

### 3

## Fundamentos da metrologia e da cadeia de rastreabilidade

Neste capítulo são revistos os fundamentos básicos de metrologia de suporte ao estudo da padronização primária e da harmonização do valor de referência. Serão também discutidos aspectos críticos da cadeia de rastreabilidade e da estrutura metrológica para medição de vazão de gás natural.

### 3.1

#### Resultado de uma medição

Dentre os atributos significativos para assegurar a qualidade de uma medição destaca-se a exatidão (incerteza, isto é: parâmetro que mede um desvio em relação ao valor verdadeiro) e que apresenta características de reprodutibilidade, comparabilidade, repetitividade e confiabilidade.

**Resultado de uma medição.** Estimativa do valor do objeto da medição. Nesse contexto o resultado somente é completo quando acompanhado de uma unidade e de uma quantidade que declara sua incerteza, ainda assim permanecendo a dúvida sobre o processo de medição [2].

Para se garantir confiabilidade e comparabilidade das medições são necessários:

- métodos primários;
- procedimentos de referência certificados;
- calibração;
- validação do método;
- programa de comparações interlaboratoriais;
- equipamentos calibrados;
- sistemas de qualidade;
- estimativa e expressão da incerteza de medição;
- rastreabilidade
- honestidade intelectual ao se reportar o resultado de medição e os níveis estimados de incerteza associado.

## 3.2 Calibração

Apesar de todos os cuidados usualmente adotados quando da realização de uma determinada medição poderá ainda surgir uma dúvida sobre o valor correto. Nesse instante, é necessário recorrer a um padrão de medição. Um padrão pode ser uma medida materializada, instrumento de medição, material de referência ou sistema de medição destinado a definir, realizar, conservar ou reproduzir uma unidade ou um ou mais valores de uma grandeza adotada como referência.

Para assegurar a garantia da confiabilidade das medições torna-se imprescindível a realização de um processo de comparação com os padrões, processo este denominado de calibração.

**Calibração.** Conjunto de operações que estabelece, sob condições especificadas, a relação entre os valores indicados por um instrumento ou sistema de medição ou valores representados por uma medida materializada ou um material de referência, e os valores correspondentes das grandezas estabelecidos por padrões [2].

O padrão de trabalho deve sempre ser calibrado em laboratórios acreditados, ou seja, laboratórios que tenham demonstrado sua competência técnica, capacidade de medição e rastreabilidade em conformidade com normas e práticas internacionalmente acordadas. Assim procedendo, o laboratório detentor desses padrões pode declarar rastreabilidade ao sistema SI somente após a comparação direta ou indireta desses padrões com outros padrões similares controlados de um instituto nacional de metrologia.

## 3.3 Procedimento de calibração

A norma ISO/IEC NBR-17025 [5] orienta que todo equipamento utilizado em calibrações (incluindo os equipamentos para medições auxiliares) que tenha efeito significativo sobre a exatidão ou validade do resultado do ensaio, calibração ou amostragem deve ser calibrado antes de entrar em serviço. Assim, todo laboratório deve dispor de um programa e procedimento para calibração em seus equipamentos como a própria norma recomenda.

O intervalo entre calibrações é determinado pelo laboratório e dependerá do histórico de calibrações, podendo ser estendido ou reduzido de acordo com seu desempenho. Uma análise bastante aceitável é considerar a deriva como parâmetro para determinação do intervalo de calibração, levando-a em conta também no cálculo da incerteza associada à medição.

O padrão de trabalho passa por verificações periódicas, necessárias à manutenção do status da calibração. O parâmetro de comparação dos valores na verificação será a própria deriva, visto que a deriva entre calibrações não deve ser superior à deriva entre verificações, de forma a não comprometer os limites de incerteza já determinados do padrão. Para esse caso é realizada uma verificação (usualmente trimestral) em toda a faixa de medição do padrão.

Aos laboratórios de calibração compete a calibração de padrões e de instrumentos de medição utilizados nos processos de controle de qualidade imprescindíveis à manutenção da confiabilidade metrológica e do bom desempenho dos processos relacionados à qualidade de produtos e serviços. No caso do Brasil, compete ao Inmetro acreditar laboratórios (calibração e ensaios) com base na versão brasileira da norma ISO/IEC 17025, ou seja, a norma ISO/IEC NBR-17025 [5], a qual estabelece os requisitos básicos para a rastreabilidade dos laboratórios.

### 3.4

#### **Incerteza de medição**

Conforme preconizado pelo Guia Internacional para a Expressão da Incerteza de Medições (ISO GUM) [34], a incerteza associada às estimativas de entrada é avaliada de acordo com os métodos de avaliação do tipo A (análise estatística de uma série de medições) ou do tipo B (outros meios que não a análise estatística). Em alguns casos a natureza do método de medição pode impedir o cálculo rigoroso, metrológica e estatisticamente válido, da incerteza de medição. Nesses casos, o laboratório identifica todos os componentes de incerteza e faz uma estimativa da incerteza global associada.

**Incerteza de medição.** Parâmetro, associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser fundamentalmente atribuídos a um mensurando [2].

A estimativa deve estar baseada no conhecimento do desempenho do método e no escopo da medição e deve fazer uso, por exemplo, de experiência e dados de validação anteriores, sempre seguindo as orientações do Guia para Expressão da Incerteza de Medições. Para tanto se deve proceder não apenas a medição, mas também, o cálculo da incerteza de medição. Os conceitos relacionados à incerteza de medição e do erro (nem sempre adequadamente compreendidos) podem ser entendidos pelo exemplo ilustrado na figura 3.1 que caracteriza o erro (como um desvio do valor verdadeiro) e a incerteza

(como uma distribuição de probabilidade).

Todos os resultados da calibração devem ser expressos com uma faixa simétrica de valores que corresponda ao intervalo de dúvida na afirmativa de que resultados nessa faixa denotem valores prováveis para representar a grandeza submetida à medição. Esta faixa de valores possui como valor médio o resultado da calibração a incerteza associada à medição.

Ao calibrar, os laboratórios devem dispor e aplicar procedimentos de cálculo das incertezas de medição para todas as calibrações realizadas. Para tal, os laboratórios devem ter conhecimento de todas as possíveis fontes de incerteza em seus processos de medição. Algumas fontes de incerteza são comuns a todas as especialidades da metrologia, porém outras são inerentes às atividades realizadas, isto é, às grandezas submetidas à medição.

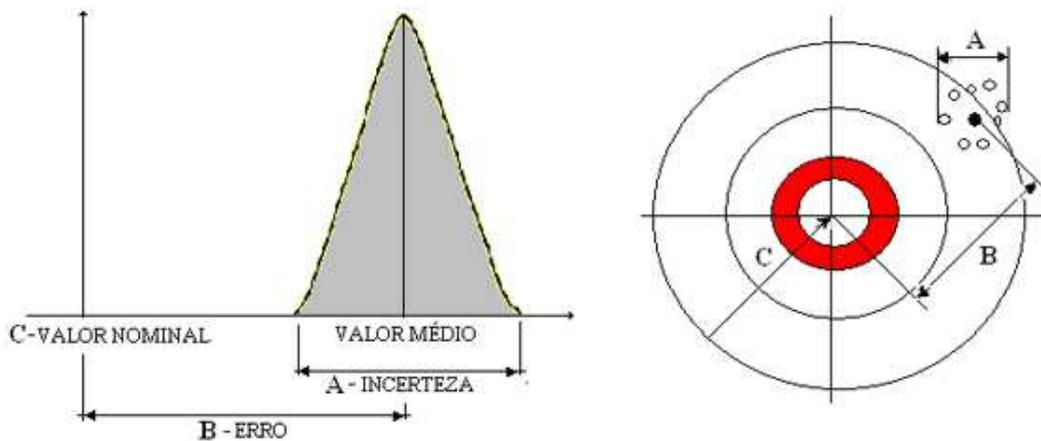


Figura 3.1: Incerteza de medição: representação gráfica

### 3.5 Rastreabilidade

Na maioria das vezes, quando se adquire um instrumento de medição que se faz acompanhar da declaração de que o mesmo está rastreado presume-se que o instrumento foi calibrado contra um padrão de qualidade metrológica mais alta. E que este, por sua vez, foi igualmente calibrado contra um padrão de qualidade metrológica superior, e assim sucessivamente até o padrão do topo da cadeia hierárquica que atribui consistência e robustez ao sistema de medição. Esse é o preceito metrológico que conduz à suposição de que a confiabilidade de um instrumento rastreável a um Laboratório Nacional de Metrologia, isto é, a um padrão nacional que possui qualidade metrológica adequada ao uso e

que não necessita ser questionada.

**Rastreabilidade.** Propriedade do resultado de uma medição (ou do valor de um padrão estar relacionado a referências estabelecidas), geralmente padrões nacionais ou internacionais através de uma cadeia contínua de comparações todas tendo incertezas estabelecidas (VIM) [2].

Todas as etapas da cadeia de rastreabilidade devem estar documentadas, ter procedimentos reconhecidos como adequados e apresentar toda a documentação pertinente à medição. Os resultados obtidos devem ser registrados em um certificado de calibração. Em cada comparação de padrões o resultado da medição deve vir acompanhado da incerteza associada à medição, calculada segundo métodos definidos e reconhecidos internacionalmente, de modo que se obtenha a incerteza total para a cadeia de rastreabilidade. Devem ser definidos intervalos de calibração em função de uma série de variáveis, tais como: frequência e modo de uso dos instrumentos de medição, estabilidade dos equipamentos, incerteza requerida etc.

A garantia da rastreabilidade realizada por laboratórios que utilizam como base a norma ISO/IEC 17025 (norma internacional adotada no Brasil como ABNT NBR ISO/IEC 17025 [5]) requer ações duradouras de longo prazo e depende não apenas de treinamentos especializados, mas, também, de comprometimento dos profissionais envolvidos diretamente no processo.

Cada passo da cadeia de rastreabilidade deve ser realizado de acordo com procedimentos documentados e considerados reconhecidamente adequados. Todo laboratório que opera segundo a lógica metrológica deve estabelecer um programa de calibração para seus equipamentos de medição e de controle ambiental, fazendo uso de padrões de referência e de trabalho, ilustrado na figura 3.2. A periodicidade a ser estabelecida na calibração ficará a critério de cada laboratório, levando-se em conta o conhecimento sobre o equipamento ou padrão em questão. Esta periodicidade poderá variar à medida que o laboratório consolide um histórico de calibrações anteriores e um registro sistemático dos problemas mais frequentes criteriosamente observados e documentados durante as verificações intermediárias.

A rastreabilidade de um laboratório consiste em seus padrões estarem relacionados a padrões nacionais ou internacionais. Para isso o laboratório deverá implementar um programa de calibração de seus equipamentos e de comparação interlaboratorial de seus padrões de referência de modo a ser capaz de assegurar que as calibrações e medições feitas pelo laboratório sejam rastreáveis ao Sistema Internacional de Unidades (SI), sempre com incertezas determina-

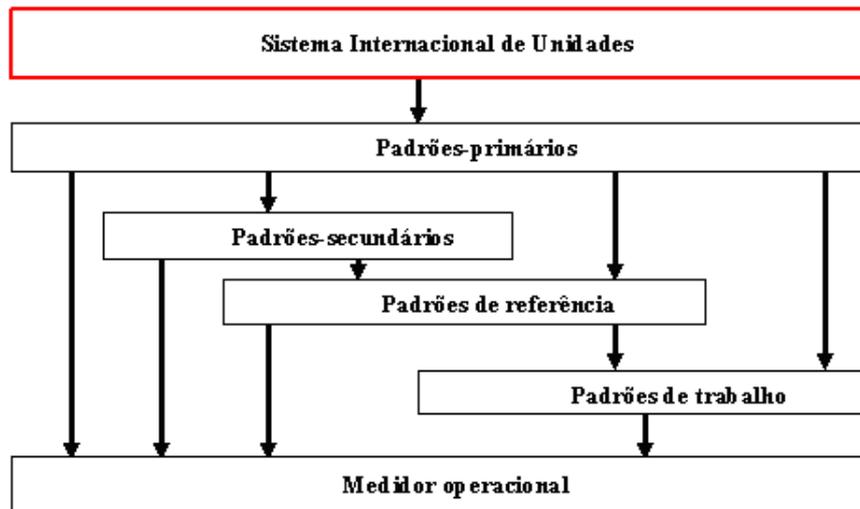


Figura 3.2: A lógica da cadeia de rastreabilidade

das, garantindo assim a continuidade da cadeia metrológica. Somente então as medições e calibrações realizadas pelo laboratório poderão ser consideradas confiáveis em relação a sua incerteza declarada.

No que concernem parâmetros de qualidade metrológica (repetitividade e reprodutibilidade) verificadas nos resultados de calibração é importante reconhecer que ambos são importantes ao se avaliar o desempenho de um laboratório de calibração de medidor de vazão. Muitos fatores, dentre os quais o equipamento de ensaio, instrumentação, sistema de aquisição de dados e o próprio desempenho do laboratorista, podem afetar a repetitividade e a reprodutibilidade de um laboratório de calibração. O laboratório ideal é aquele capaz de assegurar boa repetitividade de suas medições e calibrações, ou seja, boa reprodutibilidade.

Uma maneira eficaz de se avaliar a qualidade dos resultados de um laboratório de calibração é avaliar a sua participação em programas de comparação interlaboratorial (conceituados abaixo), já que esses representam métodos eficazes de validação metrológica, conduzindo à identificação e mensuração de erros em sistemas e técnicas de medição.

### 3.6 Comparações interlaboratoriais

Comparações interlaboratoriais são programas em que um laboratório procura reproduzir a medição realizada por outro laboratório. Podem denotar a medição de um determinado padrão de referência cujo valor nominal é definido por um laboratório de referência. Ou ainda pelo processo completo de calibração obtido pelo referido laboratório que toma como base de com-

paração resultados obtida por outro(s) laboratório(s) que são solicitados repetir a medição em condições similares. Recomendada na norma ABNT NBR ISO/IEC 17025, a prática da comparação interlaboratorial é usada na acreditação de laboratórios provendo ao laboratório participante uma evidência objetiva de sua competência técnica, isto é, de sua capacidade de realizar com confiabilidade metrológica uma determinada calibração ou de desenvolver um ensaio.

Estes programas constituem instrumentos efetivos para o controle de qualidade de laboratórios. A participação em programas interlaboratoriais (ou de ensaios de proficiência) permite ao laboratório uma avaliação externa, regular e independente da qualidade de seus dados. Permite, portanto, comparação de seu desempenho com o de outros laboratórios semelhantes e a possibilidade de receber um assessoramento técnico através do provedor do programa.

### 3.7

#### **Estruturas metrológicas nacionais**

Não obstante diferentes Laboratórios Nacionais de Metrologia adotam diferentes modelos de operação de suas infra-estruturas laboratoriais de calibração, esses laboratórios reúnem algumas características comuns:

- atuam como gestores da política metrológica em seu país
- concentram e supervisionam o conjunto das funções básicas de metrologia, provendo referências metrológicas;
- possuem domínio e acesso ao conhecimento avançado em metrologia e dispõem de moderna infra-estrutura laboratorial;
- atuam como instrumento de transferência de conhecimentos e de prestação de serviços;
- prestam apoio à formulação de políticas públicas em metrologia;
- detêm a representação oficial do país no seu campo de atividade, junto a fóruns regionais e internacionais de metrologia;
- responsabilizam-se pelo tratamento das necessidades não atendidas para o controle metrológico, em um país.

Conforme se observa da experiência de países desenvolvidos, um INM possui uma missão institucional que transcende a sua responsabilidade de gestor da metrologia primária. Assim, o INM atua como instrumento fundamental na formulação de políticas públicas em metrologia e áreas correlatas, principalmente em termos relacionados à medição de interesse das áreas de indústria e comércio exterior, ciência e tecnologia, saúde, meio ambiente e promoção da

cidadania, estando comprometido direto e pró ativamente com o desenvolvimento e a competitividade da empresa nacional. Esse papel exige um INM robusto e competente, além de cientificamente forte, de modo a conferir credibilidade e reconhecimento internacional à metrologia nacional.

O INM é a instituição que concentra e supervisiona o conjunto das funções básicas da metrologia fundamental do país, provendo referências metrológicas confiáveis e de alta qualidade. Sob esse aspecto, um INM detém a guarda dos padrões nacionais, bem como mantém, realiza, reproduz e dissemina as unidades de medida no País. Em princípio, o número de grandezas para as quais sejam necessários padrões de medição confiáveis para o funcionamento normal da sociedade atual (tecnologicamente sofisticada) é enorme e nenhum INM possui condições técnicas e econômicas para deter todos os padrões necessários ou competência e condições técnicas para realizar as unidades de todas essas grandezas. Importante ressaltar que, mesmo não dispondo de infra-estrutura laboratorial para atender segmentos estratégicos demandados pela sociedade, o apoio metrológico a grandezas de pouco impacto econômico ou estratégico para o país não requer necessariamente disponibilidade de padronização no INM, podendo a sua rastreabilidade ser obtida através de um INM estrangeiro ou mesmo de laboratório acreditado, no país ou no exterior, cujo padrão possua rastreabilidade ao SI. Esse aspecto é importante devido ao grande número de grandezas que necessitam de rastreabilidade comprovada e pela grande facilidade de acesso à rastreabilidade em organismos estrangeiros, principalmente laboratórios acreditados e com padrões rastreados aos seus INM.

Nos países industrializados, observa-se um alto grau de centralização de sua metrologia primária, usualmente disponibilizada em uma única ou em poucas instituições. Todas, porém, com alta competência científica e grande inserção no cenário internacional. Essa característica tem sido considerada como uma condição fundamental para assegurar eficiência e eficácia na gestão da metrologia do país, além de constituir-se em requisito básico para a proteção dos interesses do país e das empresas nacionais. É o que se constata, por exemplo, na Alemanha, nos Estados Unidos e no Reino Unido [2].

É importante ressaltar que a estrutura internacional da metrologia tem sua coordenação exercida pelo sistema CGPM/CIPM/BIPM, impondo a cada país signatário da Convenção do Metro o compromisso de se fazer representar por meio de seu INM. O INM pode designar outros institutos no país para uma determinada área de atividade, mas, em geral, isso só ocorre para um número muito reduzido de instituições caracterizadas por sua atuação nacional, comprometimento com a metrologia competência técnica e reconhecimento

científico.

O acelerado desenvolvimento científico e tecnológico consolida cada vez mais o INM como reconhecido centro de conhecimento avançado em metrologia. Nesse quadro, dispor de competências e condições para promover, permanente e intensamente, pesquisa científica e tecnológica de ponta tornou-se um requisito essencial para qualquer Instituto Nacional de Metrologia. Assim, a intensa atividade de pesquisa científica é condição essencial para manter a instituição na fronteira do conhecimento e assegurar a sua credibilidade e respeitabilidade nacional e internacional. É justamente nessa linha que se colocam o *Physikalisch-Technische Bundesanstalt* (PTB) da Alemanha e o *National Institute of Standards and Technology* dos EUA (só para citar alguns exemplos) que desenvolvem pesquisa fundamental e atividades de desenvolvimento no campo da metrologia fundamental e aplicada.

A crescente importância e abrangência da metrologia, acompanhada da globalização da economia trouxe, como consequência, maior estruturação internacional, com grande número de fóruns internacionais atuantes, nos quais a presença do INM é fundamental. A necessidade de maior visibilidade e coordenação da metrologia nacional tem sido colocada como fator crucial para a defesa dos interesses do país e para a melhoria das condições de competitividade de sua indústria. Essa inserção internacional é fundamental para a credibilidade da instituição e aceitação de sua competência metrológica por outras instituições congêneres no mundo.

### 3.7.1

#### **Estrutura de metrologia internacional**

A metrologia requer uma estrutura essencialmente hierárquica. As definições fundamentais das unidades de medida do SI constituem o ponto mais elevado de uma estrutura piramidal estratificada. Junto ao topo desta estrutura, situa-se o BIPM que, entre outras funções, tem por atribuição a guarda dos padrões internacionais de medida e a disseminação das unidades SI aos NMI dos países signatários do Acordo Diplomático da Convenção do Metro, criadora do bureau e que estabeleceu essa lógica hierárquica.

O fórum máximo da estrutura mundial de metrologia é a Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM), que é constituída por representantes dos países membros da Convenção do Metro. Reúne-se de quatro em quatro anos e tem como missão básica assegurar a utilização e aperfeiçoamento do Sistema Internacional de Unidades. No contexto dessa estrutura, dispõe-se do Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM), que é composto por dezoito membros (normalmente de países diferentes, mas, que no exercício de

sua função não representam seus países. O CIPM atua com notoriedade como autoridade científica internacional. Compete ao CIPM convocar e preparar a CGPM e preparar as resoluções a serem submetidas à Conferência Geral de Pesos e Medidas.

O BIPM - Bureau Internacional de Pesos e Medidas - é o laboratório mundial de metrologia, mantido com recursos de todos os países membros, tendo como missão:

- conservar os protótipos internacionais;
- coordenar comparação interlaboratoriais de padrões (comparações-chave);
- definir os valores das Constantes Fundamentais da Física.

O BIPM tem a incumbência de estabelecer a equivalência dos sistemas metrológicos entre países fundamentando-se no estabelecimento da equivalência de padrões nacionais e da equivalência dos certificados de calibração emitidos por esses institutos guardiões dos padrões nacionais. Segundo essa sistemática, a equivalência deve ser estabelecida para cada um dos padrões das unidades de medida que consubstanciam o sistema metrológico dos países. A base de validação dessa sistemática se dá pela participação dos padrões nacionais nas chamadas comparações-chave, cujo entendimento pressupõe compreensão de conceitos de hierarquia e de rastreabilidade metrológica.

Compete aos NMI a guarda dos padrões nacionais e a disseminação (referenciada aos padrões internacionais) das unidades SI para os padrões de referência dos laboratórios acreditados de calibração e ensaio de seus respectivos países. Atingindo a base da pirâmide hierárquica da metrologia, encontram-se os padrões de trabalho dos laboratórios operacionais cuja calibração advém dos padrões de referência dos laboratórios de calibração acreditados. Paralelamente à sua função de garantir a rastreabilidade em seu país, os NMI, de forma independente, mantêm seus padrões nacionais participando de programas regionais de comparações-chave. Para se garantir um sistema metrológico mundial robusto, coerente e compatível entre suas partes, torna-se ainda necessário que estes programas regionais sejam entrelaçados com o programa BIPM dessas mesmas comparações-chave.

Essa sistemática das comparações-chave de padrões nacionais fundamenta as bases conceituais para o estabelecimento da equivalência de padrões nacionais e de certificados de calibração emitidos pelos NMI, subsidiando informações estratégicas que refletem as respectivas capacidades de medição de países que estabelecem e participam de acordos comerciais.

As Organizações Metroológicas Regionais (RMO) foram criadas com o intuito inicial de facilitar esse intercâmbio, no que se refere à assistência em treinamento e processos de calibração para aumentar o nível da competência metroológica de cada laboratório de referência numa determinada região e a garantia da rastreabilidade às unidades do SI. Cada RMO é responsável pelo estabelecimento do grau de equivalência de padrões entre os NMI em cada uma de suas áreas de atuação. Também coordena as interações e estabelece a política em relação ao Acordo de Reconhecimento Mútuo do CIPM.

No exercício de sua missão institucional os Comitês Consultivos trabalham de forma articulada com os laboratórios nacionais e centros de pesquisa e desenvolvimento.

A figura 3.3 ilustra a estrutura central do Tratado Diplomático que deu origem à Convenção do Metro.

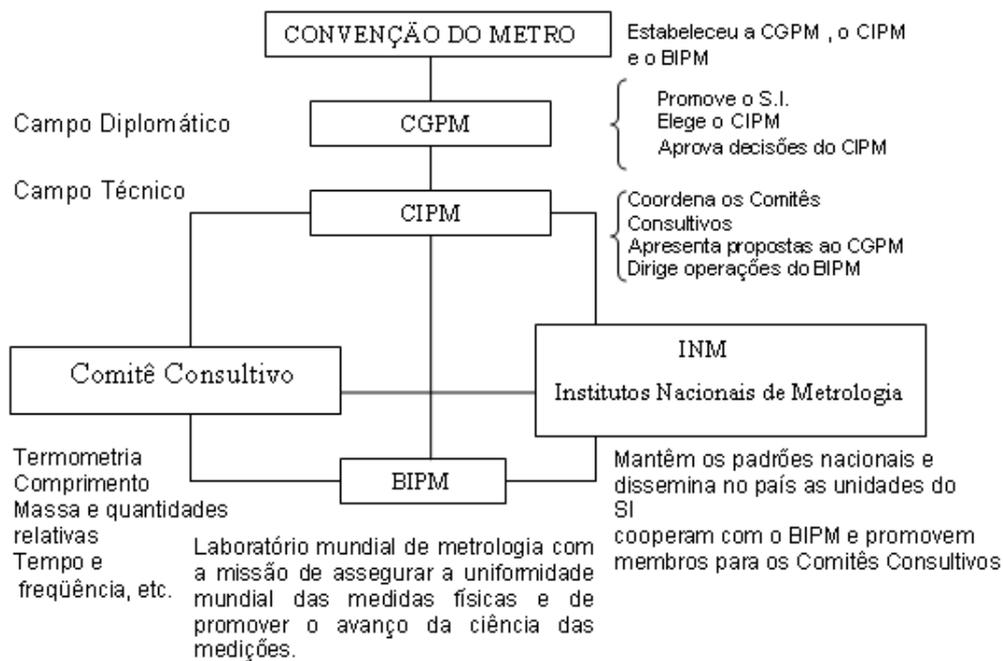


Figura 3.3: Estrutura do Tratado Diplomático da Convenção do Metro. (Fonte: modificado de [3])

### 3.7.2 Estrutura do sistema nacional de metrologia

Concebido de forma integrada e multifuncional, o Brasil dispõe do Sistema Nacional de Metrologia e Qualidade Industrial (Sinmetro) constituído por entidades públicas e privadas que exercem atividades relacionadas com

metrologia, normalização, qualidade industrial e avaliação da conformidade. Foi concebido para prover uma infra-estrutura de serviços tecnológicos essenciais ao país, capaz de avaliar e certificar a qualidade de produtos, processos e serviços por meio de organismos de certificação, rede de laboratórios de ensaio e de calibração, organismos de treinamento, organismos de ensaios de proficiência e organismos de inspeção, todos acreditados pelo Inmetro. Apóiam esse sistema os organismos de normalização, os laboratórios de metrologia científica e industrial e os institutos de metrologia legal operados por organismos estaduais por delegação do Inmetro. Esta estrutura está formada para atender às necessidades da indústria, do comércio, do governo e do consumidor. As seguintes organizações atuam no contexto do Sinmetro:

- Conmetro (órgão normativo do sistema);
- Comitês temáticos (órgão de assessoramento técnico);
- Inmetro (órgão executivo do sistema);
- Organismos de Certificação Acreditados que lidam com Sistemas da Qualidade, Sistemas de Gestão Ambiental, Produtos e Pessoal;
- Organismos Credenciados de Inspeção (OCI);
- Organismos Credenciados de Treinamento (OCT);
- Laboratórios da Diretoria de Metrologia Científica e Industrial do Inmetro;
- Organismo Provedor de Ensaio de Proficiência Acreditados (OPP);
- Laboratórios Acreditados de Calibrações e de Ensaios, integrando a Rede Brasileira de Laboratórios de Calibração (RBC) e de Ensaios (RBLE);
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT);
- Institutos Estaduais de Pesos e Medidas (IPEM);
- Redes Metrológicas Regionais (de âmbito estadual) e outras entidades que atuam em âmbito municipal.

Ou seja, integram o Sinmetro entidades públicas ou privadas que exerçam atividades relacionadas com metrologia, normalização ou avaliação de conformidade. O Sinmetro possui como órgão normativo o Conmetro e como órgão executivo o Inmetro. A síntese da estrutura metrológica do País está ilustrada na figura 3.4.

**Conmetro** - órgão político central do Sinmetro - participam na qualidade de membros natos: oito Ministérios, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), o Instituto de Defesa do Consumidor (IDEC) e a Confederação Nacional da Indústria (CNI). O Conmetro é presidido pelo Ministério



Figura 3.4: Síntese da estrutura da Metrologia no Brasil. Fonte: modificado de [3]

do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) e secretariado pelo Inmetro. O Conmetro é assessorado por comitês técnicos que possuem representação dos principais agentes econômicos, públicos e privados envolvidos especificamente com as questões de metrologia, normalização, certificação, acreditação de laboratórios e organismos de inspeção. São os seguintes os Comitês do Conmetro:

- **Comitê Brasileiro de Normalização (CBN)** - tem por objetivo assessorar o Conmetro e subsidiá-lo nos assuntos relativos à normalização, especialmente àqueles que fazem parte do Termo de Referência do SBN, inclusive no que se refere à relação entre a normalização e a atividade de regulamentação técnica, bem como acompanhar e avaliar a execução e os resultados do Plano Brasileiro de Normalização (PBN). O Comitê possui 24 membros, reunindo representantes dos segmentos de governo, setor privado e consumidores.
- **Comitê Brasileiro de Avaliação da Conformidade (CBAC)** - tem como atribuição assessorar o Conmetro na estruturação de um sistema de avaliação da conformidade harmonizado internacionalmente,

na proposição de princípios e políticas a serem adotados, no âmbito do SBAC.

- **Comitê Brasileiro de Metrologia (CBM)** - tem por objetivo empreender ações relacionadas ao planejamento, formulação e avaliação das diretrizes básicas relacionadas à política nacional de metrologia. Constituído por instituições governamentais e outros representantes da sociedade civil, o Inmetro (sob a responsabilidade do diretor de metrologia científica e industrial) atua como secretaria executiva do Conmetro.
- **Comitê Codex Alimentarius do Brasil (CCAB)** - é um Programa Conjunto da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação (FAO) e da Organização Mundial da Saúde (OMS). Trata-se de um fórum internacional de normalização sobre alimentos, criado em 1962, e suas normas tem como finalidade proteger a saúde da população assegurando práticas equitativas no comércio regional e internacional de alimentos, criando mecanismos internacionais dirigidos à remoção de barreiras tarifárias, fomentando e coordenando todos os trabalhos que se realizam em normalização.
- **Comitê de Coordenação sobre Barreiras Técnicas ao Comércio (CBTC)** - tem os seguintes objetivos: coordenar as ações do Governo e do setor privado relacionadas com a participação do Brasil no Acordo sobre Barreiras Técnicas ao Comércio da OMC (Organização Mundial do Comércio); orientar, coordenar e acompanhar a execução dos trabalhos da Secretaria Executiva exercida pelo Inmetro; manifestar-se sobre a execução do Acordo sobre Barreiras Técnicas ao Comércio (TBT) em geral e, particularmente, no que se refere ao tratamento especial e diferenciado aos países em desenvolvimento. Analisar, avaliar e compatibilizar projetos de normas, regulamentos técnicos e sistemas de avaliação da conformidade com vistas a evitar as chamadas Barreiras Técnicas a produtos brasileiros no comércio internacional

Compete ao Conmetro, dentre outras atividades:

- desenvolver e implementar a metrologia, normalização e certificação da qualidade de produtos industriais;
- assegurar a uniformidade na utilização das unidades de medidas no Brasil;
- divulgar as atividades de normalização e certificação voluntárias;
- estabelecer normas referentes a materiais e produtos industriais, bem como definir critérios para certificação da qualidade;

- coordenar a participação de organizações nacionais em atividades internacionais de metrologia, normalização e certificação da qualidade.

Atuando como órgão executivo do Sinmetro o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro) é uma autarquia federal vinculada ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. No campo da metrologia, compete ao Inmetro a padronização e disseminação das unidades do sistema internacional (SI) e o desenvolvimento das atividades de pesquisa e desenvolvimento, constituindo-se na sua estratégia de facilitar e promover a competitividade brasileira e atender às demandas da sociedade em metrologia.

### 3.8 Equivalência internacional de padrões nacionais de medição

No nível hierárquico dos Institutos Nacionais de Metrologia, a preocupação permanente é a demonstração da equivalência entre os seus padrões de medição, denominados “padrões nacionais”. A prática metrológica para se declarar essa equivalência é a participação em programas de comparações interlaboratoriais internacionais, sob a coordenação do Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM) ou sob a coordenação de organizações regionais de metrologia.

Por esta razão, os Institutos Nacionais de Metrologia dos diversos países assinaram um Acordo de Reconhecimento Mútuo (MRA) coordenado pelo Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM) com o propósito de disciplinar a comparação interlaboratorial nacionais de metrologia assim inter-relacionando seus padrões de medição nacionais, suas calibrações e seus certificados de medição.

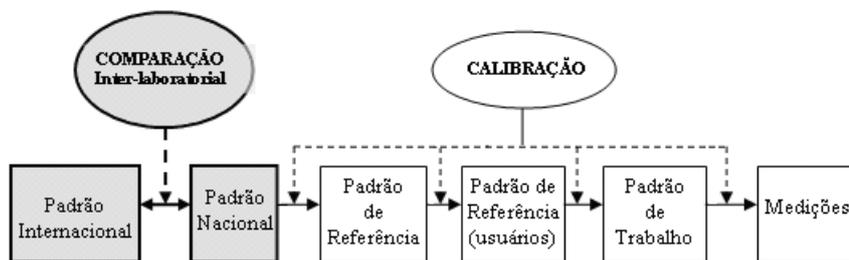


Figura 3.5: A cadeia contínua da rastreabilidade. (Fonte: modificado de [3])

### 3.9

#### Acordo de reconhecimento mútuo

As atividades da metrologia científica e industrial compreendem o desenvolvimento, realização, reprodução, guarda e disseminação dos padrões de medidas, materiais de referência certificados e medidas rastreadas. A credibilidade e a eficácia dos sistemas nacionais de metrologia científica e industrial dependem da existência de Laboratórios Nacionais que garantam a realização e a uniformização das unidades de medidas do Sistema Internacional de Unidades (SI) e a conseqüente rastreabilidade das medições (aos padrões nacionais mantidos pelos Laboratórios Nacionais de Metrologia), de laboratórios de calibração e de ensaios que atendam aos requerimentos da indústria, e de laboratórios de verificação metrológica que atendam aos requerimentos do comércio. A tônica hoje é a harmonização dos sistemas de metrologia, normalização e avaliação da conformidade, tomando-se em conta as peculiaridades de cada modelo de organização dessas atividades.

Foi em busca desta harmonização e normalização que, em 1999, os diretores de Institutos Nacionais de Metrologia (INM) de 38 Estados-Membros da Convenção do Metro e representantes de duas organizações internacionais assinaram o CIPM MRA: Comitê Internacional de Pesos e Medidas - Acordo de Reconhecimento Mútuo (*Mutual Recognition Arrangement*). O acordo para estabelecer regras destinadas a uma ampla aceitação dos padrões nacionais de medição e certificados emitidos pelos respectivos Institutos Nacionais de Metrologia.

O Acordo de Reconhecimento Mútuo procura atender a crescente necessidade de um esquema aberto, transparente e compreensivo que torne disponível aos usuários uma informação quantitativa confiável para comparação de serviços nacionais de metrologia, fornecendo bases técnicas para acordos negociados mais amplos destinados ao comércio internacional e assuntos regulatórios

Atualmente, o CIPM MRA está assinado por representantes de 67 institutos (45 Estados-Membros, 20 associados da CGPM e 2 organizações internacionais).

### 3.10

#### Comparações-chave: a base técnica para a equivalência internacional

As comparações-chave constituem-se no mecanismo para se validar as principais técnicas de medição em cada especialidade da metrologia. Essas comparações são sistematicamente realizadas para as diferentes grandezas físicas, quer de natureza mecânica, óptica, elétrica, química. Na maioria dos

casos, os Comitês Consultivos do BIPM estabelecem uma periodicidade de aproximadamente 10 anos para a realização dessas comparações.

Com a globalização dos mercados, torna-se imprescindível que a estrutura de avaliação da conformidade de cada país alcance reconhecimento junto aos fóruns internacionais competentes. A base técnica do Acordo de Reconhecimento Mútuo (MRA) é composta de:

- conjunto de diversas comparações-chave e suplementares realizadas em âmbito internacional de padrões nacionais de medição, identificado pelos Comitês Consultivos do CIPM que são coordenados pelos Comitês Consultivos ou por uma organização regional de metrologia;
- sistemas da qualidade e demonstração da competência dos Laboratórios Nacionais de Metrologia (LNM).

As comparações-chave cumprem a função essencial de conferir a exatidão estimada das realizações independentes das unidades do SI segundo o mais alto nível metrológico. A lógica associada à realização de uma comparação-chave encontra-se ilustrada no esquema da figura 3.6, que explicita o importante papel do BIPM de gestor do sistema mundial de metrologia.

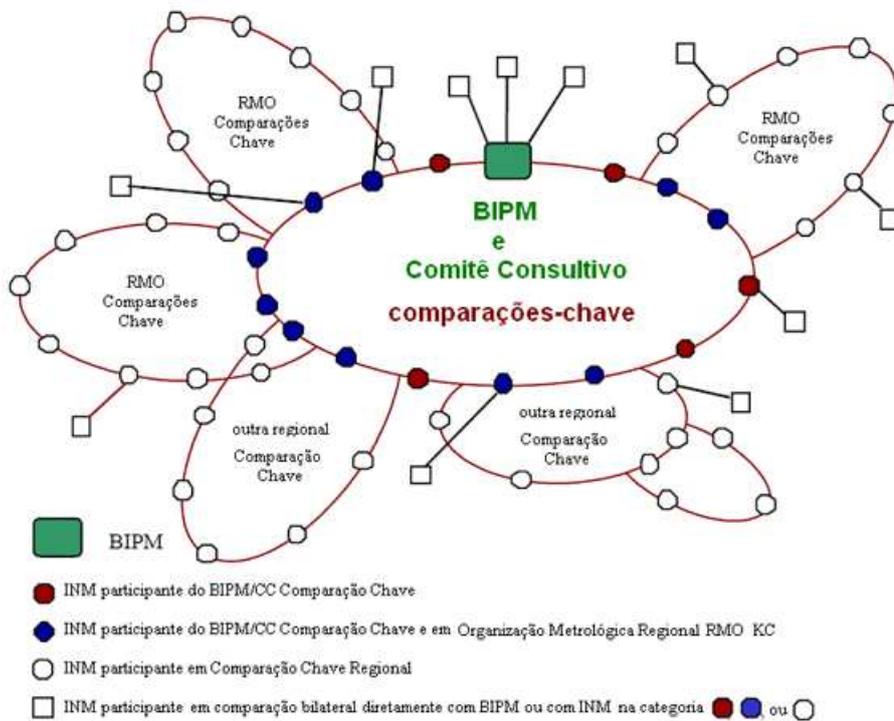


Figura 3.6: Comparações-chave. (Fonte: modificado de [3])

Segundo essa lógica, comparações-chaves são realizadas individualmente para cada padrão metrológico de uma determinada grandeza física. Conforme

ilustrado na figura 3.6, comparações do padrão nacional selecionado são realizadas num primeiro momento de forma independente em âmbito regional. Em momento subsequente, os laboratórios nacionais das regiões que obtiveram melhor resultado em suas comparações regionais são convidados a participar de outra comparação denominada comparação-chave em âmbito internacional, comparação essa supervisionada e coordenada pelo CIPM (símbolos cheios na figura). Finalmente, com base nesse complexo processo de comparação internacional de padrões nacionais, define-se um valor de referência internacional como valor de referência para a grandeza física investigada. Somente com base em um valor de referência assim validado torna-se possível fundamentar a harmonização de padrões nacionais, objeto de estudo neste trabalho.

### 3.11

#### Base de dados KCDB e Melhor Capacidade de Medição

O principal produto do MRA é a base de dados KCDB (Key Comparison Data Base) mantida pelo BIPM e que é usada como referência-chave (key) para intercomparações laboratoriais e cujo acesso está disponível na internet na página do BIPM (<http://www.bipm.org/en/db>)[35].

A KCDB é dividida em quatro anexos (A, B, C e D) contendo as seguintes informações:

- anexo A - Lista dos signatários do MRA;
- anexo B - Resultados de comparações-chaves e suplementares do CIPM e RMO;
- anexo C - Melhor Capacidade de Medição (CMC - Calibration and Measurement Capability);
- anexo D - Lista chave e comparações suplementares.

#### 3.11.1

##### Anexo A da base de dados KCDB

Contém a lista dos Institutos Nacionais de Metrologia e institutos designados que participam do acordo CIPM MRA.

### 3.11.2

#### Anexo B da base de dados KCDB

Contém informações sobre as comparações-chaves e suplementares do Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM) e das Organizações Regionais de Metrologia (RMO), bem como seus resultados interpretados em termos de equivalência.

Os resultados de uma comparação-chave (KC - Key Comparison) fornecem o desvio e a incerteza de medição de cada laboratório participante.

### 3.11.3

#### Anexo C da base de dados KCDB

Contém a lista denominada CMC (*Calibration and Measurement Capability*) que fornece uma descrição dos serviços oferecidos pelos Institutos Nacionais de Metrologia e seus respectivos níveis de incerteza de medição. Eles foram submetidos a uma “revisão por seus pares” e mantidos por comparações científicas.

O MRA fornece aos usuários finais de medição um mecanismo para comparar diretamente a Melhor Capacidade de Medição dos Institutos Nacionais de Metrologia.

**Melhor Capacidade de Medição.** Menor incerteza de medição que um laboratório pode alcançar no escopo da sua acreditação, quando efetua calibrações mais ou menos rotineiras de padrões de medição próximo do ideal, destinado a definir, realizar, conservar ou reproduzir uma unidade de uma grandeza ou um ou mais de seus valores, ou quando realiza calibrações mais ou menos rotineiras de instrumentos de medição próximos do ideal projetados para a medição daquela grandeza [35].

É a melhor capacidade de medição que está normalmente disponível aos usuários sob condições normais; ou seja, consta de uma lista de serviços do NMI e disponível a qualquer instante (isto não inclui capacidade de medição do NMI referente a instrumental e procedimentos especiais). A CMC deve atender os seguintes pontos:

- ser parte de um procedimento documentado e com incertezas estabelecidas sob controle do sistema de qualidade do NMI;
- ser estabelecida em bases regulares;
- estar disponível a todos os usuários.

#### 3.11.4

##### **Anexo D da base de dados KCDB**

Contém lista chave de quantidades escolhidas pelo CIPM e RMO para fins de inter-comparação.

#### 3.12

##### **Classificação da metrologia**

A metrologia abrange todos os aspectos teóricos e práticos relativos a medições, se constituindo em um importante instrumento para o desenvolvimento das atividades econômicas, científicas e tecnológicas. Uma base científica forte e confiável e um sistema de medição harmonizado são indispensáveis para prover a eficiência na produção e no comércio de bens e serviços que atendam às necessidades da sociedade.

##### 3.12.1

##### **Metrologia legal**

Metrologia legal é a parte da metrologia que trata das unidades de medida, métodos de medição e instrumentos de medição em relação às exigências técnicas e legais obrigatórias, as quais têm o objetivo de assegurar uma garantia pública do ponto de vista da segurança e da exatidão das medições [17]. Ela permeia todos os níveis e setores de uma nação desenvolvida. 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. Os Institutos Nacionais de Metrologia tem como atividades tradicionais a realização, manutenção e disseminação das unidades através dos padrões nacionais. Compete à metrologia legal a disseminação desses padrões a fim de garantir sua rastreabilidade, fator fundamental para assegurar a qualidade das medições realizadas pelos órgãos delegados no comércio e nas relações que afetam a saúde, segurança, meio ambiente e a defesa do consumidor.

A metrologia legal é parte da metrologia que cuida das exigências legais, técnicas e administrativas relativas às unidades de medidas, aos instrumentos de medir e as medidas materializadas. Objetiva fundamentalmente as transações comerciais, em que as medições são extremamente relevantes no tocante aos aspectos de exatidão e confiabilidade metrológica.

As ações governamentais no campo da metrologia básica e científica objetivam a disseminação e manutenção de medidas e unidades harmonizadas e no campo da metrologia legal objetivam o controle metrológico legal que inclui atividades de regulamentação, aprovação de modelos, verificação, supervisão

e perícia de instrumentos de medição que afetam a defesa do consumidor, segurança, saúde e meio ambiente.

O principal objetivo 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, especialmente em atividades comerciais, dificilmente pode ser conferida pela segunda parte envolvida, e que não possui meios técnicos para fazê-lo. Em geral os instrumentos de medir 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 a adequada transparência e confiança entre as partes, com base em ensaios imparciais.

Atualmente, não só atividades no campo comercial são submetidas à supervisão governamental em países desenvolvidos, mas também, instrumentos de medição usados em atividades oficiais, são submetidos, obrigatoriamente, ao controle metrológico [36]. A credibilidade da medição é necessária onde quer que exista conflito de interesse, ou onde quer que medições incorretas levem ao risco indesejável aos indivíduos ou a sociedade. A metrologia legal originou-se da necessidade de assegurar um comércio justo. Uma de suas mais importantes contribuições para a sociedade é o seu papel de aumentar a eficiência no comércio mantendo a confiança nas medições e reduzindo os custos das transações. A metrologia legal atende tais necessidades principalmente fundamentadas em regulamentos técnicos, os quais são introduzidos para assegurar um nível adequado de credibilidade nos resultados da medição. Em todas as suas aplicações, a metrologia legal cobre unidades de medida, instrumentos de medição e outras matérias tais como os produtos pré-medidos. Com respeito aos instrumentos de medição, a metrologia legal especifica exigências de desempenho, procedimento de verificação, meios para assegurar a correta utilização das unidades de medida legalmente definidas e prescrições obrigatórias para uso. O governo promulga leis e regulamentos técnicos fixando as modalidades da atividade de metrologia legal, notadamente no que tange às características metrológicas dos instrumentos envolvidos em tais operações. A elaboração da regulamentação baseia-se nas Recomendações da Organização Internacional de Metrologia Legal (OIML) e conta com a colaboração dos fabricantes dos instrumentos e de entidades de classes representantes dos consumidores.

No âmbito da metrologia legal a regulamentação técnica brasileira abrange medições, notadamente no que diz respeito à massa, volume, comprimento, temperatura e energia.

Medições de vazão de gás e o respectivo controle metrológico para fins

de comercialização e de transferência de custódia são atividades inerentes à metrologia legal.

### **3.12.2**

#### **Metrologia científica**

As atividades da metrologia científica e industrial compreendem o desenvolvimento, realização, reprodução, guarda e disseminação dos padrões de medidas, materiais de referência certificados e medidas rastreadas.

A metrologia científica refere-se à padronização primária, dos padrões de medição estrangeiros e nacionais, dos instrumentos laboratoriais e das pesquisas e metodologias científicas relacionadas ao mais alto nível de qualidade metrológica. Como desdobramento, estas ações alcançam os sistemas de medição das indústrias responsáveis pelo controle dos processos produtivos e pela garantia da qualidade dos produtos finais.

### **3.12.3**

#### **Metrologia industrial**

Voltada à melhoria da qualidade de produtos e serviços e ao desenvolvimento da competitividade industrial, esse importante segmento da metrologia industrial não é abordado no presente trabalho que se concentra nas questões de medição de vazão para transferência de custódia de gás natural, padronização primária e harmonização, atividade essencialmente da metrologia legal e científica.

### **3.13**

#### **Participação do Inmetro em comparação-chave (grandeza volume)**

No contexto de sua ampla participação em programas de comparação interlaboratorial no mais alto nível hierárquico - próprio dos INM - é caracterizado abaixo a participação do Inmetro na comparação chave da grandeza física volume. O Inmetro obteve o reconhecimento da sua competência técnica para atuar como laboratório nacional de metrologia pelo CIPM - Comitê Internacional de Pesos e Medidas em outubro de 1999, conquista que igualmente projeta os certificados de medição e de calibração emitidos pelos laboratórios que integram a Rede Brasileira de Calibração. Assim, o Brasil passou a integrar, junto com outros 38 membros da Convenção do Metro, o seletivo grupo de países a merecer tal reconhecimento internacional.

Ressalta-se que pode haver critérios diferentes de acordo com os Working Groups dos Comitês Consultivos do CIPM. No Working Group Fluid Flow (WGFF) do Comitê Consultivo em Massa e Grandezas Relacionadas (CCM)

pode-se participar da comparação-chave aquele laboratório de INM que não tenha participado anteriormente de comparações interlaboratoriais no âmbito regional, sendo requisito necessário ter método primário de calibração. O Inmetro participou da comparação de padrões de volume de 20 dm<sup>3</sup> e 0,2 dm<sup>3</sup>, obtendo um dos melhores resultados.