

Capítulo 5

CALIBRAÇÃO DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO

Um sistema de medição (SM) de boa qualidade deve ser capaz de operar com pequenos erros. Seus princípios construtivos e operacionais devem ser projetados para minimizar erros sistemáticos e aleatórios ao longo da sua faixa de medição, nas suas condições de operação nominais.

Entretanto, por melhores que sejam as características de um SM, este sempre apresentará erros, seja por fatores internos, seja por ação das grandezas de influência externas. A perfeita caracterização das incertezas associadas a estes erros é de grande importância para que o resultado da medição possa ser estimado de maneira segura. Embora, em alguns casos, os erros de um sistema de medição possam ser analítica ou numericamente estimados, na prática são utilizados procedimentos experimentais quase que exclusivamente.

Através do procedimento experimental denominado *calibração* é possível correlacionar os valores indicados pelo sistema de medição e sua correspondência com a grandeza sendo medida. Esta operação é extremamente importante e é realizada por um grande número de entidades credenciadas espalhadas pelo país.

Este capítulo apresenta, em linhas gerais, aspectos característicos da calibração e de operações a esta relacionadas.

5.1 Operações Básicas para Qualificação de Sistemas de Medição

5.1.1 Calibração

Calibração é um procedimento experimental através do qual são estabelecidas, sob condições específicas, as relações entre os valores indicados por um instrumento de medição 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.

Como exemplos, através de uma calibração é possível estabelecer:

- a relação entre temperatura e tensão termoeletrica de um termopar;
- uma estimativa dos erros sistemáticos de um manômetro;
- o valor efetivo de uma massa padrão;
- a dureza efetiva de uma placa "padrão de dureza";
- o valor efetivo de um "resistor padrão".

O resultado de uma calibração permite tanto o estabelecimento dos valores do mensurando para as indicações, como a determinação das correções a serem aplicadas. Uma calibração também pode determinar outras propriedades metrológicas como, por exemplo, os efeitos das grandezas de influência sobre a indicação, ou o comportamento metrológico de sistemas de medição em condições adversas de utilização (em temperaturas elevadas ou muito baixas, na ausência de gravidade, sob radiação nuclear, etc).

O resultado da calibração geralmente é registrado em um documento específico denominado *certificado de calibração* ou, algumas vezes, referido como *relatório de calibração*. O certificado de calibração apresenta várias informações acerca do desempenho metrológico do sistema de medição analisado e descreve claramente os procedimentos realizados. Frequentemente, como seu principal resultado, apresenta uma tabela, ou gráfico, contendo, para cada ponto medido ao longo da faixa de medição: a) estimativas da correção a ser aplicada e b) estimativa da incerteza associada à correção. Em função dos resultados obtidos, o desempenho do SM pode ser comparado com aquele constante nas especificações de uma norma técnica, ou outras determinações legais, e um parecer de conformidade pode ser emitido.

A calibração pode ser efetuada por qualquer entidade, desde que esta disponha dos padrões rastreados e pessoal competente para realizar o trabalho. Para que uma calibração tenha validade oficial, é necessário que seja executada por entidade legalmente credenciada. No Brasil, existe a Rede Brasileira de Calibração (RBC), coordenada pelo INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Esta rede é composta por uma série de laboratórios secundários, espalhados pelo país, ligados a Universidades, Empresas, Fundações e outras entidades, que recebem o credenciamento do INMETRO e estão aptos a expedir certificados de calibração oficiais.

Hoje, com as tendências da globalização da economia, a competitividade internacional das empresas é uma questão crucial. A qualidade dos serviços e dos produtos da empresa têm que ser assegurada a qualquer custo. As normas da série ISO 9000 aparecem para disciplinar a gestão das empresas para melhorar e manter a qualidade de uma organização. A calibração tem o seu papel de grande importância neste processo, uma vez que um dos requisitos necessários para uma empresa que se candidate à certificação pelas normas ISO 9000, é que os sistemas de medição e padrões de referência utilizados nos processo produtivo, tenham certificados de calibração oficiais.

Embora a calibração seja a operação de qualificação de instrumentos e sistemas de medição mais importante, existem outras operações comumente utilizadas:

5.1.2 Ajuste

Operação complementar, normalmente efetuada após uma calibração, quando o desempenho metrológico de um sistema de medição não está em conformidade com os padrões de comportamento esperados. Trata-se de uma "regulagem interna" do SM, executada por técnico especializado. Visa fazer coincidir, da melhor forma possível, o valor indicado no SM, com o valor correspondente do mensurado submetido. São exemplos:

- alteração do fator de amplificação (sensibilidade) de um SM por meio de um potenciômetro interno;
- regulagem do "zero" de um SM por meio de parafuso interno.

No caso de medidas materializadas, o ajuste normalmente envolve uma alteração das suas características físicas ou geométricas. Por exemplo:

- colocação de uma "tara" em uma massa padrão;

Após o término da operação de ajuste, é necessário efetuar uma recalibração, visando conhecer o novo comportamento do sistema de medição, após os ajustes terem sido efetuados.

5.1.3 Regulagem

É também uma operação complementar, normalmente efetuada após uma calibração, quando o desempenho metrológico de um sistema de medição não está em conformidade com os padrões de comportamento esperados. Envolve apenas ajustes efetuados em controles externos, normalmente colocados à disposição do usuário comum. É necessária para fazer o SM funcionar adequadamente, fazendo coincidir, da melhor forma possível, o valor indicado com o valor correspondente do mensurado submetido. São exemplos:

- alteração do fator de amplificação (sensibilidade) de um SM por meio de um botão externo;
- regulagem do "zero" de um SM por meio de um controle externo indicado para tal.

5.1.4 Verificação

A operação de *verificação* é utilizada no âmbito da metrologia legal, devendo esta ser efetuada por entidades oficiais denominados de Institutos de Pesos e Medidas Estaduais (IPEM), existentes nos diversos estados da Federação.

Trata-se de uma operação mais simples, que tem por finalidade comprovar que:

- um sistema de medição está operando corretamente dentro das características metrológicas estabelecidas por lei;
- uma medida materializada apresenta características segundo especificações estabelecidas por normas ou outras determinações legais.

São verificados instrumentos como balanças, bombas de gasolina, taxímetros, termômetros clínicos e outros instrumentos, bem como medidas materializadas do tipo massa padrão usados no comércio e área da saúde, com o objetivo de proteger a população em geral.

A verificação é uma operação de cunho legal, da qual resulta a emissão de selo ou plaqueta com a inscrição "VERIFICADO", quando o elemento testado satisfaz às exigências legais. É efetuada pelos órgãos estaduais denominados de Institutos de Pesos e Medidas (IPEM) ou diretamente pelo INMETRO, quando trata-se de âmbito federal.

5.2 Destino dos Resultados de uma Calibração:

Os resultados de uma calibração são geralmente destinados a uma das seguintes aplicações:

- a) Levantamento da curva de erros visando determinar se, nas condições em que foi calibrado, o sistema de medição está em conformidade com uma norma, especificação legal ou tolerância definida para o produto a ser medido, e conseqüente emissão de certificado. Efetuado periodicamente, garantirá a confiabilidade dos resultados da medição e assegurará correlação (rastreadibilidade) aos padrões nacionais e internacionais;
- b) Levantamento da curva de erros visando determinar dados e parâmetros para a operação de ajuste do sistema de medição;
- c) Levantamento detalhado da curva de erros e tabelas com valores da correção e sua incerteza, com o objetivo de corrigir os efeitos sistemáticos, visando reduzir a incerteza do resultado da medição (capítulo 7). A aplicação da correção poderá ser efetuada manual ou automaticamente;
- d) Análise do comportamento metrológico e operacional dos sistemas de medição nas fases de desenvolvimento e aperfeiçoamento, incluindo a análise das grandezas externas que influem no seu comportamento;
- e) Análise do comportamento metrológico e operacional dos sistemas de medição em condições especiais de operação (por exemplo: elevadas temperaturas, na ausência de gravidade, em elevadas pressões, etc);

Adicionalmente, a calibração deve ser efetuada quando, por alguma razão, se deseja o levantamento mais detalhado sobre o comportamento metrológico de um sistema de medição, sobre o qual existe dúvida ou suspeita de funcionamento irregular.

5.3 Métodos de Calibração

5.3.1 Calibração Direta

A parte superior da figura 5.1 ilustra o método de calibração direta. O mensurado é aplicado sobre o sistema de medição por meio de medidas materializadas, cada qual com seu valor verdadeiro convencional suficientemente conhecido. São exemplos de medidas materializadas: blocos padrão (comprimento), massas padrão, pontos de fusão de substâncias puras, entre outras.

É necessário dispor de uma coleção de medidas materializadas suficientemente completa para cobrir toda a faixa de medição do instrumento. As indicações dos sistemas de medição são confrontadas com cada valor verdadeiro convencional e a correção e sua incerteza são estimadas por meio de medições repetitivas.

5.3.2 Calibração Indireta

Não seria fácil calibrar o velocímetro de um automóvel utilizando a calibração direta. O conceito de medida materializada não se aplica à velocidade. As constantes físicas naturais, como a velocidade de propagação do som no ar ou nos líquidos, ou mesmo a velocidade da luz, são inapropriadas para este fim. A solução para este problema passa pela calibração indireta.

Este método é ilustrado na parte inferior da figura 5.1. O mensurado é gerado por meio de um dispositivo auxiliar, que atua simultaneamente no sistema de medição a calibrar (SMC) e também no sistema de medição padrão (SMP), isto é, um segundo sistema de medição que não apresente erros superiores a 1/10 dos erros do SMC. As indicações do SMC são comparadas com as do SMP, sendo estas adotadas como VVC, e os erros são determinados.

Para calibrar o velocímetro de um automóvel pela calibração indireta, o automóvel é posto em movimento. Sua velocidade em relação ao solo, além de indicada pelo velocímetro, é também medida por meio de um sistema de medição padrão, cujos erros sejam 10 vezes menores que os erros do velocímetro a calibrar. Este SMP pode ser, por exemplo, constituído por uma quinta roda, afixada na parte traseira do automóvel, ou, hoje é comum a utilização de sensores que usam um raio laser dirigido ao solo e, pela análise do tipo de sinal que retorna, determinar a velocidade real do automóvel com baixas incertezas. Neste exemplo o próprio automóvel é o gerador da grandeza padrão, isto é, da velocidade, que é simultaneamente submetida a ambos os sistemas de calibração. Para levantar a curva de erros, o automóvel deve trafegar em diferentes patamares de velocidade repetidas vezes.

Algumas vezes não se dispõe de um único sistema de medição padrão que englobe toda a faixa de medição do SMC. Neste caso, é possível utilizar diversos SMPs de forma complementar. Por exemplo:

- deseja-se calibrar um termômetro entre 20 e 35 °C;
- não se dispõe de um padrão que, individualmente, cubra esta faixa completamente;
- dispõe-se de um termômetro padrão para a faixa 20 a 30 °C e outro para 30 a 40 °C;
- o termômetro a calibrar é parcialmente calibrado para a faixa de 20 a 30 °C contra o primeiro padrão;
- o restante da calibração, entre 30 e 35 °C, é completado contra o segundo padrão.

5.3.3 Padrões para Calibração

Para que o valor da medida materializada, ou o indicado pelo SMP, possa ser adotado como valor verdadeiro convencional (VVC), é necessário que seus erros sejam sensivelmente menores que os erros esperados no SMC. Tecnicamente, quanto menores os erros do padrão melhor. Economicamente, quanto menores os erros do padrão, mais caro este é. Procurando buscar o equilíbrio técnico-econômico, adota-se como padrão um elemento que, nas condições de calibração e para cada ponto de calibração, apresente incerteza não superior a um décimo da incerteza esperada para o sistema de medição a calibrar. Assim:

$$U_{\text{SMP}} \leq \frac{1}{10} U_{\text{SMC}}$$

Na equação acima, U representa a incerteza expandida, que corresponde à faixa de dúvidas que resultam das medições efetuadas com os respectivos sistemas de medição. Este conceito será detalhado nos capítulos 8 e 9.

Desta forma, o SMP apresentará ao menos um dígito confiável a mais que o SMC, o que é suficiente para a determinação dos erros deste último. Excepcionalmente, em casos onde é muito difícil ou caro de se obter um padrão 10 vezes superior ao SMC, usa-se o limite de 1/5 ou até mesmo 1/3 para a razão entre as incertezas do SMP e o SMC. Estes últimos devem ser analisados com cuidado para que a incerteza da calibração não venha a ser muito elevada.

Em função da mudança do comportamento do instrumento com a velocidade de variação do mensurado, distinguem-se a calibração estática e a dinâmica. Apenas nos instrumentos de ordem zero a calibração estática coincide com a dinâmica. Nos demais casos, é necessário determinar a resposta do SM para diversas frequências de variação do mensurado.

Qualquer sistema de medição deve ser calibrado periodicamente. Este período é, algumas vezes, especificado por normas, ou fabricantes de instrumentos, ou outras fontes como laboratórios de calibração, porém são influenciados pelas condições e/ou frequência de uso. Para a calibração de um SM em uso na indústria, são geralmente usados padrões dos laboratórios da própria indústria. Entretanto, estes padrões precisam ser calibrados periodicamente, o que é executado por laboratórios secundários da RBC. Mas também estes padrões precisam ser calibrados por outros que, por sua vez, também necessitam de calibração e assim por diante... Estabelece-se assim uma hierarquia que irá terminar nos padrões primários internacionais, ou mesmo, na própria definição da grandeza. A calibração periódica dos padrões garante a rastreabilidade internacional, o que elimina o risco do "metro francês" ser diferente do "metro australiano". Como exemplo, cita-se a figura 5.2, onde se exemplifica a correlação entre os padrões. Isto garante a coerência das medições no âmbito mundial.

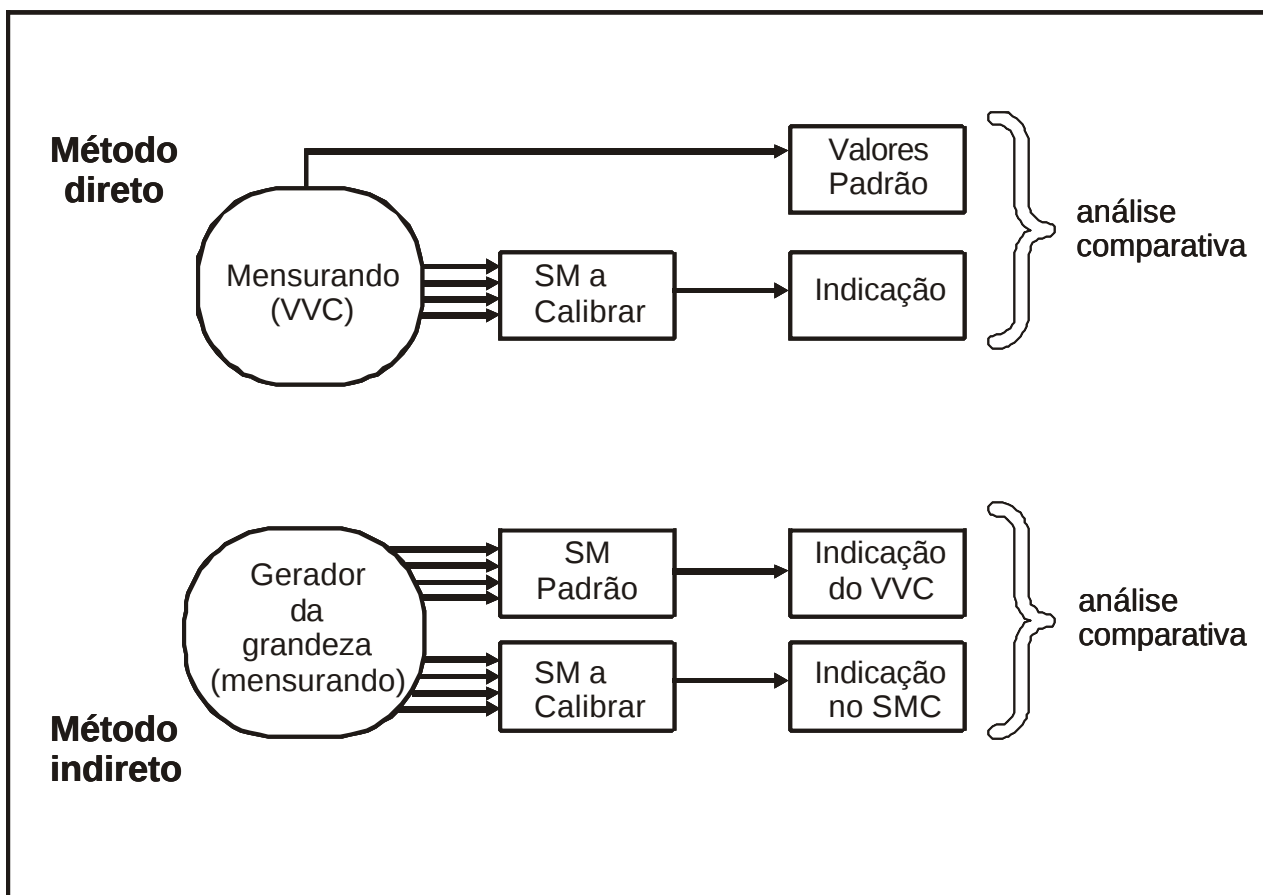


Figura 5.1 - Métodos de Calibração

AAG - 11/97 - MCG 016

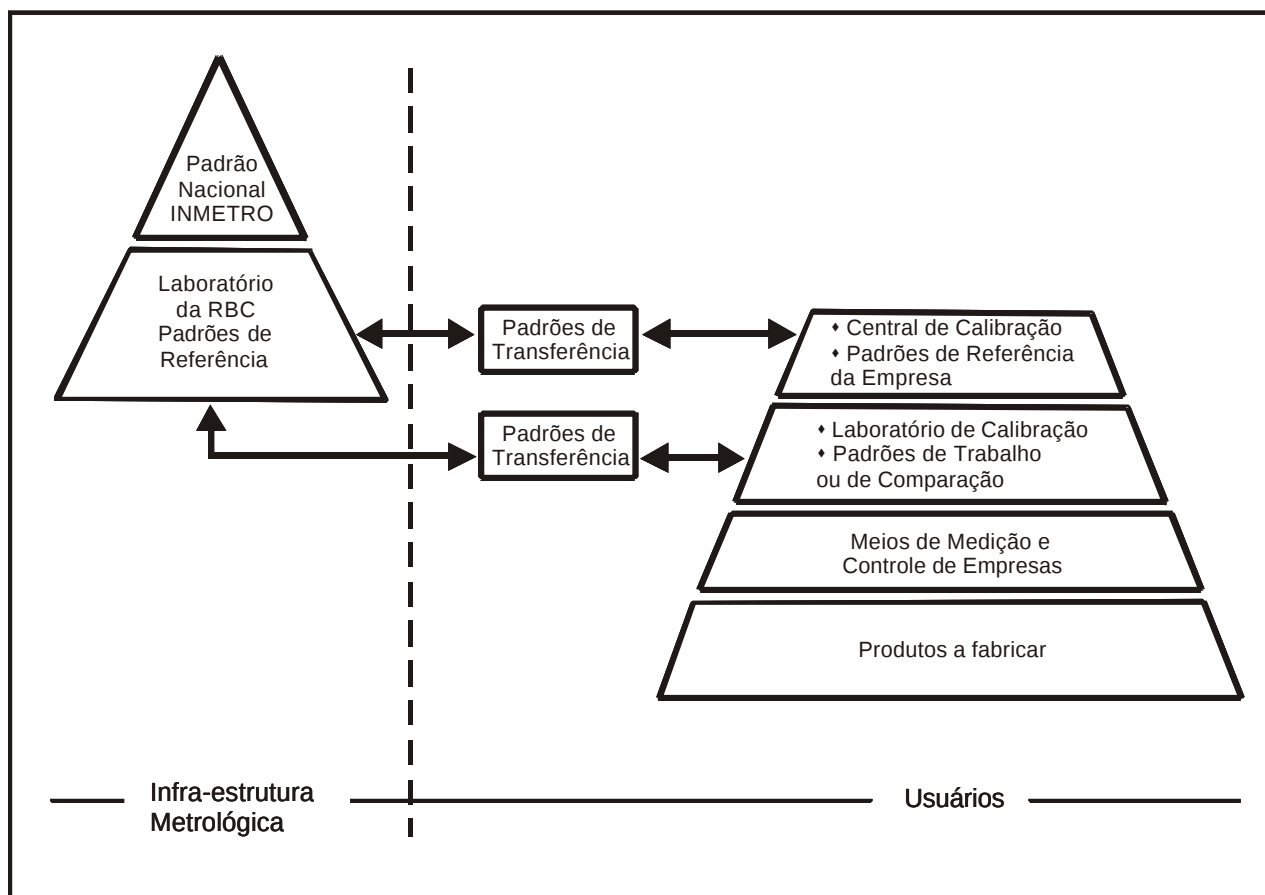
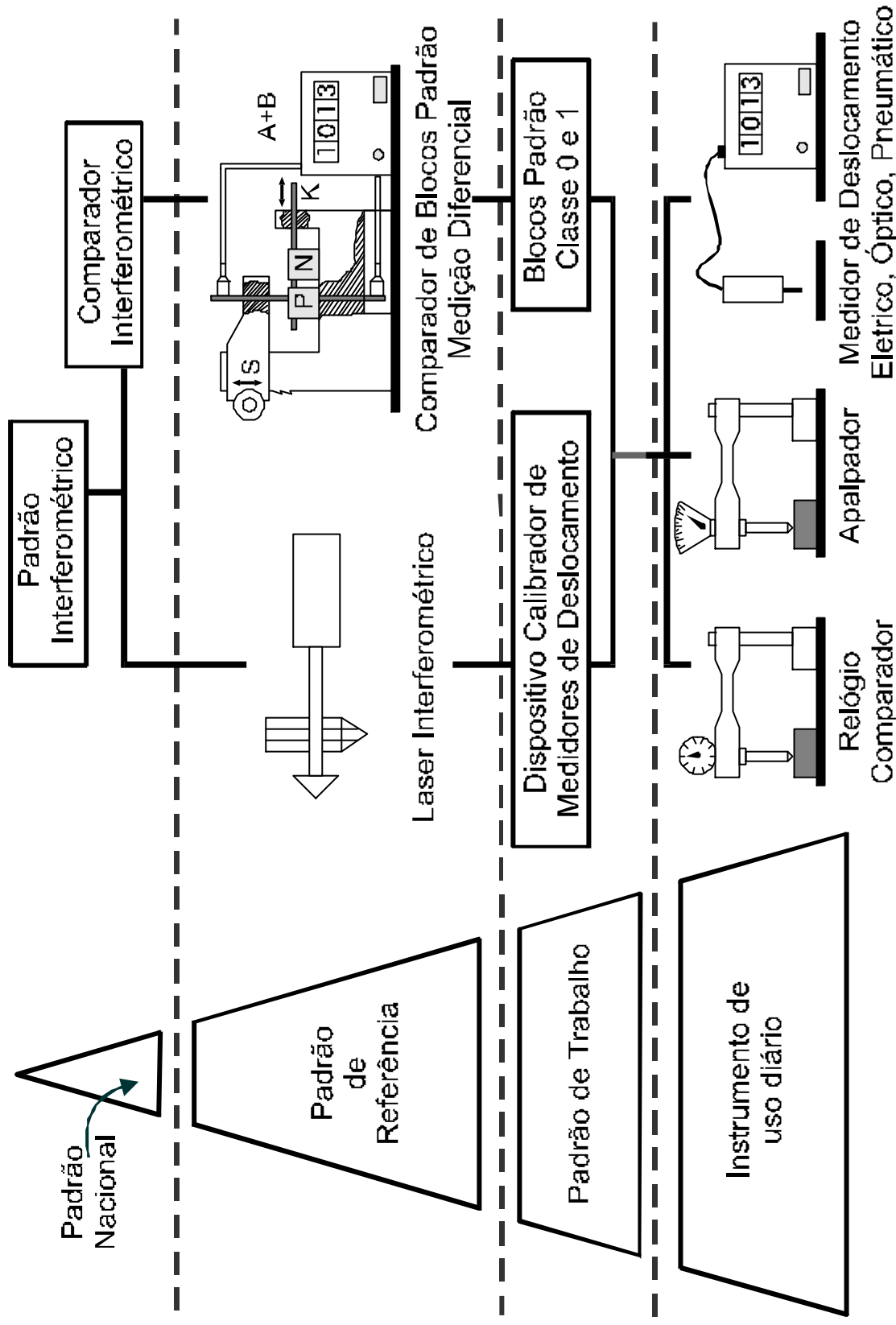
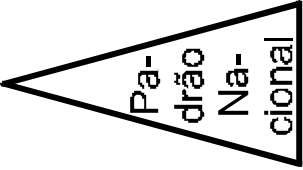
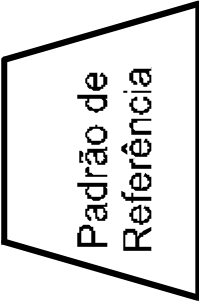
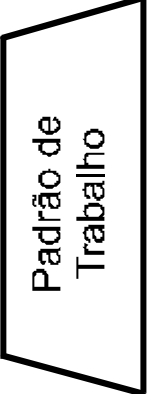
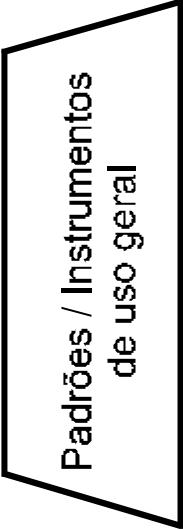


Figura 5.2 - Hierarquia de Calibração do Padrão Nacional até o Produto Acabado

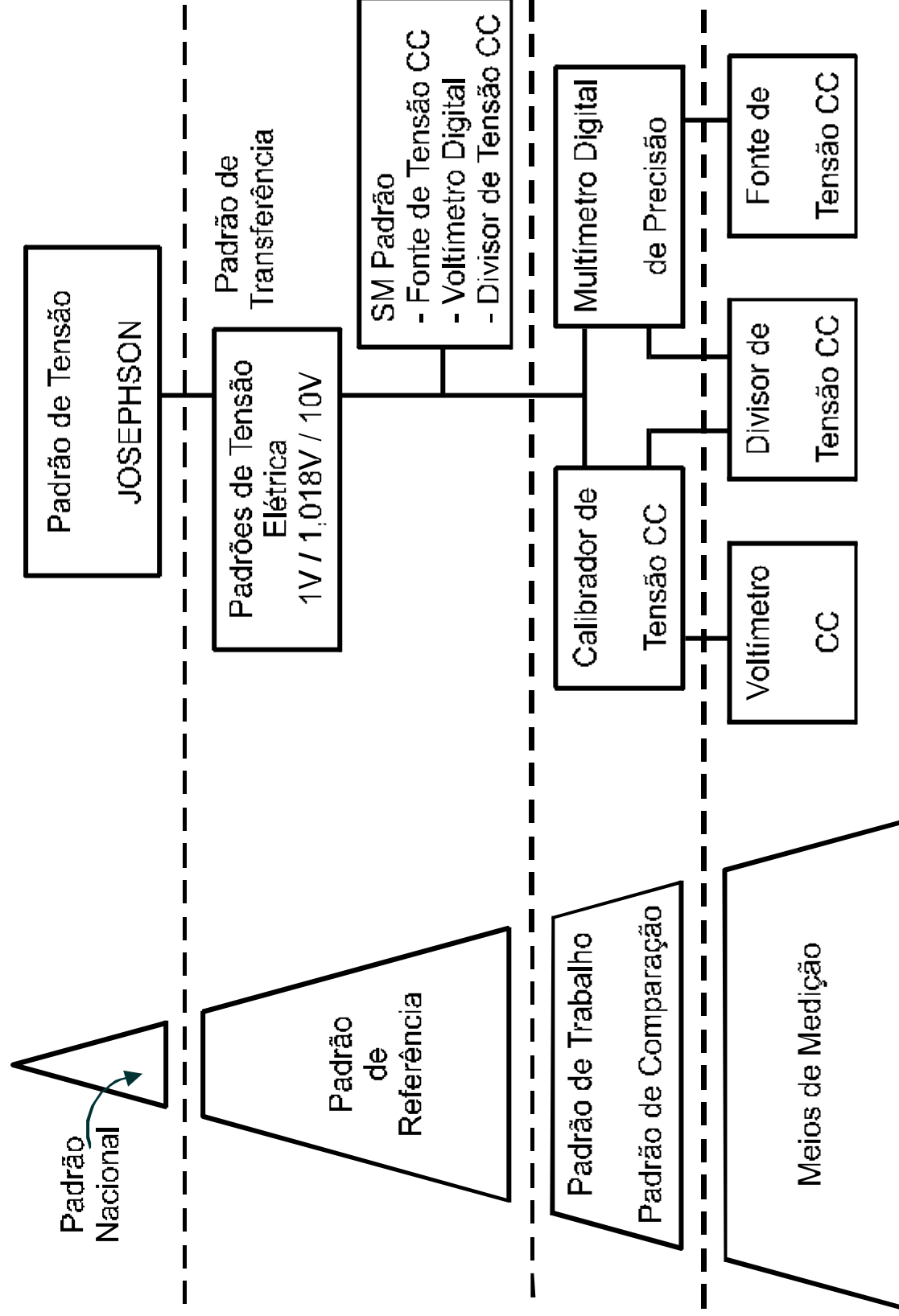
AAG - 10/97 - MCG 017



Exemplo de Níveis de Hierarquia de Calibração para Medidores de Deslocamento

PADRÃO (meios de medição)	USUÁRIO	ATIVIDADES	CONDIÇÕES PRELIMINARES DA CALIBRAÇÃO/ MEDIÇÃO	DOCUMENTAÇÃO DA CALIBRAÇÃO/ MEDIÇÃO
	Laboratório do INMETRO	Desenvolvimento, manutenção e transferência dos padrões nacionais	Garantia da rastreadabilidade da unidade até os padrões primários através de intercomparações internacionais	Certificado de calibração INMETRO para padrões de referência
	Laboratórios da RBC	Garantia da infra-estrutura metroológica industrial	Certificado de calibração INMETRO	Certificado de calibração RBC para padrões de trabalho
	Laboratórios de calibração das empresas	Calibração dos meios de medição para atender a demanda interna	Certificado de calibração RBC	Certificado de calibração da empresa ou outro que comprove a qualificação
	Todas as áreas de atuação da empresa	Medições e calibrações no âmbito do sistema da qualidade	Certificados de calibração da empresa ou outros que comproven a qualificação	Marca, selo ou plaqueta de verificação

Estrutura Organizacional para rastrear resultados de medição de empresas a Padrões Nacionais



5.4 Calibração Parcial

Normalmente objetiva-se determinar o comportamento operacional e metrológico do sistema de medição na sua integralidade, isto é, do conjunto formado pelos módulos sensor/transdutor, transmissão ou tratamento de sinal, dispositivo mostrador e demais, que compõem a cadeia de medição. Este sistema de medição pode apresentar-se de forma independente (ex: manômetro, máquina de medir por coordenadas) ou pode estar integrado a um sistema composto de vários elementos interligáveis fisicamente (ex: célula de carga + amplificador da máquina de ensaio de materiais, termômetro de um reator nuclear, formado por termopar + cabo de compensação + voltímetro).

Não é raro, especialmente nas fases de desenvolvimento e fabricação de módulos, ser inviável a calibração do sistema de medição como um todo. Esta dificuldade pode surgir em função do porte e complexidade do sistema ou da dificuldade tecnológica de se obter uma grandeza padrão com a qualidade necessária ou de se manter todas as variáveis influentes sob controle. Nestes casos, é comum efetuar calibrações separadamente em alguns módulos do sistema, tendo sempre em vista que estes devem apresentar um sinal de saída definido (resposta) para um sinal de entrada conhecido (estímulo). A análise do desempenho individual de cada módulo possibilita a determinação das características de desempenho do conjunto.

Freqüentemente um módulo isolado não tem condições de operar plenamente. É necessário acrescentar elementos complementares para formar um SM que tenha condições de operar. Para que estes elementos complementares não influam de forma desconhecida sobre o módulo a calibrar, é necessário que o erro máximo introduzido por cada elemento não seja superior a um décimo do erro admissível ou esperado para o módulo a calibrar.

Esta situação é ilustrada na figura 5.3. Supondo que o sistema de medição normal (0) tenha módulos com incertezas relativas da ordem de 1% e desejando-se efetuar a calibração do sensor transdutor isoladamente, é necessário compor um outro sistema de medição, o SM1. Neste sistema, são empregados uma unidade de tratamento de sinais e um dispositivo mostrador (1), com incerteza relativa máxima de 0,1%. Garantido estes limites, pode-se afirmar que os erros do SM1 são gerados exclusivamente no transdutor (0), visto que os demais módulos contribuem com parcelas de incerteza significativamente menores.

Ainda na figura 5.3, no caso em que se deseje calibrar isoladamente a unidade de tratamento de sinais (0), deverá ser composto o SM2, formado por um sensor/transdutor e um dispositivo mostrador que apresentem incertezas insignificantes. Neste caso, em geral, o sensor transdutor é substituído por um gerador de sinais equivalente. Este sinal, no entanto, não deve estar afetado de um erro superior a um décimo do admitido na operação da unidade de tratamento de sinais.

Na prática, existem alguns sistemas de medição que fornecem, para grandezas vetoriais, diversas indicações (ex: as três componentes cartesianas de uma força, as três coordenadas da posição de um ponto apalpado). A calibração deste sistema é normalmente efetuada para cada uma destas componentes do vetor isoladamente, da forma usual. Deve-se adicionalmente verificar se há influência da variação de uma das componentes sobre as demais, ou seja, os coeficientes de influência.

5.5 Procedimento Geral de Calibração

A calibração de sistemas de medição é um trabalho especializado e exige amplos conhecimentos de metrologia, total domínio sobre os princípios e o funcionamento do sistema de medição a calibrar (SMC), muita atenção e cuidados na sua execução e uma elevada dose de bom senso. Envolve o uso de equipamento sofisticado e de alto custo.

Recomenda-se sempre usar um procedimento de calibração documentado, segundo exigências de normas NBR/ISO. Quando tais procedimentos de calibração não existirem, devem ser elaborados com base em informações obtidas de normas técnicas, recomendações de fabricantes e informações do usuário do SM em questão, complementados com a observância das regras básicas da metrologia e no bom senso.

A seguir, apresenta-se uma proposta de roteiro geral a ser seguido para a calibração de um SM qualquer. Esta proposta deve ser entendida como orientativa apenas, devendo ser analisado caso a caso a conveniência de adotar, modificar ou acrescentar as recomendações sugeridas.

Quando trata-se de um trabalho não rotineiro, de cunho técnico-científico, e muitas vezes de alta responsabilidade, é fundamental que sejam registrados todos os eventos associados com o desenrolar da atividade, na forma de um *memorial de calibração*.

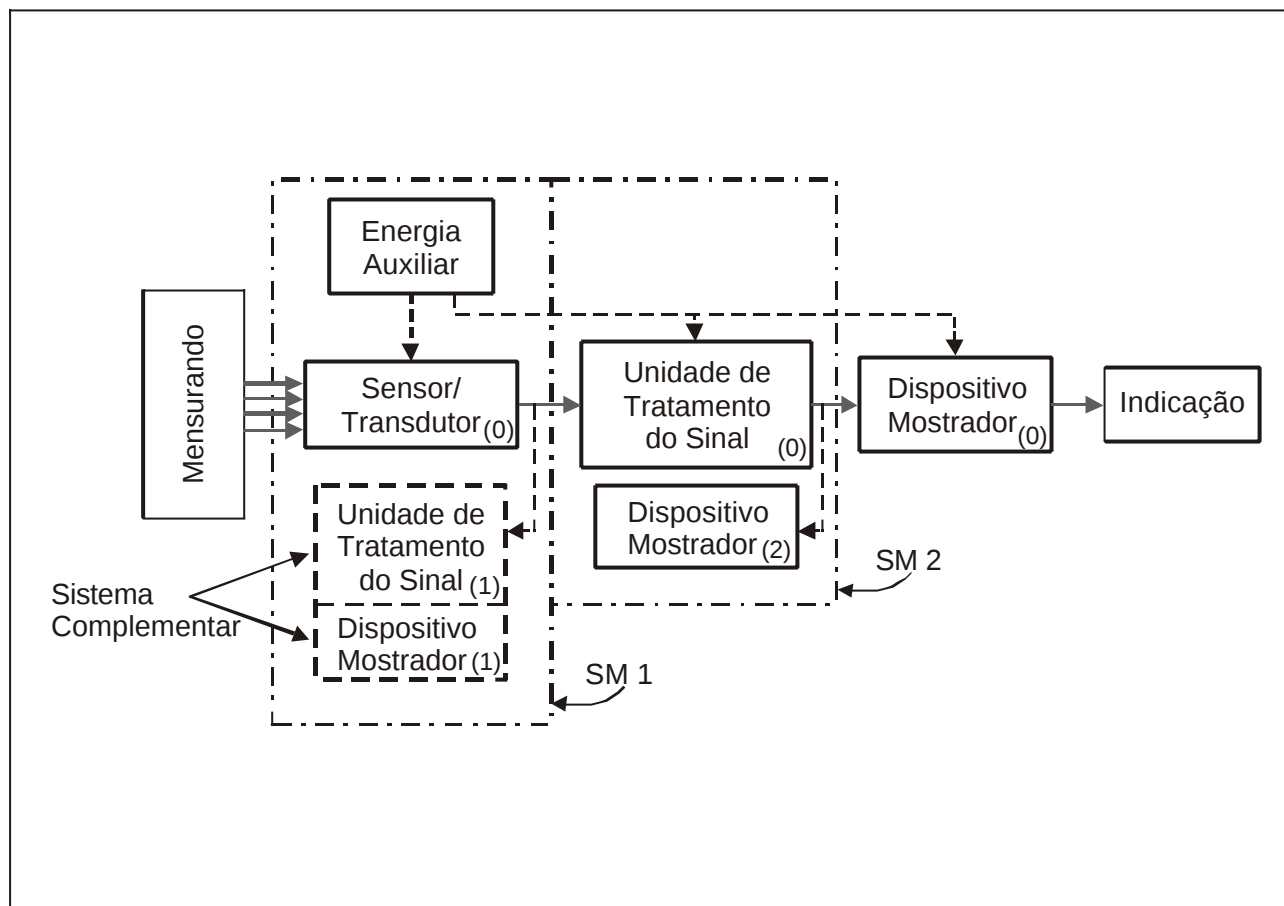


Figura 5.3 - Calibração Parcial de Módulos de um Sistema de Medição

AAG - 11/97 - MCG 021

Esta proposta de roteiro genérico de uma calibração está estruturada em oito etapas:

Etapa 1- Definição dos objetivos:

Deve-se definir claramente o destino das informações geradas. A calibração poderá ser realizada com diferentes níveis de abrangência dependendo do destino dos resultados. Por exemplo:

- dados para ajustes e regulagens: o estudo se restringirá a apenas alguns poucos pontos da faixa de medição do SMC;
- levantamento da curva de erros para futura correção: definidas as condições de operação, deve-se programar uma calibração com grande número de pontos de medição dentro da faixa de medição do SMC, bem como, realizar grande número de ciclos para reduzir a incerteza nos valores da tendência ou da correção ;
- dados para verificação: o volume de dados a levantar tem uma intensidade intermediária, orientada por normas e recomendações específicas da metrologia legal;
- avaliação completa do SMC: compreende, na verdade, diversas operações de calibração em diferentes condições operacionais (ex: influência da temperatura, tensão da rede, campos eletromagnéticos, vibrações, etc);

Etapa 2 - Identificação do Sistema de Medição a Calibrar (SMC)

É fundamental um estudo aprofundado do SMC: manuais, catálogos, normas e literatura complementar, visando:

- identificar as características metrológicas e operacionais esperadas. Deve-se procurar identificar todas as características possíveis, seja do sistema como um todo ou seja dos módulos independentes;
- conhecer o modo de operação do SMC: na calibração é necessário que se utilize o sistema corretamente e para isso é necessário conhecer todas as recomendações dadas pelo fabricante. Operar o sistema apenas com base na tentativa pode levar a resultados desastrosos;
- documentar o SMC: a calibração será válida exclusivamente para o instrumento analisado, sendo portanto necessário caracterizá-lo perfeitamente (número de fabricação, série, modelo, etc);

Etapa 3 - Seleção do Sistema de Medição Padrão (SMP)

Com base nos dados levantados na etapa anterior, selecionar, dentre os disponíveis, o SMP apropriado, considerando:

- a incerteza do SMP nas condições de calibração idealmente não deve ser superior a um décimo da incerteza esperada para o SMC. É importante observar que se estas estão expressas em termos percentuais, é necessário que ambas tenham o mesmo valor de referência, ou que seja efetuada as devidas compensações;
- faixa de medição: o SMP deve cobrir a faixa de medição do SMC. Vários SMP's podem ser empregados se necessário;

Etapa 4 - Preparação do Experimento

Recomenda-se efetuar o planejamento minucioso do experimento de calibração e das operações complementares, com a finalidade de reduzir os tempos e custos envolvidos e de se evitar que medições tenham que ser repetidas porque se “esqueceu” um aspecto importante do ensaio. O planejamento e a preparação do ensaio envolvem:

- executar a calibração adotando procedimento de calibração segundo documentado em normas específicas;
- quando o procedimento documentado não existir, realizar estudo de normas e manuais operativos, recomendações técnicas, de fabricantes e ou laboratórios de calibração;
- estudo do SMP: para o correto uso e a garantia da confiabilidade dos resultados, é necessário que o executor conheça perfeitamente o modo de operação e funcionamento do SMP;
- esquematização do ensaio: especificação da montagem a ser realizada, dos instrumentos auxiliares a serem envolvidos (medidores de temperatura, tensão da rede, umidade relativa, etc) e da sequência de operações a serem seguidas;
- preparação das planilhas de coleta de dados: destinadas a facilitar a tomada dos dados, reduzindo a probabilidade de erros e esquecimentos na busca de informações;
- montagem do experimento, que deve ser efetuada com conhecimento técnico e máximo cuidado;

Etapa 5 - Execução do Ensaio

Deve seguir o roteiro fixado no procedimento de calibração. É importante não esquecer de verificar e registrar as condições de ensaio (ambientais, operacionais, etc). Qualquer anomalia constatada na execução dos trabalhos deve ser anotada no memorial de calibração, com identificação cronológica associada com o desenrolar do experimento. Estas informações podem ser úteis para identificar a provável causa de algum efeito inesperado que possa ocorrer.

Etapa 6 - Processamento e Documentação dos Dados:

Todos os cálculos realizados devem ser explicitados no memorial. A documentação dos dados e resultados de forma clara, seja como tabelas ou gráficos, é fundamental.

Etapa 7 - Análise dos Resultados

A partir da curva de erros, e dos diversos valores calculados para a faixa de medição, determinam-se, quando for o caso, os parâmetros reduzidos correspondentes às características metrológicas e operacionais. Estes valores são comparados às especificações do fabricante, usuário, normas, e dão lugar a um parecer final. Este parecer pode ou não atestar a conformidade do SMC com uma norma ou recomendação técnica, apresentar instruções de como e restrições das condições em que o SMC pode ser utilizado, etc.

Etapa 8 - Certificado de Calibração

A partir do memorial, gera-se o *Certificado de Calibração*, que é o documento final que será fornecido ao requisitante, no qual constam as condições e os meios de calibração, bem como os resultados e os pareceres.

A norma NBR ISO 10 012-1 "Requisitos da Garantia da Qualidade para Equipamentos de Medição" prevê que os resultados das calibrações devem ser registrados com detalhes suficientes de modo que a rastreabilidade de todas as medições efetuadas com o SM calibrado possam ser demonstradas, e qualquer medição possa ser reproduzida sob condições semelhantes às condições originais.

As seguintes informações são recomendadas para constar no Certificado de Calibração:

- a) descrição e identificação individual do SM a calibrar;
- b) data da calibração;
- c) os resultados da calibração obtidos após, e quando relevante, os obtidos antes dos ajustes efetuados;
- d) identificação do(s) procedimento(s) de calibração utilizado(s);
- e) identificação do SM padrão utilizado, com data e entidade executora da sua calibração, bem como sua incerteza
- f) as condições ambientais relevantes e orientações expressas sobre quaisquer correções necessárias ao SM a calibrar;
- g) uma declaração das incertezas envolvidas na calibração e seus efeitos cumulativos;
- h) detalhes sobre quaisquer manutenções, ajustes, regulagens, reparos e modificações realizadas;
- i) qualquer limitação de uso (ex: faixa de medição restrita);
- j) identificação e assinaturas da(s) pessoa(s) responsável(eis) pela calibração bem como do gerente técnico do laboratório;
- k) identificação individual do certificado, com número de série ou equivalente.

Para garantir a rastreabilidade das medições até os padrões primários internacionais, é necessário que o usuário defina, em função das condições de uso específicas do SM, os *intervalos de calibração*. Estes devem ser reajustados com base nos dados históricos das calibrações anteriores realizadas.

Nos casos em que os dados históricos das calibrações anteriores não estiverem disponíveis, e outras informações do usuário do SM não forem suficientes para definir os intervalos de calibração, são recomendados a seguir alguns intervalos iniciais que podem ser usados. Todavia reajustes nestes intervalos deverão ser efetuados, com base nos resultados das calibrações subsequentes.

RECOMENDAÇÕES PARA INTERVALOS INICIAIS DE CALIBRAÇÃO

(ÁREA DIMENSIONAL)

INSTRUMENTOS	INTERVALOS DE CALIBRAÇÃO (MESES)
Blocos Padrão (Padrão de referência) - angulares/paralelos (Novos)	12
Calibradores (tampão/anel) lisos, de rosca, cilíndricos e cônicos	3 a 6
Desempenos	6 a 12
Escalas Mecânicas	12
Esquadros	6 a 9
Instrumentos Ópticos	6
Máquinas de Medir - (ABBE, Peças Longas, etc.)	12
Medidores de Deslocamento Eletro/Eletrônico	6 a 12
Medidores de Deslocamento Mecânicos (relógios comparadores/apalpadores)	12/3 a 6
Medidores de Deslocamento Pneumáticos	6 a 12
Medidores de Espessura de Camada	6 a 12
Micrômetros	3 / 6
Microscópios	12
Níveis de Bolha e Eletrônico	6
Paquímetros	6
Planos e Paralelos Ópticos	12
Réguas (Aço ou granito)	6 a 12
Rugosímetro e Medidor de Forma	12
Transferidores	6
Trenas	6

(OUTRAS GRANDEZAS FÍSICAS)

INSTRUMENTO/PADRÃO	INTERVALOS DE CALIBRAÇÃO (MESES)
1. MASSA, VOLUME, DENSIDADE	
Massas padrão	24
Balanças	12 a 36
Balanças Padrão	12
Hidrômetros	36
Densímetros	12 a 24
2. PRESSÃO	
Manômetros	6 a 12
Máquinas de Peso Morto	24 a 36
Barômetros	6 a 12
Vacuômetros	6 a 12
Transdutores de Pressão	12
3. FORÇA	
Transdutores de Força (Células de Carga)	12 a 24
Anéis Dinamométricos	24
Máquinas de Tração-Compressão (Hidráulicas)	12 a 24
Máquina de Peso Morto	24 a 60
4. TORQUE	
Torquímetro	12

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 0251**DATA: 02/03/1995****VALIDADE DE CALBRAÇÃO: 6 MESES****1. OBJETIVO**

Calibração de um manômetro “WIKA”, a fim de conhecer as características metrológicas e compará-las com as especificações do fabricante

2. MANÔMETRO A CALIBRAR (SMC)

Proprietário: XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

Fabricante: YYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYY

Número de Fabricação: 1174902

Faixa de Indicação: 0 a 40 bar

Valor de uma Divisão: 0,2 bar

Tipo: Bourdon, mecânico

Estado de Conservação: Bom

Índice de Classe (segundo o fabricante): kl. 0,6 ($\pm 0,6$ % do VFE)**3. SISTEMA DE MEDIÇÃO PADRÃO (SMP)**

Máquina de Peso Morto (Manômetro de Êmbolo)

Fabricante: Budenberg Gauge Co. Limited (Inglaterra)

Número de Série (fabricante): 10334/12

Número de Registro (CERTI): RL 0136

Faixas de Medição: 1 a 55 kgf/cm² com resolução de 0,01 kgf/cm²10 a 550 kgf/cm² com resolução de 0,1 kgf/cm²

Incerteza do SMP: $\pm 0,04\%$ para a faixa de 0 a 55 kgf/cm²
 $\pm 0,1$ % para a faixa de 0 a 550 kgf/cm²

Rastreável aos padrões primários conforme Certificado de Calibração Nº 121/92, emitido pelo INMETRO em 07/10/92, com validade até 07/10/95.

4. PROCEDIMENTO DO ENSAIO

A calibração foi realizada montando-se o manômetro a calibrar na máquina de peso morto, através da qual foram os valores de pressões previamente estabelecidos, realizando-se as leituras das indicações no manômetro a calibrar.

Foram realizados 3 (três) ciclos de medição, a fim de registrar também a Repetitividade (95%) do manômetro.

Na calibração foi adotado procedimento de calibração CERTI – código PC-SSS, de acordo com especificações da norma DIN 16005.

Condições de ensaio: - Temperatura ambiente: $21,0 \pm 0,05$ °C
- Pressão atmosférica: $1022,0 \pm 0,5$ mbar

5. CALIBRAÇÃO PRÉVIA E AJUSTAGEM REALIZADA

Foi realizado a calibração prévia do manômetro e constatou-se que o mesmo apresentava erros sistemáticos (tendência) elevados, conforme pode-se observar a seguir:

MANÔMETRO (bar)	SMP (bar)	ERRO SISTEMÁTICO (% do Valor Final de Escala)
02,00	01,75	0,6
06,00	05,70	0,8
14,00	13,55	1,1
22,00	21,40	1,5
30,00	29,30	1,8
38,00	37,25	1,9
40,00	39,25	1,9

Foi realizado a ajustagem do manômetro, a fim de minimizar os erros sistemáticos apresentados pelo mesmo.

Os resultados obtidos após a ajustagem do manômetro podem ser observados na folha 3.

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

a) Erro sistemático máximo (tendência máxima)

$Td_{max}=0,10$ bar ou 0,25% do VFE

b) Repetitividade (95%) máxima:

$Re_{max}=(95\%) \pm 0,14$ bar ou $\pm 0,35\%$ do VFE

c) Erro de Linearidade pelo método dos mínimos quadrados:

Erro máximo = $\pm 0,04$ bar ou $\pm 0,10\%$ do VFE

d) Incerteza do SMC ($Td=Re$)= $\pm 0,19$ bar ou 0,48% do VFE

Obs: VFE=Valor Final de Escala=40 bar

7. CONCLUSÃO

A incerteza do Manômetro é igual a $\pm 0,02$ bar ou $\pm 0,5\%$ do VFE

8. PARECER

O manômetro satisfaz as tolerâncias estabelecidas pela norma DIN 16005, enquadrando-se como manômetro de classe de erro kl 0,6 ($\pm 0,6\%$ do VFE)

DADOS BRUTOS				
PTOS	SMC	CICLOS SMP		
		1	2	2
01	2,00	2,05	2,00	2,06
02	6,00	6,03	6,05	6,08
03	10,00	10,02	9,99	10,01
04	14,00	14,03	14,00	14,02
05	18,00	18,00	17,98	18,02
06	22,00	22,04	22,03	22,00
07	26,00	25,98	25,95	25,97
08	30,00	29,95	29,93	29,95
09	34,00	33,92	33,96	33,93
10	38,00	37,90	37,88	37,92
11	40,00	39,92	39,94	39,95

Unidade de Leitura no Sistema de Medição Padrão (SMP): bar

Unidade de Leitura no Sistema de Medição a Calibrar (SMC): bar

TABELA DADOS PROCESSADOS						
PTOS	MEDIDA MÉDIA SM	VALOR VERDADEIRO CONVENCIONAL	TENDÊNCIA		REPETITIVIDADE ($\pm$)	
			ABS	%VFE	ABS	% VFE
01	2,00	2,04	-0,04	-0,10	0,14	0,35
02	6,00	6,05	-0,05	-0,13	0,11	0,28
03	10,00	10,01	-0,01	-,03	0,07	0,18
04	14,00	14,02	-0,02	-0,05	0,07	0,18
05	18,00	18,00	0,00	0,00	0,09	0,23
06	22,00	22,02	-0,02	-0,05	0,07	0,18
07	26,00	25,97	0,03	0,08	0,07	0,18
08	30,00	29,94	0,06	0,15	0,05	0,13
09	34,00	33,94	0,06	0,15	0,09	0,23
10	38,00	37,90	0,010	0,25	0,09	0,23
11	40,00	39,94	0,06	0,15	0,07	0,18

Convenção:

ABS: Valor Absoluto

VFE: Valor Final de Escala = 40,00

Unidade de Análise: bar