição*, 1995).

A.1.2 Quantidades

Qualquer quantidade de ensaio deve ser igual ou maior que a quantidade mínima mensurável (ver 16.1.2).

A.1.2.1 Ensaios de repetitividade realizados para determinar concordância com 6.5

Ensaios de repetitividade devem ser realizados com quantidades iguais ou maiores que 5 vezes a quantidade mínima mensurável.

A.1.3 Líquidos

O ESE deve ser avaliado com líquido suficiente ou líquidos com características similares sobre a faixa de líquidos para os quais o fabricante tenha requisitado a aprovação (ver 16.1.1 e 16.1.2).

A.1.4 Vazão de fluxo para ensaios de erro máximo

O ESE deve ser ensaiado de acordo com os requisitos dados em 15.1.5.2.

A.1.5 Desgaste

Um ensaio de desgaste deve ser realizado conforme se segue (ver 15.1.5.3):

- um ensaio de exatidão deve ser realizado antes do ensaio de desgaste;
- conforme possível, o medidor deve ser submetido a um ensaio de desgaste em uma bancada de ensaios. Contudo, é aceitável que o medidor seja temporariamente montado em um sistema de medição em operação normal. Neste último caso, é necessário que a vazão nominal de operação seja maior que $0,8 Q_{\text{máx}}$;
- o ensaio de desgaste deve durar 100 horas em um ou vários períodos a uma vazão entre $80\% Q_{\text{máx}}$ e $Q_{\text{máx}}$;
- após as 100 horas de ensaio, um novo ensaio de exatidão deve ser realizado nas mesmas condições acima. Os resultados não devem variar em relação ao primeiro ensaio por mais que 1,5 % da quantidade mensurada, sem quaisquer ajustes ou correções.

A.2 Ensaios para verificação inicial e periódica

A verificação do sistema de medição pode ser realizada por metodologia gravimétrica ou volumétrica, ou utilizando um medidor padrão.

A.2.1 Incerteza

A incerteza expandida, U (para fator de abrangência $k=2$), para o padrão de referência (incluindo seu dispositivo indicador) deve ser menor que $1/3$ do erro máximo admissível para o sistema de medição sob ensaio para verificações periódica ou inicial. (Ver *Guia para Expressão da Incerteza de Medição*, 1995).

A.2.2 Quantidades

Qualquer quantidade de ensaio deve ser igual ou maior que a quantidade mínima mensurável (ver 16.1.2).

A.2.3 Vazões para ensaios de erro máximo

O ESE deve ser ensaiado na vazão máxima aceitável sob as condições de instalação, na vazão mínima indicada no instrumento e no mínimo, em uma vazão intermediária. Pelo menos um ensaio deve ser realizado em cada vazão (ver 15.1.5.2.1).

Nota: Para verificação periódica, ver subitem 15.3.2.

ANEXO B PROCEDIMENTOS DE ENSAIO

Ensaio de desempenho – Aplicável a equipamentos eletrônicos

B.1 Geral

Este Anexo define a programação de ensaios de destinados a verificar se os sistemas de medição eletrônicos possuem desempenho e qualidade de funcionamento conforme previstos em um meio especificado e sob condições especificadas. Para cada ensaio, onde apropriado, as condições de referência, nas quais o erro intrínseco é determinado, são indicadas.

Estes ensaios suplementam os descritos no Anexo A.

Quando o efeito de uma grandeza de influência estiver sendo avaliado, todas as outras grandezas de influência devem ser mantidas relativamente constantes em valores próximos das condições de referência.

Quando o efeito de uma perturbação estiver sendo avaliado, nenhuma outra perturbação deve estar presente e todas as grandezas de influência devem ser mantidas relativamente constantes, a valores próximos às condições de referência.

B.2 Níveis de severidade

Para cada ensaio de desempenho, condições típicas de ensaio que correspondem às condições ambientais climáticas e mecânicas nas quais os sistemas de medição são usualmente expostos, devem ser indicadas.

Os sistemas de medição são divididos em três classes, de acordo com as condições ambientais climáticas e mecânicas:

- classe B para os instrumentos fixos instalados em um edifício;
- classe C para instrumentos instalados ao ar livre;
- classe I para instrumentos móveis, em particular os sistemas de medição montados em caminhões.

Contudo, em função da utilização prevista do instrumento, o solicitante da aprovação de modelo pode indicar as condições ambientais específicas na documentação encaminhada ao órgão metrológico. Neste caso, cabe ao órgão responsável executar os ensaios de desempenho em níveis de severidade correspondentes às condições ambientais especificadas. Se a aprovação de modelo for concedida, a placa de informação deve indicar os limites de utilização correspondentes. Os fabricantes devem informar aos usuários potenciais as condições de utilização para as quais o instrumento foi aprovado. O órgão metrológico deve verificar se as condições de utilização são apropriadas.

B.3 Condições de referência

Temperatura ambiente:

15 °C a 25 °C

Umidade relativa:	45% a 75%
Pressão atmosférica:	86 kPa a 106 kPa
Tensão:	Voltagem normal
Frequência:	Frequência normal

Durante cada ensaio, a temperatura e a umidade relativa não devem variar mais que 5 °C ou 10% respectivamente, dentro da faixa de referência.

B.4 Ensaio de desempenho (referência à tabela sumária)

Notas: Ensaios simulados

Exceto para B.4.3 e B.4.4 (ensaios não operacionais), os ensaios podem ser realizados pela simulação do fluxo sem um produto real escoando pelo sistema de medição, desde que o sensor de fluxo não seja afetado pelas condições do ensaio.

Nota 1: Escoamento simulado deve gerar um ou mais sinais de saída que correspondem ao escoamento real entre as vazões máxima e mínima.

Nota 2: Enquanto o escoamento estiver sendo simulado, deve ser possível assegurar que a medição da vazão do sistema está sendo efetuada.

Sumário dos ensaios de desempenho

Ensaio	Natureza da grandeza de influência	Nível de severidade (referência OIML D11)		
		B	C	I
B.4.1 Calor seco	Fator de influência	2	3	3
B.4.2 Frio	Fator de influência	2	3	3
B.4.3 Ensaio de calor úmido, cíclico	Fator de influência	1	2	2
B.4.4 Vibração (senoidal)	Fator de influência	-	-	3
B.4.5.1 Alimentação de corrente AC	Fator de influência	1	1	1
B.4.5.2 Alimentação de corrente DC	Perturbação	1	1	1
B.4.6 Curtas interrupções de alimentação	Perturbação	1a & 1b	1a & 1b	1a & 1b
B.4.7 Transientes	Perturbação	2	2	2
B.4.8 Descarga eletrostática	Perturbação	1	1	1
B.4.9 Susceptibilidade eletromagnética	Perturbação	2	2	2
B.4.10 Perturbações na voltagem DC	Perturbação	2	2	2

B.4.1 Calor seco

Método de ensaio

Calor seco (sem condensação).

Objetivo do ensaio

Verificar a concordância com os requisitos do subitem 14.1.1 sob condições de temperatura elevada.

Referências Publicação IEC 60068-2-2, quarta edição, 1974, Procedimentos de ensaios climáticos fundamentais, Parte 2: Ensaios, Ensaios Bd: calor seco para um ESE (espécime) dissipante de energia com variação lenta da temperatura.

As informações básicas referentes aos ensaios de calor seco são dadas na Publicação 60068-3-1, primeira edição, 1974 e primeiro suplemento 60068-3-1A, 1978, Parte 3: Informações básicas, seção 1: ensaios à frio e à calor seco. As informações gerais básicas referentes aos ensaios climáticos fundamentais são dadas na Publicação IEC 60068-1, 1998.

Síntese do procedimento de ensaio

O ensaio consiste na exposição do ESE a temperatura de 55 °C (classe C ou I) ou 40 °C (classe B) em condições "ausentes de correntes de ar" por um período de 2 h até que o ESE tenha estabilizado a temperatura. O ESE deve ser ensaiado em pelo menos uma vazão (ou vazão simulada):

- na temperatura de referência de 20 °C, após condicionamento;
- na temperatura de 55 °C (classe C ou I) ou 40 °C (classe B), 2 h após a estabilização da temperatura;
- após retorno do ESE à temperatura de referência de 20 °C.

Severidade do ensaio

- 1) Temperatura: nível de severidade 2: 40 °C
nível de severidade 3: 55 °C
- 2) Duração: 2 horas

Número de ciclos de ensaio Um ciclo.

Variações máximas permitidas

Todas as funções devem operar conforme previstas.

Todas as indicações devem estar dentro dos erros máximos admissíveis.

B.4.2 Frio

Método de ensaio Resfriamento.

Objetivo do ensaio Verificar concordância com os parâmetros do subitem 14.1.1 em condições de baixa temperatura.

Referências Publicação IEC 60068-2-1, 1990, 'Procedimentos de ensaios climáticos fundamentais', Parte 2: Ensaios, – Ensaios A: Frio, Seção 3 – Ensaio Ad : frio para um ESE (espécime) dissipante de energia com variação gradual de temperatura.

As informações básicas referentes aos ensaios a frio são dadas na publicação IEC 60068-3-1, primeira edição, 1974 e primeiro suplemento 60068-3-1A, 1978 Parte 3: informações básicas, Seção 1: Ensaios a frio e de calor seco. As informações gerais básicas sobre procedimentos de ensaios climáticos fundamentais são dadas na publicação IEC 600068-1, 1988.

Síntese do procedimento de ensaio

O ensaio consiste na exposição do ESE a uma temperatura de –25 °C (classes C ou I) ou –10 °C (classe B) em condições 'ausentes de correntes de ar' por um

período de 2 h até que o ESE tenha atingido a estabilização da temperatura. O ESE deve ser ensaiado em pelo menos uma vazão de escoamento (ou vazão simulada):

- na temperatura de referência de 20 °C após condicionamento;
- na temperatura de – 25 °C ou –10 °C, 2 horas após a estabilização da temperatura;
- após retorno do ESE a temperatura de referência de 20 °C.

Severidade do ensaio

- 1) Temperatura: nível de severidade 2: -10 °C
nível de severidade 3: -25 °C
- 2) Duração: 2 horas

Número de ciclos de ensaio Um ciclo

Variações máximas permitidas

Todas as funções devem ser operadas conforme previsto.

Todas as indicações devem estar dentro dos erros máximos admissíveis.

B.4.3 Ensaio cíclico de calor úmido

Método de ensaio Ensaio cíclico de calor úmido (com condensação).

Objetivo do ensaio Verificar concordância do instrumento de medição eletrônico com as disposições do subitem 14.1.1 em condições de elevada umidade combinada com variações cíclicas de temperatura.

Referências Publicação IEC 60068-2-30, segunda edição, 1980, ‘Procedimentos de ensaios climáticos fundamentais’, Parte 2: Ensaios, Ensaio Db: Ensaio cíclico de calor úmido (ciclo de 12h + 12h), variante 2.

As informações relativas a ensaios de calor úmido são dadas na publicação IEC 60068-2-28, terceira edição, 1990: Guia para os ensaios de calor úmido.

Síntese do procedimento de ensaio

O ensaio consiste na exposição de um ESE não operacional a variações cíclicas de temperatura entre 25 °C e a temperatura superior de 55 °C (classe C ou I) ou 40 °C (classe B), mantidos a uma umidade relativa acima de 95% durante as alterações de temperatura e durante a menor temperatura e a 93% na fase de temperatura superior. A condensação deve ocorrer no ESE durante o aumento de temperatura. O período normal de estabilização antes e um restabelecimento após a exposição cíclica são indicados na publicação IEC 60068-2-30. Após o restabelecimento, um ensaio de desempenho nas condições de referência em pelo menos uma vazão de escoamento (ou vazão simulada) deverá ser conduzido.

Severidade do ensaio

- 1) Temperatura máxima: nível de severidade 1: 40 °C
nível de severidade 2: 55 °C
- 2) Umidade: > 93%
- 3) Duração: 24 horas

Número de ciclos de ensaio Dois ciclos.

Variações máximas permitidas

Todas as funções devem ser operadas conforme previsto.

Todas as indicações devem estar dentro dos erros máximos admissíveis.

B.4.4 Vibração

Método de ensaio Vibração senoidal.

Objetivo do ensaio Verificar a conformidade do instrumento de medição eletrônico com os parâmetros do subitem 14.1.1 sob condições de vibração senoidal.

Referências Publicação IEC 60068-2-6, 1995, 'Procedimento de ensaios climáticos fundamentais, Parte 2: Ensaio Fc: Vibrações (senoidais).

Breve discussão sobre procedimento de ensaio

O ESE não operacional deverá ser ensaiado varrendo frequências dentro da faixa de frequências especificadas, 10itava/minuto, no nível de aceleração especificado com um número especificado de ciclos de varredura por eixo. O ESE montado sobre um suporte rígido, de acordo com seu modo normal de montagem, deverá ser ensaiado nos seus três eixos principais mutuamente perpendiculares. Deverá ser montado de tal modo que a força gravitacional atue na mesma direção quando em utilização normal. Após o ensaio de vibração, um ensaio de desempenho nas condições de referência e em pelo menos uma vazão deverá ser realizado.

Severidade do ensaio

- 1) Faixa de frequência: 10 Hz – 150 Hz
- 2) Nível de aceleração máxima: 20 m s^{-2}

Número de ciclos de ensaio 20 ciclos de varredura por eixo.

Variações máximas permitidas

Todas as funções devem ser operadas conforme previsto.

Todas as indicações devem estar dentro dos erros máximos admissíveis.

B.4.5 Variação na alimentação elétrica

B.4.5.1 Alimentação de corrente AC

Método de ensaio Variação na alimentação em corrente alternada (monofásico).

Objetivo do ensaio Verificar a conformidade do instrumento de medição eletrônico com os parâmetros do subitem 14.1.1 sob condições de variação da alimentação em corrente alternada.

Síntese do procedimento de ensaio

O ensaio consiste na exposição do ESE a variações de tensão de alimentação, enquanto o ESE opera nas condições normais. O ESE deve ser ensaiado em pelo

menos uma vazão de escoamento (ou vazão simulada), nos limites superior e inferior de tensão.

Severidade do ensaio

Tensões de alimentação: limite superior: $V_{\text{nom}} + 10\%$
limite inferior: $V_{\text{nom}} - 15\%$

Número de ciclos de ensaio

Um ciclo.

Variações máximas permitidas

Todas as funções devem ser operadas conforme previsto.

Todas as indicações devem estar dentro dos erros máximos admissíveis.

B.4.5.2 Alimentação de corrente DC

Método de ensaio Variação na alimentação em corrente contínua.

Objetivo do ensaio Verificar a conformidade do instrumento de medição eletrônico com os parâmetros do subitem 14.1.1 sob condições de variação da alimentação em corrente contínua.

Síntese do procedimento de ensaio

O ensaio consiste na exposição do ESE a variações de tensão de alimentação, enquanto o ESE opera nas condições normais. O ESE deve ser ensaiado em pelo menos uma vazão de escoamento (ou vazão simulada), nos limites superior e inferior de tensão.

Severidade do ensaio

Tensão de alimentação: limite superior: $V_{\text{nom}} + 10\%$
limite inferior: $V_{\text{nom}} - 15\%$

Número de ciclos de ensaio Um ciclo.

Variações máximas permitidas

Todas as funções devem ser operadas conforme previsto.

Todas as indicações devem estar dentro dos erros máximos admissíveis.

B.4.6 Interrupções curtas na corrente elétrica (não aplicável a sistemas com alimentação DC)

Método de ensaio Interrupções e reduções curtas durante a alimentação elétrica.

Objetivo do ensaio Verificar a conformidade do instrumento de medição eletrônico com os parâmetros do subitem 14.1.1 em condições de interrupções e reduções curtas na alimentação elétrica.

Referências Publicação IEC 61000-4-11 (1994), Compatibilidade eletromagnética (EMC) Parte 4: Técnicas de ensaio e medição – Seção 11. Redução da tensão, interrupções curtas e ensaios de imunidade de

variação de tensão. Seção 5.2 (Níveis de ensaio – Variação de tensão). Seção 8.2.2 (Execução do ensaio de variação de tensão).

Síntese do procedimento de ensaio

O ensaio consiste na exposição do ESE às interrupções de tensão a partir da tensão nominal até a tensão nula durante 10 ms e, a partir da voltagem nominal até 50% da voltagem nominal durante 20 ms. A interrupção e redução da voltagem nominal deve ser repetida dez vezes em um intervalo de tempo de pelo menos 10 s. O ESE deve ser ensaiado em pelo menos uma vazão de escoamento (ou vazão simulada).

Severidade do ensaio

100% interrupção da tensão por um período de 10 ms

50% de redução da tensão por um período de 20 ms

Número de ciclos de ensaio Dez ensaios com um mínimo de 10 segundos entre os ensaios.

Variações máximas permitidas

a) Para sistemas de medição interruptivos, a diferença entre as indicações de volume durante o ensaio e a indicação nas condições de referência não deve exceder os valores dados em 3.24 ou o sistema de medição deve detectar e atuar sobre uma falha significativa, em concordância com o subitem 14.1.1.

b) Para sistemas de medição não interruptivos, a diferença entre a indicação do volume durante o ensaio e a indicação nas condições de referência não deve exceder aos valores dados em 3.24.

B.4.7 Transientes (não aplicável a sistemas com alimentação DC)

Método de ensaio Transientes elétricos.

Objetivo do ensaio Verificar a conformidade do instrumento de medição eletrônico com os parâmetros do subitem 14.1.1 onde condições de transientes elétricos são impostas na rede elétrica.

Referências Publicação IEC 61000-4-4 (1995), Compatibilidade eletromagnética (EMC) Parte 4: Técnicas de ensaio e medição – Seção 4. Rápido transiente elétrico / ensaio de imunidade a transientes . Publicação básica EMC.

Síntese do procedimento de ensaio

O ensaio consiste na exposição do ESE a transientes de tensão com forma de onda dupla exponencial. Cada pulso deve ter um tempo de ascensão de 5 ns e uma meia amplitude com duração de 50 ns. A duração do transiente deve ser de 15 ms, sendo a periodicidade igual a 300 ms. Todos estes transientes devem ser aplicados durante a mesma medição ou medição simulada.

Severidade do ensaio

Amplitude (valor de pico) igual a 1000 V.

Número de ciclos de ensaio Pelo menos 10 transientes positivos e 10 transientes negativos com fase aleatória devem ser aplicados à tensão de 1000 V.

Variações máximas permitidas

a) Para sistemas de medição interruptivos, a diferença entre as indicações do volume durante o ensaio e a indicação nas condições de referência não deve exceder os valores dados em 3.24 ou o sistema de medição deve detectar e atuar sobre uma falha significativa, em concordância com o subitem 14.1.1.

b) Para sistemas de medição não interruptivos, a diferença entre a indicação do volume durante o ensaio e a indicação nas condições de referência não devem exceder aos valores dados em 3.24.

B.4.8 Descarga eletrostática

Método de ensaio

Descargas eletrostáticas (DES).

Objetivo do ensaio

Verificar a conformidade do instrumento de medição eletrônico com os parâmetros do subitem 14.1.1 sob condições de descargas eletrostáticas.

Referências

Publicação IEC 61000-4-2 (1995), Compatibilidade eletromagnética (EMC) Parte 4: Técnicas de ensaio e medição – Seção 2. Ensaio de imunidade a descargas eletrostáticas. Publicação básica EMC.

Síntese do procedimento de ensaio

Um capacitor de 150 pF é carregado por uma fonte apropriada de tensão contínua. O capacitor é então descarregado através do ESE conectado a um terminal à terra (chassi) e o outro através de uma resistência de 150 ohms às superfícies que são normalmente acessíveis ao operador.

No caso de descargas por contato, a ponta do eletrodo deve tocar o ESE antes da operação de descarga.

No caso de superfícies pintadas, cobrindo um substrato condutor, o seguinte procedimento deverá ser adotado:

Se a cobertura não for declarada como sendo uma cobertura isolada pelo fabricante do instrumento, então a ponta do gerador deve penetrar a cobertura de modo a fazer contato com o substrato condutor. Cobertura declarada como isolada pelo fabricante deverá ser apenas submetida a descarga no ar. O método de descarga por contato não deverá ser aplicado a tais superfícies.

No caso de descargas no ar, a extremidade do eletrodo de descarga deverá ser aproximada o mais rápido possível (sem causar dano mecânico) ao tocar o ESE. Após cada descarga, o gerador de DES (eletrodo de descarga) deverá ser removido do ESE. O gerador é então acoplado a um novo eletrodo de descarga. Este procedimento deverá ser repetido até as descargas serem completadas. No caso de ensaio de descarga no ar, o sensor utilizado para contato da descarga deverá ser fechado.

Severidade do ensaio

Descargas no ar < 8 kV

Descarga por contato < 6 kV

Número de ciclos de ensaio Pelo menos dez descargas devem ser aplicadas em intervalos de pelo menos 10 segundos entre as descargas, durante a mesma medição ou medição simulada.

Variações máximas permitidas

a) Para sistemas de medição interruptivos, a diferença entre a quantidade de indicação durante o ensaio e a indicação nas condições de referência não devem exceder os valores dados em 3.24 ou o sistema de medição deve detectar e atuar sobre a falha significativa, em concordância com o subitem 14.1.1.

b) Para sistemas de medição não interruptivos, a diferença entre a quantidade de indicação durante o ensaio e a indicação nas condições de referência não devem exceder aos valores dados em 3.24.

B.4.9 Suscetibilidade eletromagnética

Método de ensaio Campos eletromagnéticos (radiados).

Objetivo do ensaio Verificar concordância do instrumento de medição eletrônico com os parâmetros do subitem 14.1.1 em condições de campos eletromagnéticos.

Referências Publicação IEC 61000-4-3 (1995), Compatibilidade eletromagnética (EMC) Parte 4: Técnicas de ensaio e medição—Seção 3. Ensaio de imunidade a campo radiado, rádio-frequência e eletromagnético.

Breve discussão sobre procedimento de ensaio

O ESE deve ser exposto ao campo eletromagnético de intensidade especificada pelo nível de severidade durante a medição propriamente ou medição simulada. A intensidade do campo pode ser obtida pelas seguintes maneiras:

- A linha curta é usada nas frequências abaixo de 30 MHz (em alguns casos 150 MHz) para pequenos ESE's;
- O fio longo é usado a frequências abaixo de 30 MHz para ESE's maiores;
- As antenas dipolares ou antenas com polarização circular localizada a 1 metro do ESE são usadas em altas frequências.

A intensidade do campo especificada deve ser estabilizada antes do ensaio (sem que o ESE esteja no campo).

O campo deve ser gerado em duas polarizações ortogonais e a amplitude de frequências deve ser percorrida lentamente.

Se a antena com polarização circular, i.e. log-espiral ou antena helicoidal forem usadas para gerar o campo eletromagnético, uma mudança na posição das antenas não é necessária.

Quando o ensaio é realizado em um recinto protegido, para atendimento às leis internacionais de proibição de interferências nas comunicações via rádio, pode ser necessária uma câmara anecóica para reduzir a reflexão das paredes.

Ensaio de severidade

Amplitude de frequência	26 MHz – 1000 MHz
Campo de força	3 V/m
Modulação	80%, 1 kHz onda em forma de sino

Variações máximas permitidas

a) Para sistemas de medição interruptivos, a diferença entre a quantidade de indicação durante o ensaio e a indicação nas condições de referência não devem exceder os valores dados em 3.24 ou o sistema de medição deve detectar e atuar sobre a falha significativa, em concordância com o subitem 14.1.1.

b) Para sistemas de medição não interruptivos, a diferença entre a quantidade de indicação durante o ensaio e a indicação nas condições de referência não devem exceder aos valores dados em 3.24.

B.4.10 Perturbações aplicáveis aos instrumentos alimentados por corrente contínua

Os sistemas de medição eletrônicos alimentados por corrente contínua não devem ser submetidos aos ensaios B.4.5.1 *Alimentação de corrente AC*, B.4.6 *Interrupções curtas na corrente elétrica* e B.4.7 *Transientes*. Devendo atender ao seguinte:

1 Geral

Quando a potência fornecida for menor que $-15\% U_{nom}$, ou maior que $+10\% U_{nom}$, durante uma medição o ESE deverá também fornecer indicações de acordo com o ema ou não fornecer qualquer indicação que poderia ser entendida como valor de uma medição.

2 Para instrumentos alimentados pela bateria de um veículo

Ensaio de pulso 1, 2 e 3 conforme especificado na ISO 7637: Veículos Rodoviários. Distúrbios elétricos por condução e por acoplamento, Parte 1 ou Parte 2 de acordo com o efeito. Os pulsos são repetidos pelo tempo necessário para completar o ensaio.

A portaria de aprovação de modelo deve indicar no mínimo, nível de severidade II.

ANEXO C**TABELAS DE MASSA ESPECÍFICA PARA ARGÔNIO, HÉLIO, HIDROGÊNIO, NITROGÊNIO E OXIGÊNIO LÍQUIDOS**

As tabelas nas páginas sequenciais fornecem os valores de massa específica nas unidades SI como função da temperatura e da pressão, para argônio, hélio, hidrogênio, nitrogênio e oxigênio líquidos. Duas tabelas são dadas para cada fluido:

- As tabelas “-a” indicam os valores de pressão de vapor, massa específica e volume por unidade de massa como uma função da temperatura para líquidos saturados (líquidos abaixo da sua pressão de vapor);
- As tabelas “-b” indicam os valores de massa específica como uma função da temperatura para líquidos subresfriados (líquidos sob pressão).

Conteúdo das tabelas:

<i>Tabela 1 – Argônio</i>	Temperatura de 85 K a 150 K e pressão até 4 MPa;
<i>Tabela 2 – Hélio</i>	Temperatura de 4 K até 5,14 K e pressão até 0,22 MPa;
<i>Tabela 3 – Hidrogênio</i>	Temperatura de 19,4 K até 32,8 K e pressão até 1,2 MPa;
<i>Tabela 4 – Nitrogênio</i>	Temperatura de 75 K até 126 K e pressão até 3 MPa.
<i>Tabela 5 – Oxigênio</i>	Temperatura de 88 K até 154 K e pressão até 4MPa.

As tabelas foram elaboradas por programas de computador os quais foram usados para estruturar tabelas similares para a *United States Compressed Gas Association* e estão reportadas em [1]. Os dados fornecidos por estas tabelas foram preparados pelo *Thermophysics Division of the National Institute of Standards and Technology* (antigo *National Bureau of Standards*) e estão consistentes com os dados relatados em [1] e nos documentos [2] e [3]. Os programas computacionais que foram utilizados para elaboração das tabelas foram validados pelo *Nist Office of Standard Reference Data* [4].

Referências aplicáveis ao Anexo C

[1] Younglove, B.A., Tables of Industrial Gas Container Contents and Density for Oxygen, Argon, Nitrogen, Helium and Hydrogen. Nat. Bur. Stand. (USA) Tech. Note No. 1079, June 1985. 195 p.

[2] McCarty, R.D., Interactive Fortran IV Computer Programs for the Thermodynamic and Transport Properties of Selected Cryogenics (Fluid Pack). Nat. Bur. Stand. (USA) Tech. Note No. 1025, October 1980. 112 p.

[3] Younglove, B.A., Thermophysical Properties of Fluids. I. Argon, Ethylene, Parahydrogen, Nitrogen, Trifluoride and Oxygen. J. Phys. Chem. Ref. Data 11, No. 4, 1982.

[4] For magnetic tape, order NIST Standard Reference Data Base 5 for helium properties and Data Base 6 for the other fluids from the Office of Standard Reference Data, A320 Physics Building, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899, USA.

Nota: O *National Institute of Standards and Technology* (NIST) elaborou estas tabelas em atendimento à solicitação da OIML. Desde então, não estão sujeitas à cópias.

Tabela 1 – a
ARGÔNIO

T [K]	P _{vapor} [MPa]	massa esp. [kg/m ³]	volume/massa [dm ³ /kg]	T [K]	P _{vapor} [MPa]	massa esp. [kg/m ³]	volume/massa [dm ³ /kg]
85,0	0,079	1407	0,7107	120,0	1,2158	1159,4	0,8625
86,0	0,0883	1401	0,7138	121,0	1,2841	1150,8	0,869
87,0	0,0983	1394,9	0,7169	122,0	1,355	1142	0,8757
88,0	0,1093	1388,8	0,72	123,0	1,4288	1133	0,8826
89,0	0,1211	1382,6	0,7233	124,0	1,5053	1123,9	0,8897
90,0	0,1339	1376,4	0,7265	125,0	0,079	1114,6	0,8971
91,0	0,1477	1370,1	0,7299	126,0	0,0883	1105,2	0,9048
92,0	0,1626	1363,8	0,7332	127,0	0,0983	1095,5	0,9128
93,0	0,1785	1357,4	0,7367	128,0	0,1093	1085,6	0,9211
94,0	0,1956	1351	0,7402	129,0	0,1211	1075,5	0,9298
95,0	0,2139	1344,5	0,7438	130,0	1,5848	1065,2	0,9388
96,0	0,2335	1337,9	0,7474	131,0	1,6671	1054,6	0,9483
97,0	0,2543	1331,3	0,7511	132,0	1,7525	1043,7	0,9582
98,0	0,2765	1324,7	0,7549	133,0	1,841	1032,4	0,9686
99,0	0,3001	1318	0,7588	134,0	1,9326	1020,8	0,9796
100,0	0,3252	1311,2	0,7627	135,0	2,0274	1008,9	0,9912
101,0	0,3518	1304,3	0,7667	136,0	2,1256	996,5	1,0035
102,0	0,3799	1297,4	0,7708	137,0	2,2271	983,6	1,0167
103,0	0,4097	1290,4	0,7749	138,0	2,332	970,2	1,0307
104,0	0,4411	1283,4	0,7792	139,0	2,4405	956,1	1,0459
105,0	0,4743	1276,3	0,7835	140,0	3,1704	941,4	1,0622
106,0	0,5092	1269,1	0,788	141,0	3,3061	925,9	1,0801
107,0	0,5459	1261,9	0,7925	142,0	3,4462	909,4	1,0996
108,0	0,5846	1254,4	0,7971	143,0	3,5908	891,8	1,1213
109,0	0,6252	1247,1	0,8019	144,0	3,7399	872,9	1,1456
110,0	0,6678	1239,6	0,8067	145,0	3,8938	852,3	1,1733
111,0	0,7124	1232	0,8117	146,0	4,0527	829,6	1,2054
112,0	0,7591	1224,4	0,8167	147,0	4,2168	804	1,2437
113,0	0,808	1216,6	0,8219	148,0	4,3863	774,3	1,2915
114,0	0,8592	1208,8	0,8273	149,0	4,5617	737,7	1,3557
115,0	0,9126	1200,8	0,8328	150,0	4,7434	687,3	1,455
116,0	0,9683	1192,8	0,8384				
117,0	1,0264	1184,6	0,8441				
118,0	1,087	1176,4	0,8501				
119,0	1,1501	1168	0,8562				

Tabela 1 – b
ARGÔNIO

Os dados indicados correspondem à massa específica em kg/m³. Pressão [MPa]. T [K].

Pressão	0,08	0,10									
T											
85,0	1407,8	1407,9									
85,5		1404,9									
86,0		1401,8									
86,5		1398,8									
87,0		1395,7									
Pressão	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00
T											
85,0	1408,2	1408,7	1409,3	1409,9	1410,5	1411,9	1413,3	1414,7	1416,1	1417,4	1418,8
85,5	1405,1	1405,7	1406,3	1406,9	1407,5	1408,9	1410,3	1411,7	1413,1	1414,5	1415,9
86,0	1402,1	1402,7	1403,3	1403,9	1404,4	1405,9	1407,3	1408,8	1410,2	1411,6	1413,0
86,5	1399,1	1399,7	1400,2	1400,8	1401,4	1402,9	1404,3	1405,8	1407,2	1408,6	1410,0
87,0	1396,0	1396,6	1397,2	1397,8	1398,4	1399,9	1401,3	1402,8	1404,2	1405,7	1407,1
87,5	1392,9	1393,5	1394,1	1394,7	1395,3	1396,8	1398,3	1399,8	1401,2	1402,7	1404,1
88,0	1389,8	1390,4	1391,1	1391,7	1392,3	1393,8	1395,3	1396,8	1398,3	1399,7	1401,2
88,5	1386,7	1387,4	1388,0	1388,6	1389,2	1390,7	1392,2	1393,8	1395,3	1396,7	1398,2
89,0	1383,6	1384,2	1384,9	1385,5	1386,1	1387,7	1389,2	1390,7	1392,2	1393,7	1395,2
89,5	1380,5	1381,1	1381,8	1382,4	1383,0	1384,6	1386,1	1387,7	1389,2	1390,7	1392,2
90,0	1377,3	1378,0	1378,6	1379,3	1379,9	1381,5	1383,1	1384,6	1386,1	1387,7	1389,2
90,5	1374,2	1374,8	1375,5	1376,1	1376,8	1378,4	1380,0	1381,5	1383,1	1384,6	1386,2
91,0	1371,0	1371,7	1372,3	1373,0	1373,6	1375,3	1376,9	1378,4	1380,0	1381,6	1383,1
91,5	1367,8	1368,5	1369,2	1369,8	1370,5	1372,1	1373,7	1375,3	1376,9	1378,5	1380,1
92,0	1364,6	1365,3	1366,0	1366,6	1367,3	1369,0	1370,6	1372,2	1373,8	1375,4	1377,0
92,5	1361,4	1362,1	1362,8	1363,5	1364,1	1365,8	1367,5	1369,1	1370,7	1372,4	1374,0
93,0	1358,2	1358,9	1359,6	1360,2	1360,9	1362,6	1364,3	1366,0	1367,6	1369,3	1370,9
93,5	1354,9	1355,6	1356,3	1357,0	1357,7	1359,4	1361,1	1362,8	1364,5	1366,2	1367,8
94,0	1351,7	1352,4	1353,1	1353,8	1354,5	1356,2	1358,0	1359,7	1361,4	1363,0	1364,7
94,5		1349,1	1349,8	1350,6	1351,3	1353,0	1354,8	1356,5	1358,2	1359,9	1361,6
95,0		1345,8	1346,6	1347,3	1348,0	1349,8	1351,6	1353,3	1355,0	1356,8	1358,4
95,5		1342,5	1343,3	1344,0	1344,7	1346,5	1348,3	1350,1	1351,9	1353,6	1355,3
96,0		1339,2	1340,0	1340,7	1341,5	1343,3	1345,1	1346,9	1348,7	1350,4	1352,2
96,5		1335,9	1336,7	1337,4	1338,2	1340,0	1341,8	1343,7	1345,5	1347,2	1349,0
97,0		1332,6	1333,3	1334,1	1334,8	1336,7	1338,6	1340,4	1342,2	1344,0	1345,8
97,5		1329,2	1330,0	1330,8	1331,5	1333,4	1335,3	1337,2	1339,0	1340,8	1342,6
98,0		1325,8	1326,6	1327,4	1328,2	1330,1	1332,0	1333,9	1335,8	1337,6	1339,4
98,5		1322,4	1323,2	1324,0	1324,8	1326,8	1328,7	1330,6	1332,5	1334,4	1336,2
99,0		1319,0	1319,8	1320,6	1321,4	1323,4	1325,4	1327,3	1329,2	1331,1	1333,0
99,5		1315,6	1316,4	1317,2	1318,0	1320,1	1322,0	1324,0	1325,9	1327,9	1329,8
100,0		1312,2	1313,0	1313,8	1314,6	1316,7	1318,7	1320,7	1322,6	1324,6	1326,5
100,5		1308,7	1309,5	1310,4	1311,2	1313,3	1315,3	1317,3	1319,3	1321,3	1323,2
101,0		1305,2	1306,1	1306,9	1307,8	1309,9	1311,9	1314,0	1316,0	1318,0	1320,0

Tabela 1 – b (continuação)
ARGÔNIO

Os dados indicados correspondem a massa específica em kg/m³. Pressão [MPa]. T [K].

Pressão	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00
T											
101,5		1301,7	1302,6	1303,4	1304,3	1306,4	1308,5	1310,6	1312,6	1314,7	1316,7
102,0		1298,2	1299,1	1299,9	1300,8	1303,0	1305,1	1307,2	1309,3	1311,3	1313,4
102,5		1294,7	1295,5	1296,4	1297,3	1299,5	1301,7	1303,8	1305,9	1308,0	1310,0
103,0			1292,0	1292,9	1293,8	1296,0	1298,2	1300,4	1302,5	1304,6	1306,7
103,5			1288,4	1289,4	1290,3	1292,5	1294,7	1296,9	1299,1	1301,2	1303,3
104,0			1284,9	1285,8	1286,7	1289,0	1291,3	1293,5	1295,7	1297,8	1300,0
104,5			1281,2	1282,2	1283,1	1285,5	1287,7	1290,0	1292,2	1294,4	1296,6
105,0			1277,6	1278,6	1279,5	1281,9	1284,2	1286,5	1288,8	1291,0	1293,2
105,5			1274,0	1274,9	1275,9	1278,3	1280,7	1283,0	1285,3	1287,5	1289,8
106,0			1270,3	1271,3	1272,3	1274,7	1277,1	1279,5	1281,8	1284,1	1286,3
106,5			1266,6	1267,6	1268,6	1271,1	1273,5	1275,9	1278,3	1280,6	1282,9
107,0			1262,9	1263,9	1264,9	1267,4	1269,9	1272,4	1274,8	1277,1	1279,4
107,5			1259,2	1260,2	1261,2	1263,8	1266,3	1268,8	1271,2	1273,6	1276,0
108,0			1255,4	1256,4	1257,5	1260,1	1262,6	1265,2	1267,6	1270,1	1272,5
108,5				1252,7	1253,7	1256,4	1259,0	1261,5	1264,0	1266,5	1268,9
109,0				1248,9	1250,0	1252,6	1255,3	1257,9	1260,4	1262,9	1265,4
109,5				1245,0	1246,2	1248,9	1251,6	1254,2	1256,8	1259,3	1261,9
110,0				1241,2	1242,3	1245,1	1247,8	1250,5	1253,1	1255,7	1258,3
110,5				1237,3	1238,5	1241,3	1244,1	1246,8	1249,5	1252,1	1254,7
111,0				1233,4	1234,6	1237,5	1240,3	1243,1	1245,8	1248,4	1251,1
111,5				1229,5	1230,7	1233,6	1236,5	1239,3	1242,1	1244,8	1247,4
112,0				1225,5	1226,7	1229,7	1232,6	1235,5	1238,3	1241,1	1243,8
112,5				1221,5	1222,7	1225,8	1228,8	1231,7	1234,5	1327,4	1240,1
113,0					1218,7	1221,8	1224,9	1227,8	1230,8	1233,6	1236,4
113,5					1214,7	1217,9	1220,9	1224,0	1226,9	1229,8	1232,7
114,0					1210,6	1213,8	1217,0	1220,1	1223,1	1226,1	1228,9
114,5					1206,5	1209,8	1213,0	1216,2	1219,2	1222,2	1225,2
115,0					1202,4	1205,7	1209,0	1212,2	1215,3	1218,4	1221,4
115,5					1198,2	1201,6	1204,9	1208,2	1211,4	1215,5	1217,6
116,0					1194,0	1197,5	1200,9	1204,2	1207,4	1210,6	1213,7
116,5					1189,7	1193,3	1196,8	1200,1	1203,5	1206,7	1209,9
117,0						1189,1	1192,6	1196,1	1199,4	1202,7	1206,0
117,5						1184,8	1188,4	1191,9	1195,4	1198,8	1202,0
118,0						1180,5	1184,2	1187,8	1191,3	1194,7	1198,1
118,5						1176,1	1179,9	1183,6	1187,2	1190,7	1194,1
119,0						1171,7	1175,6	1179,4	1183,0	1186,6	1190,1
119,5						1167,3	1171,3	1175,1	1178,8	1182,5	1186,0
120,0						1162,8	1166,9	1170,8	1174,6	1178,3	1182,0
120,5						1158,3	1162,4	1166,4	1170,4	1174,1	1177,8
121,0						1153,7	1157,9	1162,1	1166,0	1169,9	1173,7
121,5						1149,0	1153,4	1157,6	1161,7	1165,7	1169,5
122,0						1139,6	1148,8	1153,1	1157,3	1161,4	1165,3
122,5						1134,7	1144,2	1148,6	1152,9	1157,0	1161,0

Tabela 2 – a
HÉLIO

T [K]	P _{vapor} [MPa]	massa esp. [kg/m ³]	volume/massa [dm ³ /kg]	T [K]	P _{vapor} [MPa]	massa esp. [kg/m ³]	volume/massa [dm ³ /kg]
4,00	0,0815	129,00	7,752	4,60	0,1416	116,34	8,596
4,02	0,0831	128,66	7,772	4,62	0,1440	115,78	8,637
4,04	0,0848	128,33	7,793	4,64	0,1464	115,21	8,680
4,06	0,0865	127,99	7,813	4,66	0,1489	114,63	8,724
4,08	0,0882	127,64	7,835	4,68	0,1514	114,03	8,770
4,10	0,0900	127,29	7,856	4,70	0,1539	113,41	8,817
4,12	0,0917	126,93	7,878	4,72	0,1564	112,78	8,867
4,14	0,0935	126,57	7,901	4,74	0,1590	112,13	8,918
4,16	0,0953	126,20	7,924	4,76	0,1616	111,46	8,972
4,18	0,0972	125,83	7,947	4,78	0,1643	110,77	9,028
4,20	0,099	125,45	7,971	4,80	0,1670	110,05	9,086
4,22	0,1009	125,06	7,996	4,82	0,1697	109,32	9,148
4,24	0,1028	124,67	8,021	4,84	0,1724	108,55	9,212
4,26	0,1047	124,28	8,047	4,86	0,1752	107,76	9,280
4,28	0,1067	123,87	8,073	4,88	0,1780	106,93	9,3520
4,30	0,1087	123,46	8,100	4,90	0,1808	106,07	9,427
4,32	0,1107	123,05	8,127	4,92	0,1837	105,17	9,508
4,34	0,1127	122,62	8,155	4,94	0,1866	104,23	9,594
4,36	0,1148	122,19	8,144	4,96	0,1895	103,24	9,686
4,38	0,1169	121,75	8,213	4,98	0,1925	102,19	9,785
4,40	0,119	121,31	8,244	5,00	0,1954	101,08	9,893
4,42	0,1211	120,85	8,275	5,02	0,1985	99,90	10,010
4,44	0,1233	120,39	8,306	5,04	0,2015	98,63	10,139
4,46	0,1255	119,92	8,339	5,06	0,2046	91,25	10,282
4,48	0,1277	119,44	8,373	5,08	0,2077	95,75	10,444
4,50	0,1299	118,95	8,407	5,10	0,2109	94,08	10,629
4,52	0,1322	118,45	8,443	5,12	0,2141	92,20	10,846
4,54	0,1345	117,94	8,479	5,14	0,2173	90,01	11,109
4,56	0,1368	117,42	8,517				
4,58	0,1392	116,88	8,555				

Tabela 2 – b
HÉLIO

Os dados indicados correspondem à massa específica em kg/m^3 . Pressão [MPa]. T [K].

Pressão	0,085	0,090									
T											
4,00	129,2	129,5									
4,01	129,0	129,3									
4,02	128,8	129,0									
4,03	128,6	128,8									
4,04	128,3	128,6									
4,05		128,4									
4,06		128,2									
4,07		128,0									
4,08		127,7									
4,09		127,5									
4,10		127,3									
Pressão	0,100	0,110	0,120	0,130	0,140	0,150	0,160	0,170	0,180	0,200	0,220
T											
4,00	130,0	130,5	131,0	131,5	131,9	132,4	132,8	133,2	133,7	134,5	135,2
4,01	129,8	130,3	130,8	131,3	131,8	132,2	132,6	133,1	133,5	134,3	135,1
4,02	129,6	130,1	130,6	131,1	131,6	132,0	132,5	132,9	133,3	134,1	134,9
4,03	129,4	129,9	130,4	130,9	131,4	131,8	132,3	132,7	133,2	134,0	134,8
4,04	129,2	129,7	130,2	130,7	131,2	131,7	132,1	132,6	133,0	133,8	134,6
4,05	129,0	129,5	130,0	130,5	131,0	131,5	131,9	132,4	132,8	133,6	134,4
4,06	128,8	129,3	129,8	130,3	130,8	131,3	131,8	132,2	132,6	133,5	134,3
4,07	128,5	129,1	129,6	130,1	130,6	131,1	131,6	132,0	132,5	133,3	134,1
4,08	128,3	128,9	129,4	129,9	130,4	130,9	131,4	131,9	132,3	133,1	134,0
4,09	128,1	128,7	129,2	129,7	130,2	130,7	131,2	131,7	132,1	133,0	133,8
4,10	127,9	128,5	129,0	129,5	130,0	130,5	131,0	131,5	131,9	132,8	133,6
4,11	127,7	128,2	128,8	129,3	129,8	130,3	130,8	131,3	131,8	132,6	133,5
4,12	127,4	128,0	128,6	129,1	129,6	130,2	130,6	131,1	131,6	132,5	133,3
4,13	127,2	127,8	128,4	128,9	129,4	130,0	130,4	130,9	131,4	132,3	133,1
4,14	127,0	127,6	128,1	128,7	129,2	129,8	130,3	130,7	131,2	132,1	133,0
4,15	126,7	127,3	127,9	128,5	129,0	129,6	130,1	130,5	131,0	131,9	132,8
4,16	126,5	127,1	127,7	128,3	128,8	129,3	129,9	130,4	130,8	131,7	132,6
4,17	126,3	126,9	127,5	128,1	128,6	129,1	129,7	130,2	130,6	131,6	132,4
4,18	126,0	126,6	127,3	127,8	128,4	128,9	129,5	130,0	130,4	131,4	132,3
4,19	125,8	126,4	127,0	127,6	128,2	128,7	129,2	129,8	130,3	131,2	132,1
4,20	125,5	126,2	126,8	127,4	128,0	128,5	129,0	129,6	130,1	131,0	131,9
4,21	125,3	125,9	126,6	127,2	127,7	128,3	128,8	129,4	129,9	130,8	131,7
4,22		125,7	126,3	126,9	127,5	128,1	128,6	129,1	129,7	130,6	131,5
4,23		125,4	126,1	126,7	127,3	127,9	128,4	128,9	129,5	130,4	131,4
4,24		125,2	125,8	126,5	127,1	127,6	128,2	128,7	129,2	130,2	131,2
4,25		124,9	125,6	126,2	126,8	127,4	128,0	128,5	129,0	130,0	131,0
4,26		124,6	125,3	126,0	126,6	127,2	127,8	128,3	128,8	129,8	130,8
4,27		124,1	125,1	125,7	126,4	127,0	127,5	128,1	128,6	129,6	130,6
4,28		123,8	124,8	125,5	126,1	126,7	127,3	127,9	128,4	129,4	130,4
4,29		123,6	124,5	125,2	125,9	126,5	127,1	127,6	128,2	129,2	130,2

Tabela 2 – b (continuação)
HÉLIO

Os dados indicados correspondem à massa específica em kg/m³. Pressão [MPa]. T [K].

Pressão	0,100	0,110	0,120	0,130	0,140	0,150	0,160	0,170	0,180	0,200	0,220
T											
4,30		123,3	124,3	125,0	125,6	126,2	126,8	127,4	128,0	129,0	130,0
4,31			124,0	124,7	125,4	126,0	126,6	127,2	127,8	128,8	129,8
4,32			123,7	124,4	125,1	125,8	126,4	127,0	127,5	128,6	129,6
4,33			123,5	124,2	124,9	125,5	126,1	126,7	127,3	128,4	129,4
4,34			123,2	123,9	124,6	125,3	125,9	126,5	127,1	128,2	129,2
4,35			122,9	123,6	124,3	125,0	125,7	126,3	126,9	128,0	129,0
4,36			122,6	123,4	124,1	124,8	125,4	126,0	126,6	127,8	128,8
4,37			122,3	123,1	123,8	124,5	125,2	125,8	126,4	127,5	128,6
4,38			122,0	122,8	123,5	124,2	124,9	125,5	126,2	127,3	128,4
4,39			121,7	122,5	123,3	124,0	124,6	125,3	125,9	127,1	128,2
4,40			121,4	122,2	123,0	123,7	124,4	125,0	125,7	126,9	128,0
4,41				121,9	122,7	123,4	124,1	124,8	125,4	126,6	127,7
4,42				121,6	122,4	123,1	123,9	124,5	125,2	126,4	127,5
4,43				121,3	122,1	122,9	123,6	124,3	124,9	126,2	127,3
4,44				121,0	121,8	122,6	123,3	124,0	124,7	125,9	127,1
4,45				120,7	121,5	122,3	123,0	123,7	124,4	125,7	126,8
4,46				120,3	121,2	122,0	122,7	123,5	124,2	125,4	126,6
4,47				120,0	120,9	121,7	122,5	123,2	123,9	125,2	126,4
4,48				119,7	120,5	121,4	122,2	122,9	123,6	124,9	126,1
4,49				119,3	120,2	121,1	121,9	122,6	123,3	124,7	125,9
4,50				119,0	119,9	120,8	121,6	122,3	123,1	124,4	125,7
4,51					119,5	120,4	121,3	122,1	122,8	124,2	125,4
4,52					119,2	120,1	121,0	121,8	122,5	123,9	125,2
4,53					118,9	119,8	120,6	121,5	122,2	123,6	124,9
4,54					118,5	119,4	120,3	121,1	121,9	123,4	124,7
4,55					118,1	119,1	120,0	120,8	121,6	123,1	124,4
4,56					117,7	118,7	119,7	120,5	121,3	122,8	124,2
4,57					117,4	118,4	119,3	120,2	121,0	122,5	123,9
4,58					117,0	118,0	119,0	119,9	120,7	122,3	123,6
4,59						117,6	118,6	119,5	120,4	122,0	123,4
4,60						117,3	118,3	119,2	120,1	121,7	123,1
4,61						116,9	117,9	118,9	119,7	121,4	122,8
4,62						116,5	117,5	118,5	119,4	121,1	122,6
4,63						116,1	117,1	118,1	119,1	120,8	122,3
4,64						115,6	116,8	117,8	118,7	120,5	122,0
4,65						115,2	116,4	117,4	118,4	120,1	121,7
4,66						114,8	116,0	117,0	118,0	119,8	121,4
4,67							115,5	116,6	117,7	119,5	121,1
4,68							115,1	116,2	117,3	119,2	120,8
4,69							114,7	115,8	116,9	118,8	120,5
4,70							114,2	115,4	116,5	118,5	120,2
4,71							113,7	115,0	116,1	118,1	119,9
4,72							113,3	114,6	115,7	117,8	119,5
4,73							112,8	114,1	115,3	117,4	119,2

Tabela 3 – a
HIDROGÊNIO

T [K]	P _{vapor} [MPa]	massa esp. [kg/m ³]	volume/massa [dm ³ /kg]	T [K]	P _{vapor} [MPa]	massa esp. [kg/m ³]	volume/massa [dm ³ /kg]
19,4	0,0774	71,77	13,934	***	***	***	***
19,6	0,0824	71,55	13,976	***	***	***	***
19,8	0,0877	71,33	14,019	***	***	***	***
20,0	0,0933	71,11	14,063	27,0	0,4885	60,97	16,402
20,2	0,099	70,88	14,107	27,2	0,507	60,58	16,507
20,4	0,1051	70,66	14,153	27,4	0,526	60,18	16,617
20,6	0,1114	70,43	14,199	27,6	0,5456	59,77	16,730
20,8	0,1179	70,19	14,246	27,8	0,5656	59,35	16,848
21,0	0,1247	69,96	14,294	28,0	0,5861	58,93	16,971
21,2	0,1319	69,72	14,343	28,2	0,6072	58,49	17,098
21,4	0,1392	69,48	14,393	28,4	0,6287	58,03	17,231
21,6	0,1469	69,23	14,444	28,6	0,6509	57,57	17,370
21,8	0,1549	69,98	14,496	28,8	0,6735	57,09	17,516
22,0	0,1632	68,73	14,550	29,0	0,6967	56,6	17,669
22,2	0,1718	68,47	14,604	29,2	0,7205	56,09	17,829
22,4	0,1807	68,22	14,659	29,4	0,7449	55,56	17,998
22,6	0,19	67,95	14,716	29,6	0,7698	55,02	18,176
22,8	0,1995	67,69	14,774	29,8	0,7953	54,45	18,365
23,0	0,2094	67,42	14,833	30,0	0,8214	53,86	18,556
23,2	0,2197	67,14	14,894	30,2	0,8482	53,25	18,780
23,4	0,2303	66,86	14,956	30,4	0,8755	52,6	19,010
23,6	0,2412	66,58	15,020	30,6	0,9035	51,93	19,256
23,8	0,2525	66,29	15,085	30,8	0,9322	51,22	19,522
24,0	0,2642	66	15,151	31,0	0,9615	50,48	19,811
24,2	0,2763	65,7	15,220	31,2	0,9915	49,68	20,127
24,4	0,2887	65,4	15,290	31,4	1,0222	48,84	20,476
24,6	0,3016	65,1	15,361	31,6	1,0535	47,92	20,867
24,8	0,3148	64,79	15,435	31,8	1,0857	46,91	21,317
25,0	0,3284	64,47	15,511	32,0	1,1185	45,74	21,863
25,2	0,3425	64,15	15,589	32,2	1,1522	42,86	23,330
25,4	0,357	63,82	15,669	32,4	1,1866	39,99	25,007
25,6	0,3718	63,49	15,751	32,6	1,2219	37,11	26,945
25,8	0,3872	63,15	15,836	32,8	1,2581	34,24	29,209
26,0	0,4029	62,8	15,923				
26,2	0,4191	62,45	16,013				
26,4	0,4358	62,09	16,105				
26,6	0,4529	61,73	16,201				
26,8	0,4704	61,35	16,299				

Tabela 3 – b
HIDROGÊNIO

Os dados indicados correspondem à massa específica em kg/m³. Pressão [MPa]. T [K].

Pressão	0,08	0,10									
T											
19,4	71,77	71,80									
19,6		71,57									
19,8		71,35									
20,0		71,12									
20,2		70,89									
Pressão	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20
T											
19,4	71,93	72,05	72,18	72,30	72,42	72,54	72,66	72,78	72,89	73,01	73,12
19,6	71,70	71,83	71,96	72,09	72,21	72,33	72,45	72,57	72,69	72,80	72,92
19,8	71,48	71,61	71,74	71,87	72,00	72,12	72,24	72,36	72,48	72,60	72,72
20,0	71,25	71,39	71,52	71,65	71,78	71,90	72,03	72,15	72,27	72,40	72,51
20,2	71,02	71,16	71,30	71,43	71,56	71,69	71,81	71,94	72,06	72,19	72,31
20,4	70,79	70,93	71,07	71,20	71,34	71,47	71,60	71,72	71,85	71,98	72,10
20,6	70,55	70,70	70,84	70,97	71,11	71,24	71,38	71,51	71,63	71,76	71,89
20,8	70,31	70,46	70,60	70,74	70,88	71,02	71,15	71,29	71,42	71,54	71,67
21,0	70,07	70,22	70,36	70,51	70,65	70,79	70,93	71,06	71,19	71,33	71,46
21,2	69,82	69,97	70,12	70,27	70,41	70,56	70,70	70,83	70,97	71,10	71,24
21,4	69,57	69,73	69,88	70,03	70,18	70,32	70,46	70,60	70,74	70,88	71,01
21,6	69,31	69,47	69,63	69,78	69,93	70,08	70,23	70,37	70,51	70,65	70,79
21,8	69,05	69,22	69,38	69,53	69,69	69,84	69,99	70,13	70,28	70,42	70,56
22,0	68,79	68,96	69,12	69,28	69,44	69,59	69,74	69,89	70,04	70,18	70,33
22,2	68,52	68,69	68,86	69,02	69,18	69,34	69,50	69,65	69,80	69,95	70,09
22,4	68,25	68,42	68,59	68,76	68,93	69,09	69,25	69,40	69,56	69,71	69,85
22,6	67,97	68,15	68,32	68,50	68,66	68,83	68,99	69,15	69,31	69,46	69,61
22,8	67,68	67,87	68,05	68,23	68,40	68,57	68,73	68,90	69,06	69,21	69,37
23,0		67,58	67,77	67,95	68,13	68,30	68,47	68,64	68,80	68,96	69,12
23,2		67,29	67,48	67,67	67,85	68,03	68,21	68,38	68,54	68,71	68,87
23,4		67,00	67,19	67,39	67,57	67,76	67,93	68,11	68,28	68,45	68,61
23,6		66,70	66,90	67,10	67,29	67,48	67,66	67,84	68,01	68,19	68,35
23,8		66,39	66,60	66,80	67,00	67,19	67,38	67,56	67,74	67,92	68,09
24,0		66,08	66,29	66,50	66,70	66,90	67,09	67,28	67,47	67,65	67,82
24,2		65,76	65,98	66,19	66,40	66,61	66,80	67,00	67,19	67,37	67,55
24,4		65,43	65,66	65,88	66,09	66,30	66,51	66,71	66,90	67,09	67,28
24,6			65,33	65,56	65,78	66,00	66,21	66,41	66,61	66,81	67,00
24,8			64,99	65,23	65,46	65,68	65,90	66,11	66,32	66,52	66,71
25,0			64,65	64,90	65,13	65,36	65,59	65,80	66,01	66,22	66,42
25,2			64,30	64,55	64,80	65,04	65,27	65,49	65,71	65,92	66,12
25,4			63,94	64,20	64,46	64,70	64,94	65,17	65,40	65,61	65,82
25,6			63,57	63,84	64,11	64,36	64,61	64,85	65,08	65,30	65,52
25,8			63,19	63,47	63,75	64,01	64,27	64,51	64,75	64,98	65,21
26,0				63,09	63,38	63,65	63,92	64,17	64,42	64,66	64,89
26,2				62,70	63,00	63,29	63,56	63,83	64,08	64,33	64,57
26,4				62,30	62,61	62,91	63,20	63,47	63,73	63,99	64,23
26,6				61,88	62,21	62,52	62,82	63,10	63,38	63,64	63,90

Tabela 4 – a
NITROGÊNIO

T [K]	P _{vapor} [MPa]	massa esp. [kg/m ³]	volume/massa [dm ³ /kg]	T [K]	P _{vapor} [MPa]	massa esp. [kg/m ³]	volume/massa [dm ³ /kg]
75,0	0,076	819,3	1,221	105,0	1,0835	656,2	1,524
76,0	0,086	814,8	1,227	106,0	1,1537	649,4	1,540
77,0	0,0971	810,3	1,234	107,0	1,227	642,3	1,557
78,0	0,1091	805,7	1,241	108,0	1,3037	635,1	1,575
79,0	0,1223	801,1	1,248	109,0	1,3837	627,7	1,593
80,0	0,1367	796,4	1,256	110,0	1,4672	620,1	1,613
81,0	0,1523	791,6	1,263	111,0	1,5543	612,3	1,633
82,0	0,1692	786,8	1,271	112,0	1,645	604,3	1,655
83,0	0,1875	782,0	1,279	113,0	1,7394	595,9	1,678
84,0	0,2072	777,0	1,287	114,0	1,8376	587,3	1,703
85,0	0,2284	772,0	1,295	115,0	1,9398	578,2	1,729
86,0	0,2512	767,0	1,304	116,0	2,046	568,8	1,758
87,0	0,2757	761,9	1,313	117,0	2,1564	558,9	1,789
88,0	0,3019	756,7	1,322	118,0	2,2709	548,4	1,823
89,0	0,3299	751,4	1,331	119,0	2,3899	537,2	1,861
90,0	0,3597	746,1	1,340	120,0	2,5133	525,2	1,904
91,0	0,3915	740,7	1,350	121,0	2,6414	512,0	1,953
92,0	0,4254	735,3	1,360	122,0	2,7742	497,2	2,011
93,0	0,4613	729,7	1,370	123,0	2,912	480,1	2,083
94,0	0,4994	724,1	1,381	124,0	3,055	458,9	2,179
95,0	0,5397	718,4	1,392	125,0	3,2034	429,5	2,328
96,0	0,5823	712,6	1,403	126,0	3,3578	442,6	2,259
97,0	0,6274	7006,8	1,415				
98,0	0,6749	700,8	1,427				
99,0	0,725	694,8	1,439				
100,0	0,7777	688,6	1,452				
101,0	0,8331	682,4	1,465				
102,0	0,8913	676,0	1,479				
103,0	0,9524	669,6	1,493				
104,0	1,0164	663,0	1,508				

Tabela 4 – b
NITROGÊNIO

Os dados indicados correspondem à massa específica em kg/m³. Pressão [MPa]. T [K].

Pressão	0,08	0,10									
T											
75,0	819,3	819,3									
75,5		817,1									
76,0		814,8									
76,5		812,6									
77,0		810,3									
Pressão	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,50	3,00
T											
75,0	819,6	820,0	820,4	820,8	821,2	821,8	822,3	822,8	823,3	824,3	825,3
75,5	817,3	817,8	818,2	818,6	819,0	819,6	820,1	820,6	821,1	822,2	823,2
76,0	815,1	815,5	815,9	816,4	816,8	817,4	817,9	818,4	819,0	820,0	821,1
76,5	812,8	813,2	813,7	814,1	814,6	815,1	815,7	816,2	816,8	817,9	818,9
77,0	810,5	811,0	811,4	811,9	812,3	812,9	813,5	814,0	814,6	815,7	816,8
77,5	808,2	808,7	809,2	809,6	810,1	810,7	811,2	811,8	812,4	813,5	814,6
78,0	805,9	806,4	806,9	807,3	807,8	808,4	809,0	809,6	810,1	811,3	812,4
78,5	803,6	804,1	804,5	805,0	805,5	806,1	806,7	807,3	807,9	809,1	810,2
79,0	801,2	801,7	802,2	802,7	803,2	803,8	804,4	805,0	805,6	806,8	808,0
79,5	798,9	799,4	799,9	800,4	800,9	801,5	802,1	802,8	803,4	804,6	805,8
80,0	796,5	797,0	797,5	798,1	798,6	799,2	799,8	800,5	801,1	802,3	803,6
80,5	794,1	794,6	795,2	795,7	796,2	796,9	797,5	798,2	798,8	800,1	801,3
81,0	791,7	792,2	792,8	793,3	793,9	794,5	795,2	795,8	796,5	797,8	799,1
81,5	789,3	789,8	790,4	790,9	791,5	792,2	792,8	793,5	794,2	795,5	796,8
82,0	786,3	787,4	788,0	788,5	798,1	789,8	790,5	791,2	791,8	793,2	794,5
82,5	784,4	785,0	785,5	786,1	786,7	787,4	788,1	788,8	789,5	790,9	792,2
83,0	781,9	782,5	783,1	783,7	784,3	785,0	785,7	786,4	787,1	788,5	789,9
83,5	779,4	780,0	780,6	781,2	781,8	782,6	783,3	784,0	784,8	786,2	787,6
84,0		777,5	778,1	778,8	779,4	780,1	780,9	781,6	782,4	783,8	785,3
84,5		775,0	775,7	776,3	776,9	777,7	778,4	779,2	780,0	781,4	782,9
85,0		772,5	773,1	773,8	774,4	775,2	776,0	776,8	777,5	779,1	780,5
85,5		770,0	770,6	771,3	771,9	772,7	773,5	774,3	775,1	776,6	778,2
86,0		767,4	768,1	768,7	769,4	770,2	771,0	771,8	772,6	774,2	775,8
86,5		764,8	765,5	766,2	766,9	767,7	768,5	769,4	770,2	771,8	773,4
87,0		762,2	762,9	763,6	764,3	765,2	766,0	766,9	767,7	769,3	771,0
87,5		759,6	760,3	761,0	761,7	762,6	763,5	764,4	765,2	766,9	768,5
88,0		757,0	757,7	758,4	759,2	760,1	760,9	761,8	762,7	764,4	766,1
88,5		754,3	755,1	755,8	756,6	757,5	758,4	759,3	760,2	761,9	763,6
89,0		751,6	752,4	753,2	753,9	754,9	755,8	756,7	757,6	759,4	761,1
89,5		748,9	749,7	750,5	751,3	752,2	753,2	754,1	755,0	756,9	758,6
90,0		746,2	747,0	747,8	748,6	749,6	750,6	751,5	752,5	754,3	756,1
90,5		743,5	744,3	745,1	745,9	746,9	747,9	748,9	749,9	751,8	753,6
91,0		740,7	741,6	742,4	743,2	744,2	745,3	746,3	747,2	749,2	751,1
91,5			738,8	739,7	740,5	741,5	742,6	743,6	744,6	746,6	748,5
92,0			736,0	736,9	737,8	738,8	739,9	740,9	741,9	744,0	745,9
92,5			733,2	734,1	735,0	736,1	737,2	738,2	739,3	741,3	743,4

Tabela 4 – b (continuação)
NITROGÊNIO

Os dados indicados correspondem à massa específica em kg/m³. Pressão [MPa]. T [K].

Pressão	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,50	3,00
T											
93,0			730,4	731,3	732,2	733,3	734,4	735,5	736,6	738,7	740,7
93,5			727,5	728,4	729,4	730,5	731,6	732,8	733,9	736,0	738,1
94,0			724,6	725,6	726,5	727,7	728,9	730,0	731,1	733,3	735,5
94,5			721,7	722,7	723,7	724,9	726,0	727,2	728,4	730,6	732,8
95,0			718,8	719,8	720,8	722,0	723,2	724,4	725,6	727,9	730,1
95,5			715,8	716,8	717,8	719,1	720,3	721,6	722,8	725,1	727,4
96,0			712,8	713,8	714,9	716,2	717,5	718,7	719,9	722,4	724,7
96,5				710,8	711,9	713,2	714,5	715,8	717,1	719,6	721,9
97,0				707,8	708,9	710,3	711,6	712,9	714,2	716,7	719,2
97,5				704,7	705,9	707,3	708,6	710,0	711,3	713,9	716,4
98,0				701,6	702,8	704,2	705,6	707,0	708,4	711,0	713,6
98,5				698,5	699,7	701,2	702,6	704,0	705,4	708,1	710,7
99,0				695,3	699,5	698,1	699,5	701,0	702,4	705,2	707,9
99,5				692,1	693,4	694,9	696,4	697,9	699,4	702,2	705,0
100,0				688,8	690,2	691,7	693,3	694,8	696,3	699,3	702,1
100,5					686,9	688,5	690,1	691,7	693,3	696,3	699,1
101,0					683,6	685,3	686,9	688,6	690,1	693,2	696,2
101,5					680,3	682,0	683,7	685,4	687,0	690,2	693,2
102,0					676,9	678,7	680,4	682,1	683,8	687,1	690,2
102,5					673,5	675,3	677,1	678,9	680,6	683,9	687,1
103,0					670,0	671,9	673,7	675,6	677,3	680,8	684,0
103,5					666,4	668,4	670,3	672,2	674,0	677,6	680,9
104,0						664,9	666,9	668,8	670,7	674,3	677,8
104,5						661,3	663,4	665,4	667,3	671,0	674,6
105,0						657,7	659,8	661,9	663,9	667,7	671,4
105,5						654,0	656,2	658,3	660,4	664,3	668,1
106,0						650,3	652,5	654,7	656,9	660,9	664,8
106,5						646,4	648,8	651,1	653,3	657,5	661,5
107,0						642,5	645,0	647,3	649,6	654,0	658,1
107,5							641,1	643,6	645,9	650,4	654,7
108,0							637,2	639,7	642,2	646,8	651,2
108,5							633,1	635,8	638,3	643,2	647,7
109,0							629,0	631,8	634,4	639,4	644,1
109,5							624,8	627,7	630,4	635,6	640,5
110,0							620,5	623,5	626,4	631,8	636,8
110,5								619,2	622,2	627,9	633,1
111,0								614,8	618,0	623,8	629,2
111,5								610,3	613,6	619,8	625,4
112,0								605,7	609,2	615,6	621,4
112,5								600,9	604,6	611,3	617,4
113,0								596,0	599,9	606,9	613,3
113,5									595,0	602,4	609,1
114,0									590,0	597,8	604,8
114,5									584,4	593,1	600,4

Tabela 5 – a
OXIGÊNIO

T [K]	P _{vapor} [MPa]	massa esp. [kg/m ³]	volume/massa [dm ³ /kg]	T [K]	P _{vapor} [MPa]	massa esp. [kg/m ³]	volume/massa [dm ³ /kg]
***	***	***	***	120,0	1,0222	973,9	1,0268
***	***	***	***	121,0	1,0827	967,2	1,0339
***	***	***	***	122,0	1,1458	960,5	1,0411
88,0	0,0801	1151,9	0,8682	123,0	1,2114	953,7	1,0485
89,0	0,0893	1147,0	0,8719	124,0	1,2797	946,8	1,0562
90,0	0,0993	1142,0	0,8756	125,0	1,3507	939,7	1,0642
91,0	0,1102	1137,0	0,8795	126,0	1,4245	932,5	1,0723
92,0	0,1219	1132,0	0,8834	127,0	1,5012	925,2	1,0808
93,0	0,1346	1127,0	0,8873	128,0	1,5807	917,8	1,0896
94,0	0,1483	1121,9	0,8913	129,0	1,6633	910,2	1,0987
95,0	0,1631	1116,8	0,8954	130,0	1,7488	902,4	1,1081
96,0	0,1789	1111,7	0,8995	131,0	1,8375	894,5	1,1179
97,0	0,1958	1106,5	0,9037	132,0	1,9294	886,4	1,1282
98,0	0,2139	1101,3	0,9080	133,0	2,0245	878,1	1,1388
99,0	0,2333	1096,1	0,9123	134,0	2,1229	869,6	1,1500
100,0	0,254	1090,8	0,9167	135,0	2,2248	860,9	1,1616
101,0	0,276	1085,5	0,9212	136,0	2,3301	851,9	1,1738
102,0	0,2994	1080,1	0,9258	137,0	2,4389	842,7	1,1867
103,0	0,3243	1074,7	0,9305	138,0	2,5514	833,2	1,2002
104,0	0,3506	1069,3	0,9352	139,0	2,6676	823,3	1,2146
105,0	0,3785	1063,8	0,9401	140,0	2,7875	813,2	1,2298
106,0	0,4081	1058,2	0,9450	141,0	2,9114	802,6	1,2459
107,0	0,4392	1052,6	0,9500	142,0	3,0392	791,6	1,2632
108,0	0,4722	1046,9	0,9552	143,0	3,1711	780,2	1,2818
109,0	0,5069	1041,2	0,9604	144,0	3,3072	768,2	1,3018
110,0	0,5434	1035,4	0,9658	145,0	3,4476	755,5	1,3236
111,0	0,5818	1029,6	0,9712	146,0	3,5924	742,2	1,3474
112,0	0,6222	1023,7	0,9768	147,0	3,7417	727,9	1,3738
113,0	0,6646	1017,7	0,9826	148,0	3,8958	712,6	1,4033
114,0	0,709	1011,7	0,9884	149,0	4,0547	695,9	1,4369
115,0	0,7556	1005,6	0,9944	150,0	4,2186	677,5	1,4760
116,0	0,8043	999,4	1,0006	151,0	4,3878	656,6	1,5230
117,0	0,8553	993,2	1,0069	152,0	4,5625	631,8	1,5828
118,0	0,9085	986,8	1,0134	153,0	4,7432	599,9	1,6670
119,0	0,9642	980,4	1,0200	154,0	4,9305	550,3	1,8173

Tabela 5 – b
OXIGÊNIO

Os dados indicados correspondem à massa específica em kg/m³. Pressão [MPa]. T [K].

Pressão	0,08	0,10									
T											
88,0		1151,9									
88,5		1149,4									
89,0		1146,9									
89,5		1144,5									
90,0		1142,0									
Pressão	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00
T											
88,0	1152,1	1152,5	1152,9	1153,4	1153,8	1154,8	1155,9	1156,9	1157,9	1158,9	1160,0
88,5	1149,6	1150,1	1150,5	1150,9	1151,3	1152,4	1153,4	1154,5	1155,5	1156,6	1157,6
89,0	1147,2	1147,6	1148,0	1148,5	1148,9	1150,0	1151,0	1152,1	1153,1	1154,2	1155,2
89,5	1144,7	1145,1	1145,5	1146,0	1146,4	1147,5	1148,6	1149,6	1150,7	1151,8	1152,8
90,0	1142,2	1142,6	1143,1	1143,5	1144,0	1145,0	1146,1	1147,2	1148,3	1149,4	1150,4
90,5	1139,7	1140,1	1140,6	1141,0	1141,5	1142,6	1143,7	1144,8	1145,9	1146,9	1148,0
91,0	1137,2	1137,6	1138,1	1138,5	1139,0	1140,1	1141,2	1142,3	1143,4	1144,5	1145,6
91,5	1134,7	1135,1	1135,6	1136,1	1136,5	1137,6	1138,8	1139,9	1141,0	1142,1	1143,2
92,0	1132,2	1132,6	1133,1	1133,5	1134,0	1135,2	1136,3	1137,4	1138,5	1139,7	1140,8
92,5	1129,6	1130,1	1130,6	1131,0	1131,5	1132,7	1133,8	1135,0	1136,1	1137,2	1138,3
93,0	1127,1	1127,6	1128,0	1128,5	1129,0	1130,2	1131,3	1132,5	1133,6	1134,8	1135,9
93,5	1124,5	1125,0	1125,5	1126,0	1126,5	1127,7	1128,8	1130,0	1131,2	1132,3	1133,5
94,0	1122,0	1122,5	1123,0	1123,5	1123,9	1125,1	1126,3	1127,5	1128,7	1129,9	1131,0
94,5	1119,4	1119,9	1120,4	1120,9	1121,4	1122,6	1123,8	1125,0	1126,2	1127,4	1128,6
95,0	1116,9	1117,4	1117,9	1118,4	1118,9	1120,1	1121,3	1122,5	1123,7	1124,9	1126,1
95,5	1114,3	1114,8	1115,3	1115,8	1116,3	1117,5	1118,8	1120,0	1121,2	1122,4	1123,6
96,0	1111,7	1112,2	1112,7	1113,2	1113,7	1115,0	1116,3	1117,5	1118,7	1119,9	1121,2
96,5	1109,1	1109,6	1110,1	1110,6	1111,2	1112,4	1113,7	1115,0	1116,2	1117,4	1118,7
97,0	1106,5	1107,0	1107,5	1108,1	1108,6	1109,9	1111,2	1112,4	1113,7	1114,9	1116,2
97,5		1104,4	1104,9	1105,5	1106,0	1107,3	1108,6	1109,9	1111,2	1112,4	1113,7
98,0		1101,8	1102,3	1102,8	1103,4	1104,7	1106,0	1107,3	1108,6	1109,9	1111,2
98,5		1099,1	1099,7	1100,2	1100,8	1102,1	1103,4	1104,8	1106,1	1107,4	1108,7
99,0		1096,5	1097,0	1097,6	1098,1	1099,5	1100,9	1102,2	1103,5	1104,8	1106,1
99,5		1093,8	1094,4	1094,9	1095,5	1096,9	1098,3	1099,6	1101,0	1102,3	1103,6
100,0		1091,2	1091,7	1092,3	1092,9	1094,3	1095,6	1097,0	1098,4	1099,7	1101,1
100,5		1088,5	1089,1	1089,6	1090,2	1091,6	1093,0	1094,4	1095,8	1097,2	1098,5
101,0		1085,8	1086,4	1086,9	1087,5	1089,0	1090,4	1091,8	1093,2	1094,6	1095,9
101,5		1083,1	1083,7	1084,3	1084,8	1086,3	1087,8	1089,2	1090,6	1092,0	1093,4
102,0		1080,4	1081,0	1081,6	1082,2	1083,6	1085,1	1086,5	1088,0	1089,4	1090,8
102,5		1077,6	1078,2	1078,8	1079,5	1081,0	1082,4	1083,9	1085,4	1086,8	1088,2
103,0		1074,9	1075,5	1076,1	1076,7	1078,3	1079,8	1081,2	1082,7	1084,2	1085,6
103,5		1072,1	1072,8	1073,4	1074,0	1075,5	1077,1	1078,6	1080,1	1081,5	1083,0
104,0		1069,4	1070,0	1070,6	1071,3	1072,8	1074,4	1075,9	1077,4	1078,9	1080,4
104,5		1066,6	1067,2	1067,9	1068,5	1070,1	1071,7	1073,2	1074,7	1076,3	1077,7
105,0		1063,8	1064,4	1065,1	1065,7	1067,3	1068,9	1070,5	1072,1	1073,6	1075,1
105,5		1061,0	1061,6	1062,3	1062,9	1064,6	1066,2	1067,8	1069,4	1070,9	1072,5
106,0			1058,8	1059,5	1060,1	1061,8	1063,4	1065,1	1066,7	1068,2	1069,8

Tabela 5 – b (continuação)
OXIGÊNIO

Os dados indicados correspondem à massa específica em kg/m³. Pressão [MPa]. T [K].

Pressão	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00
T											
106,5			1056,0	1056,6	1057,3	1059,0	1060,7	1062,3	1063,9	1065,5	1067,1
107,0			1053,1	1053,8	1054,5	1056,2	1057,9	1059,6	1061,2	1062,8	1064,4
107,5			1050,2	1051,0	1051,7	1053,4	1055,1	1056,8	1058,5	1060,1	1061,7
108,0			1047,4	1048,1	1048,8	1050,6	1052,3	1054,0	1055,7	1057,4	1059,0
108,5			1044,5	1045,2	1045,9	1047,7	1049,5	1051,2	1052,9	1054,6	1056,3
109,0			1041,5	1042,3	1043,0	1044,8	1046,6	1048,4	1050,1	1051,9	1053,6
109,5			1038,6	1039,4	1040,1	1042,0	1043,8	1045,6	1047,3	1049,1	1050,8
110,0			1035,6	1036,4	1037,2	1039,0	1040,9	1042,7	1044,5	1046,3	1048,0
110,5			1032,7	1033,4	1034,2	1036,1	1038,0	1039,9	1041,7	1043,5	1045,3
111,0			1029,7	1030,5	1031,3	1033,2	1035,1	1037,0	1038,8	1040,7	1042,5
111,5				1027,5	1028,3	1030,2	1032,2	1034,1	1036,0	1037,8	1039,7
112,0				1024,4	1025,3	1027,3	1029,2	1031,2	1033,1	1035,0	1036,8
112,5				1021,4	1022,2	1024,3	1026,3	1028,3	1030,2	1032,1	1034,0
113,0				1018,3	1019,2	1021,3	1023,3	1025,3	1027,3	1029,2	1031,1
113,5				1015,2	1016,1	1018,2	1020,3	1022,3	1024,3	1026,3	1028,3
114,0				1012,1	1013,0	1015,2	1017,3	1019,4	1021,4	1023,4	1025,4
114,5				1009,0	1009,9	1012,1	1014,2	1016,3	1018,4	1020,5	1022,5
115,0				1005,8	1006,7	1009,0	1011,2	1013,3	1015,4	1017,5	1019,6
115,5				1002,6	1003,6	1005,9	1008,1	1010,3	1012,4	1014,5	1016,6
116,0					1000,4	1002,7	1005,0	1007,2	1009,4	1011,5	1013,7
116,5					997,2	999,5	1001,8	1004,1	1006,3	1008,5	1010,7
117,0					993,9	996,3	998,7	1001,0	1003,3	1005,5	1007,7
117,5					990,6	993,1	995,5	997,9	1000,2	1002,4	1004,7
118,0					987,3	989,8	992,3	994,7	997,1	999,4	1001,6
118,5					984,0	986,6	989,1	991,5	993,9	996,3	998,6
119,0					980,6	983,3	985,8	988,3	990,7	993,1	995,5
119,5					977,2	979,9	982,5	985,1	987,6	990,0	992,4
120,0						976,5	979,2	981,8	984,3	986,8	989,3
120,5						973,1	975,9	978,5	981,1	983,6	986,1
121,0						969,7	972,5	975,2	977,8	980,4	982,9
121,5						966,2	969,1	971,8	974,5	977,2	979,7
122,0						962,7	965,6	968,4	971,2	973,9	976,5
122,5						959,2	962,1	965,0	967,8	970,6	973,3
123,0						955,6	958,6	961,6	964,4	967,2	970,0
123,5						951,9	955,1	958,1	961,0	963,9	966,7
124,0						948,3	951,5	954,6	957,6	960,5	963,3
124,5						944,6	947,8	951,0	954,1	957,1	960,0
125,0						940,8	944,2	947,4	950,6	953,6	956,6
125,5						937,0	940,4	943,8	947,0	950,1	953,1
126,0						933,1	936,7	940,1	943,4	946,6	949,7
126,5						929,2	932,9	936,4	939,7	943,0	946,2
127,0							929,0	932,6	936,1	939,4	942,7
127,5							925,1	928,8	932,3	935,8	939,1
128,0							921,1	924,9	928,6	932,1	935,5
128,5							917,1	921,0	924,7	928,4	931,8

Apêndice B
Matriz de Correlação entre OIML R 81 e Portaria Inmetro nº.
58 de 1997

Matriz de Correlação entre OIML R 81 e Portaria Inmetro nº. 58 de 1997

A relação apresentada visa orientar na comparação entre os diferentes assuntos abordados pelos documentos tomados como referência. Deve-se observar que a indicação “---” representa que determinado item ou assunto não foi contemplado pela documentação específica.

ASSUNTO		OIML R81	PORT. INMETRO Nº 58 DE 1997
Escopo/Objetivo		1	1
Aplicação		2	1
Terminologia		3	2
Método de ensaio		4	---
Unidades		5.1 / 9.1	4.1.1.2
Erro máximo admissível	Aprovação de modelo de sistema	6.1	---
	Aprovação de modelo de medidor	6.2	5.3
	Aprovação de sensor de temperatura	6.3.1	---
	Aprovação de sensor de pressão	6.3.2	---
	Aprovação de sensor de massa específica	6.3.3	---
	Aprovação de transdutor de medição	6.3.4	---
	Aprovação de dispositivo calculador	6.3.5	---
	Aprovação de dispositivo de conversão	6.3.6	---
	Verificação inicial ou periódica de sistema	6.4	5.4
Critério de repetitividade das medições		6.5	---
Critério de repetitividade para padrão de trabalho		---	5.6.4
Especificação das vazões máxima e mínima		7.1	6.1
Razão entre vazão máxima e mínima		7.2	6.2
Quantidade mínima mensurável		8	7
Dispositivo de pré-determinação		---	8
Dispositivos de indicação	Aspectos gerais	9.1	4.2
	Escala	9.1.1	4.1.1.5 / 4.3
	Dispositivo de retorno ao zero	9.2	4.4
	Indicador de totalização	9.3	4.5
	Indicadores múltiplos	---	4.6
Dispositivo de impressão		10	4.7

ASSUNTO		OIML R81	PORT. INMETRO Nº 58 DE 1997
Sistemas de medição	Manutenção do estado líquido	11.1	9.2.1
	Eliminação da fase gasosa	---	9.1.1
	Mecanismos de ajuste	11.2	9.5
	Selagem mecânica	11.3.1	13.3
	Selagem eletrônica	11.3.2	---
	Dispositivos de memória	11.4	---
	Compensação automática de temperatura e massa específica	---	9.6
Linhas de descarga e válvulas	Linhas de retorno de vapor	12.1	10.1
	Derivação	---	9.3
	Válvula de direcionamento de fluxo	12.2	10.2
	Desvio do líquido medido	12.3	10.3
	Ponto de transferência	12.4	10.4
	Válvulas e mecanismos de controle	12.5	10.5
	Mangueira de descarga	12.6	10.6
Inscrições obrigatórias		13	4.8
Sistemas de medição equipados com dispositivos eletrônicos	Requisitos gerais	14.1	---
	Dispositivo de fornecimento de energia	14.2	---
	Sistemas de monitoramento	14.3	---
Controle metrológico	Padrão de referência	15	5.6.3
	Aprovação de modelo dos elementos constituintes de um sistema	15.1.1	---
	Documentação	15.1.2	11.1
	Número de protótipos	15.1.2.3	11.1.1 / 11.1.2 / 11.1.3
	Portaria de aprovação de modelo	15.1.3	---
	Modificação de um modelo aprovado	15.1.4	---
	Aprovação de modelo de medidor ou transdutor de medição	15.1.5	---
	Aprovação de modelo de calculador eletrônico	15.1.6	---
	Aprovação de modelo de dispositivo de conversão	15.1.7	---
	Aprovação de modelo de dispositivo auxiliar	15.1.8	---
	Aprovação de modelo de sistema de medição	15.1.9	---
	Aprovação de modelo de dispositivo eletrônico	15.1.10	---
	Verificação inicial	15.2	12
	Verificações periódicas	15.3	13

ASSUNTO		OIML R81	PORT. INMETRO Nº 58 DE 1997
	Verificações eventuais	---	13
Controle metrológico	Padrão de referência	15	5.6.3
	Aprovação de modelo dos elementos constituintes de um sistema	15.1.1	---
	Documentação	15.1.2	11.1
	Número de protótipos	15.1.2.3	11.1.1 / 11.1.2 / 11.1.3
	Portaria de aprovação de modelo	15.1.3	---
	Modificação de um modelo aprovado	15.1.4	---
	Aprovação de modelo de medidor ou transdutor de medição	15.1.5	---
	Aprovação de modelo de calculador eletrônico	15.1.6	---
	Aprovação de modelo de dispositivo de conversão	15.1.7	---
	Aprovação de modelo de dispositivo auxiliar	15.1.8	---
	Aprovação de modelo de sistema de medição	15.1.9	---
	Aprovação de modelo de dispositivo eletrônico	15.1.10	---
	Verificação inicial	15.2	12
	Verificações periódicas	15.3	13
	Verificações eventuais	---	13
Condições de ensaio		16	5.6.1
Procedimentos de ensaios de desempenho		16 / Anexo A	---
Ensaio de desgaste		A.1.5	---
Ensaio para verificações		A.2	---
Líquido de ensaio		16.1.1 / A.1.3	5.6.2
Procedimentos de ensaios de desempenho aplicáveis a equipamentos eletrônicos		Anexo B	---
Massa específica dos líquidos		5.2 / Anexo C	---