

4 CONCEITOS DE INCERTEZA DE MEDIÇÃO

Neste capítulo serão descritos os conceitos de Medição, Incerteza de Medição e os parâmetros que afetam os resultados durante uma medição.

No processo de inspeção de equipamentos realizam-se várias medições, cujos resultados são utilizados para tomadas de decisão. Tendo como base tais resultados, os equipamentos e as condições do ambiente, podem-se considerar as conformidades ou não, com relação às suas respectivas especificações. Um bom exemplo disso encontra-se na estimativa da vida residual de um equipamento, onde a qualidade principal dos instrumentos ou padrões de medição consiste em apresentar resultados com a confiabilidade metrológica requerida, para a atividade a ser executada, ou seja, com o menor erro possível, conseqüentemente com baixo valor de Incerteza de medição.

Todo instrumento, por mais exato que seja, apresenta erros e Incerteza de medição associados, portanto sua caracterização é importante para que os resultados da medição sejam determinados de forma segura e em conformidade com as especificações e normas. Para tal, é necessário determinar e evidenciar os erros e a Incerteza da medição dos instrumentos utilizados nas inspeções e corrigi-los para que sejam mantidos dentro dos limites aceitáveis para que se considere um resultado analiticamente aceitável.

A qualidade e a utilidade da Incerteza apresentada para o resultado de uma medição dependem da compreensão, análise crítica e integridade daqueles que contribuíram para atribuir o valor à mesma.

Nas medições, as grandezas sempre devem vir acompanhadas de unidades de medida. Esse conceito deve descrever qualitativa e quantitativamente as relações entre as propriedades observadas durante uma medição. Para tal, devem ser adotados procedimentos que permitam garantir o resultado obtido, indicando a faixa de Incerteza associada à medição realizada, trazendo confiabilidade e garantia ao resultado apresentado. O caso tratado nessa dissertação consiste em um processo industrial onde há necessidade de avaliação, medição de vários parâmetros e Incertezas de medição associadas.

4.1 Metrologia

No site do INMETRO encontra-se a seguinte definição para a palavra Metrologia: “A Metrologia é a ciência que abrange todos os aspectos teóricos e práticos relativos às medições, qualquer que seja a Incerteza em qualquer campo da ciência ou tecnologia. Nesse sentido a Metrologia Científica e Industrial é uma ferramenta fundamental no crescimento e inovação tecnológica, promovendo a competitividade e criando um ambiente favorável ao desenvolvimento científico e industrial em todo e qualquer país”.

A Metrologia abrange aspectos teóricos e práticos que asseguram a exatidão necessária em um processo produtivo, garantindo a qualidade de produtos e serviços por meio da calibração de instrumentos de medição e da realização de ensaios. Metrologia também diz respeito ao conhecimento dos pesos e medidas e dos sistemas de unidades dos povos, antigos e modernos.

Pode-se dizer que a metrologia está dividida em três áreas de atuação, são elas:

- Metrologia Científica: Utiliza instrumentos laboratoriais, pesquisas e metodologias científicas; tem objetivo de definir padrões de medição nacionais e internacionais elevando os níveis da qualidade metrológica;
- Metrologia Industrial: Controla os processos produtivos industriais sendo responsável pela garantia da qualidade dos produtos finais;
- Metrologia Legal: Controla os sistemas de medição usados em relações comerciais, áreas de saúde, segurança e meio ambiente.

Para determinar uma medição perfeita, ou seja, sem erros, deve existir um sistema de medição (SM) perfeito e a grandeza sob medição, ou mensurando, possuir um valor único, definido e estável. Para alcançar tal objetivo seriam necessárias condições ideais de medição, nas quais o resultado da medição (RM) poderia ser expresso por um número e uma unidade de medida apenas.

Os aspectos tecnológicos indicam que o SM construído resulte imperfeito uma vez que vários fatores, tais como dimensões, forma geométrica, material, propriedades elétricas, ópticas, pneumáticas, dentre outros, não correspondem ao ideal. A existência de desgaste e deterioração de partes agrava ainda mais esta condição gerando um sistema de medição com erros associados.

Ao se utilizar um sistema de medição para determinar o resultado de uma medição é necessário conhecer e considerar a faixa provável dentro da qual se

situam estes efeitos indesejáveis - sua Incerteza - bem como levar em conta as variações do próprio mensurando.

Portanto, o resultado de uma medição não deve ser composto de apenas um número e uma unidade de medida, mas de uma faixa de valores e unidade de medida. Em qualquer ponto dentro desta faixa deve situar-se o valor verdadeiro associado ao mensurando.

A preocupação com a qualidade do mensurando está explícita na ISO 9000, que estabelece diretrizes que mantêm um controle sobre os instrumentos de medição da empresa em busca de uma certificação. A globalização também põe em prática um de seus principais objetivos, que é traduzir a confiabilidade dos sistemas de medição e garantir que especificações técnicas, regulamentos e normas existentes proporcionem as mesmas condições e perfeita aceitabilidade na montagem e encaixe de partes de produtos finais, independente de onde sejam produzidas.

A norma NIT-DICLA-021 rev. 02 do Inmetro cita, no item 2.1, que uma medição somente é completa se ela contiver tanto o valor atribuído ao mensurando quando a Incerteza de medição associada a este valor. Neste documento todas as grandezas que não são conhecidas exatamente são tratadas como variáveis aleatórias, incluindo as grandezas de influência que podem afetar o valor medido.

Assim, dentro da Metrologia é necessário tratar também da calibração dos instrumentos, comparando os valores indicados por um instrumento de medição com valores indicados por um padrão, que pode ser um equipamento de classe superior, armazenado em condições ideais, em laboratório apropriado e acreditado.

A calibração dos equipamentos de medição é importante na garantia da qualidade do processo produtivo e proporciona vantagens como:

- Garantia da rastreabilidade das medições;
- Confiança nos resultados obtidos;
- Redução da variação nas especificações técnicas dos produtos;
- Prevenção de defeitos.

4.2 Definições do VIM - Vocabulário Internacional de Metrologia

O VIM é um dicionário terminológico que contém designações e definições relativas à Metrologia, sendo editado no Brasil pelo INMETRO. Algumas das

definições mais relevantes para a compreensão da ISO/IEC 17025 estão descritas abaixo:

- **Medição:** Conjunto de operações que têm por objetivo determinar um valor de uma grandeza, estando dividida em:
 1. Medição por comparação direta: Compara-se o objeto da medida com uma escala conveniente, obtendo-se um resultado em valor absoluto e unidade coerente. Por exemplo: medição da distância entre dois traços utilizando-se uma régua graduada;
 2. Medição por comparação indireta: Compara-se o objeto da medida com um padrão de mesma natureza ou propriedade, inferindo sobre as características medidas/verificadas. Por exemplo, medições/controle de peças com calibradores passa-não-passa; utilização de relógios comparadores. Na prática, normalmente, simplificam-se os termos acima definidos. Assim, encontra-se usualmente "medida direta" e "medição por comparação" ou "medição indireta".
- **Mensurando:** Grandeza que se pretende medir. Objeto da medição. Grandeza específica submetida à medição;
- **Exatidão de Medição:** Grau de concordância entre o resultado de uma medição e um valor verdadeiro do mensurando;
- **Repetitividade** (de resultados de medições): Grau de concordância entre os resultados de medições sucessivas de um mesmo mensurando efetuadas sob as mesmas condições de medição. As condições incluem mesmo procedimento de medição, observador, instrumento de medição e local;
- **Reprodutibilidade** (dos resultados de medição): Grau de concordância entre os resultados das medições de um mesmo mensurando, efetuadas sob condições variadas de medição. É necessário que sejam especificadas as condições alteradas, tais como princípio de medição, método de medição, observador, instrumento de medição, padrão de referência, local, condições de utilização e tempo;
- **Incerteza de Medição:** Parâmetro, associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser fundamentalmente atribuídos a um mensurando.

O VIM cita ainda como conceitos:

- **Metrologia** - Ciência da medição. Observação: A metrologia abrange todos os aspectos teóricos e práticos relativos às medições, qualquer que seja a Incerteza, em quaisquer campos da ciência ou da tecnologia;
- **Resultado de uma Medição** - Valor atribuído a um mensurando obtido por medição. Observações:
 1. Quando um resultado é dado, deve-se indicar, claramente, se ele se refere: - à indicação; - ao resultado não corrigido; - ao resultado corrigido; e se corresponde ao valor médio de várias medições;
 2. Uma expressão completa do resultado de uma medição inclui informações sobre a Incerteza de medição.
- **Indicação** (de um instrumento de medição) - Valor de uma grandeza fornecido por um instrumento de medição; Observações:
 1. O valor lido no dispositivo mostrador pode ser denominado de indicação direta. Ele é multiplicado pela constante do instrumento para fornecer a indicação;
 2. A grandeza pode ser um mensurando, um sinal de medição ou uma outra grandeza a ser usada no cálculo do valor do mensurando;
 3. Para uma medida materializada, a indicação é o valor a ela atribuído.

4.3 Órgãos de Acreditação

No Brasil, o órgão responsável por gerar as normas que irão estabelecer parâmetros e definições é a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), uma empresa não-governamental sem fins lucrativos e credenciada pelo INMETRO.

Quando se fala de exatidão, implica-se em uma medição comparada com algum padrão aceitável. Esta medição que deve ser realizada por um equipamento acreditado e certificado por órgãos de acreditação que possuam padrões que deverão estar armazenados em condições ideais de trabalho, possibilitando a realização de uma medição e o conhecimento das Incertezas associadas ao mensurando. No Brasil os padrões nacionais de medições estão guardados no INMETRO.

As instituições nacionais e internacionais ligadas à metrologia são:

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - é vinculada ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, que atua como uma Secretaria Executiva do Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Conmetro), que é o órgão normativo do Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Sinmetro).

Sua missão é prover confiança à sociedade brasileira nas medições e nos produtos, por meio da metrologia e da avaliação da conformidade, promovendo a harmonização das relações de consumo, a inovação e a competitividade do País. A Figura 11 demonstra a hierarquia de calibração do padrão nacional até o produto final de maneira a garantir a confiabilidade dos resultados e um produto com qualidade.

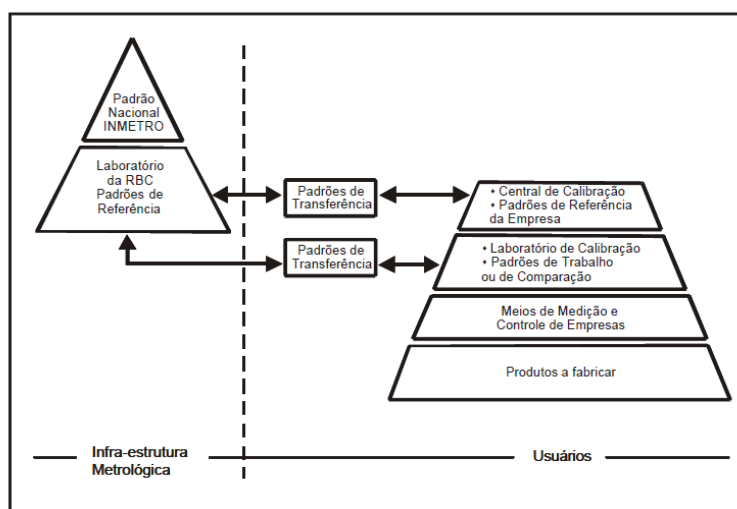


Figura 11 - Hierarquia de Calibração do Padrão Nacional até o Produto Final (Gonçalves, 2005)

Sinmetro - Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. É constituído por entidades públicas e privadas, que exercem atividades relacionadas com metrologia, normalização, qualidade industrial e certificação da conformidade.

O Sinmetro foi instituído pela lei 5966 de 1973 com uma infra-estrutura de serviços tecnológicos 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.

Conmetro - Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. É um colegiado interministerial que exerce a função de órgão normativo do Sinmetro e tem o Inmetro como sua secretaria executiva. Integram o Conmetro os ministros do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior; da Ciência e Tecnologia; da Saúde; do Trabalho e Emprego; do Meio Ambiente; das Relações Exteriores; da Justiça; da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento; da Defesa; o Presidente do Inmetro e os Presidentes da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, da Confederação Nacional da Indústria - CNI, da Confederação Nacional do Comércio - CNC e do Instituto de Defesa do Consumidor - IDEC.

NIST - National Institute of Standards and Technology (EUA) - Fundada em 1901, NIST é uma agência federal do Departamento de Comércio dos E.U.A. Sua missão é promover a inovação e a competitividade industrial por meio do avanço da ciência de medição, padrões e tecnologia, de forma a aumentar a segurança econômica e melhorar a qualidade de vida.

BIPM - Bureau International de Poids et Mesures (França) - A tarefa do BIPM é garantir a uniformidade das medições e sua rastreabilidade ao Sistema Internacional de Unidades (SI). Ele faz isso com a autoridade da Convenção do Metro, um tratado diplomático entre cinquenta e três nações, e opera através de uma série de Comitês Consultivos, cujos membros são os laboratórios nacionais de metrologia dos Estados-Membros da Convenção e por meio de seu próprio trabalho em laboratório, funciona sob a fiscalização exclusiva do Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM) e sob a autoridade da Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM). Tem por missão assegurar a unificação mundial das medidas físicas sendo encarregado de:

- Estabelecer os padrões fundamentais e as escalas das principais grandezas físicas e de conservar os protótipos internacionais;
- Efetuar a comparação dos padrões nacionais e internacionais;
- Assegurar a coordenação das técnicas de medidas correspondentes;
- Efetuar e coordenar as determinações relativas às constantes físicas que intervêm naquelas atividades.

Além disso, o guia citado foi desenvolvido baseado na recomendação do grupo de trabalho do BIPM sobre a declaração de Incertezas de forma a fornecer regras sobre a expressão da Incerteza de medição para utilização em

normalização, calibração, credenciamento de laboratórios e serviços de metrologia, tendo como propósito:

- Promover informação integral sobre a maneira pela qual a declaração da Incerteza foi alcançada;
- Fornecer uma base para a comparação internacional de resultados de medição.

A figura 12 demonstra a cadeia de rastreabilidade de padrões até o usuário.

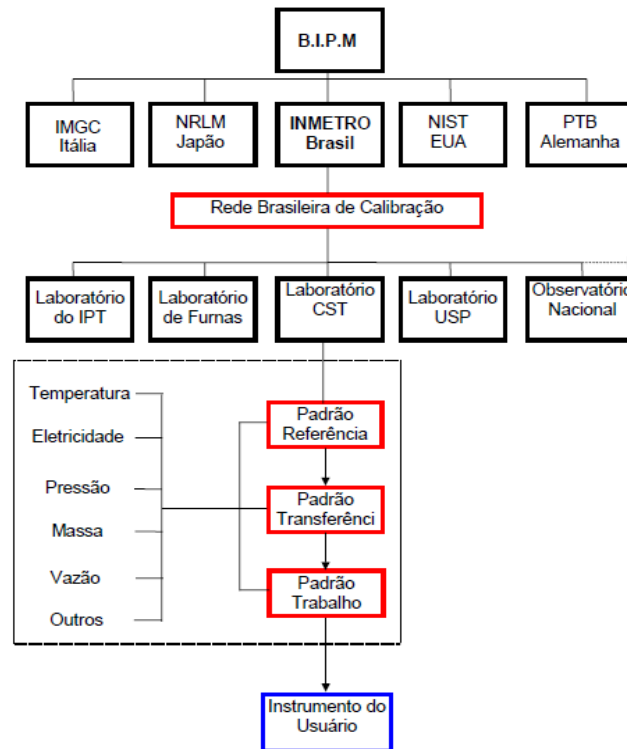


Figura 12 – Rastreabilidade de Padrões (Ribeiro, 1999)

4.4 Conceitos de Medição

Qual a origem da Incerteza de medição? O que acontece em um processo de medição? Qual a importância da Incerteza? Normalmente as fontes de Incerteza estão nos meios e métodos de medição, no ambiente e na definição do mensurando.

Algumas fontes possíveis de Incerteza de Medição incluem:

- a) Definição incompleta da grandeza;
- b) Falhas na definição da grandeza;

- c) Amostragem não-representativa - A amostra medida pode não representar a grandeza definida;
- d) Conhecimento inadequado dos efeitos das condições ambientais sobre a medição ou medição imperfeita das condições ambientais;
- e) Erro de tendência pessoal na leitura de instrumentos analógicos;
- f) Resolução finita do instrumento ou limiar de mobilidade;
- g) Valores inexatos dos padrões de medição e materiais de referência;
- h) Valores inexatos de constantes e de outros parâmetros obtidos de fontes externas e usados no algoritmo para obtenção de dados;
- i) Aproximações e suposições incorporadas ao método e procedimento de medição;
- j) Variações nas observações repetidas da grandeza sob condições aparentemente idênticas.

Na Figura 13 observam-se algumas fontes de Incerteza que normalmente ocorrem no processo de medição.

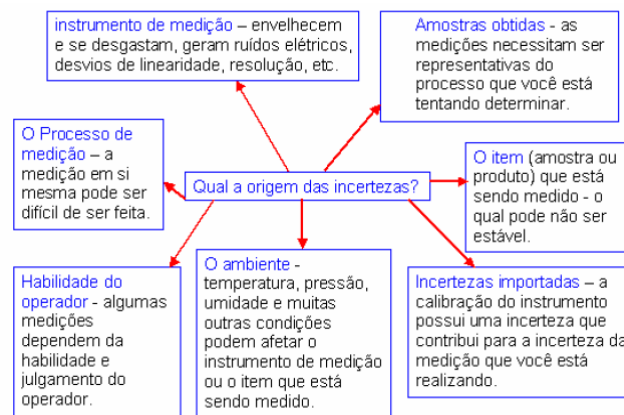


Figura 13 – Fontes de Incerteza da Medição (Fidélis, 1999)

4.4.1 Valor Verdadeiro

Pode-se dizer, conforme os termos fundamentais utilizados em metrologia e citados no VIM:

- **Valor Verdadeiro de uma Grandeza:** Consiste na definição de uma dada grandeza específica. É um valor que seria obtido por uma medição perfeita. Valores verdadeiros são, por natureza, indeterminados;

- **Valor Verdadeiro Convencional** de uma grandeza: Valor atribuído a uma grandeza específica e aceito, às vezes por convenção, como tendo uma Incerteza apropriada para uma dada finalidade.

4.4.2 Erro de Medição

Toda medição está afetada por erros. Estes erros são provocados pela ação isolada ou combinada de vários fatores que influenciam o processo de medição, envolvendo o sistema de medição, o procedimento de medição, a ação de grandezas de influência e o operador.

O comportamento do mensurando pode ser fortemente influenciado por perturbações externas e internas, bem como pela influência do operador, ou mesmo do Sistema de Medição (SM), modificar indevidamente o mensurando. O procedimento de medição adotado deve ser compatível com tais características.

A quantidade de medições efetuadas, o modelo de cálculo adotado e a interpretação dos resultados obtidos devem introduzir componentes de Incerteza relevantes ao resultado da medição.

As grandezas de influência externas podem provocar erros alterando o mensurando. A variação da temperatura provoca dilatação nas escalas dos instrumentos de medição, da mesma forma que age sobre o mensurando, tornando-se assim um dos itens mais críticos.

Durante o processo de medição também podem ser introduzidos erros adicionais, tais como erros de interpolação na leitura, erros inerentes ao manuseio, etc.

A grande dificuldade trazida por estes diversos fatores é que estas perturbações ocorrem superpostas ao sinal de medição, sendo impossível identificar e separar o que é erro do que é variação do mensurando. Para conviver com estes diversos fatores que influenciam o comportamento do SM, é comum fixar as condições em que o sistema de medição deva operar, por exemplo, temperatura $20 \pm 1^\circ\text{C}$, tensão da rede $220 \pm 15\text{ V}$, etc. Somente dentro destas faixas é que são garantidas as especificações metrológicas dos sistemas de medição, tornando-se necessário estar atento a estes limites.

O erro de medição sempre existe, não há meio de eliminá-lo completamente.

A Figura 14 demonstra a sequência de Incertezas de Medição que influenciam no mensurando.

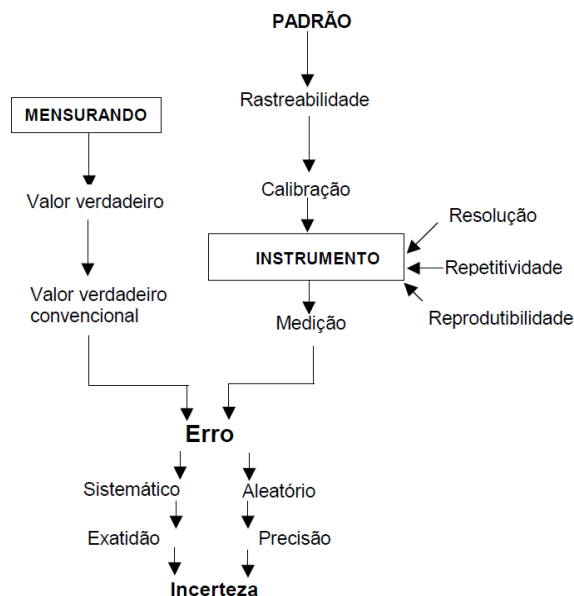


Figura 14 – Sequência da Incerteza de Medição (Ribeiro, 1999)

Um sistema de gestão metrológica eficaz assegura que os instrumentos e processos de medição sejam utilizados de forma adequada ao uso pretendido, visando alcançar a qualidade necessária para a realização de medições nas mais diversas inspeções, além de possibilitar o gerenciamento dos diversos riscos nos processos produtivos.

Todas as medições são contaminadas por erros imperfeitamente conhecidos, de modo que a significância associada com o resultado de uma medição deve considerar esta Incerteza.

O erro é a diferença entre o valor medido e o valor verdadeiro. Vários fatores influenciam no resultado obtido, dentre eles, os erros abaixo citados:

- **Erro Sistemático:** É a parcela do erro que se repete quando uma série de medições é efetuada nas mesmas condições. Numericamente corresponde à média de um número infinito de medições do mesmo mensurando, efetuadas sobre condições de repetitividade, menos o valor verdadeiro do mensurando. Em termos práticos, adota-se a tendência como estimativa do erro sistemático. Ocorre quando as condições de uso divergem das condições de calibração. É o único erro que pode ser minimizado, pois resulta de várias medições do mesmo mensurando. É possível reduzir o erro sistemático conhecendo o princípio de funcionamento do transdutor;
- **Erro Aleatório:** Esse erro não pode ser minimizado, pois não se identifica a causa do erro. Esse erro está associado à

repetitividade. O erro aleatório = erro - erro sistemático. Pode ser aproximado por uma distribuição gaussiana;

- **Erro Grosseiro:** Decorrente de leitura errônea, de operação indevida ou de dano no sistema de medição. Pode ser minimizado com aferições e calibrações dos instrumentos;
- **Incerteza:** é um parâmetro, associado com o resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem razoavelmente ser atribuídos à quantidade medida. É também o resultado da avaliação pretendida caracterizando a faixa dentro da qual o valor verdadeiro de uma quantidade medida é estimado cair, geralmente com uma dada confiança.

É uma exigência para todos os laboratórios credenciados de calibração que os resultados reportados em um certificado sejam acompanhados de uma declaração descrevendo a Incerteza de medição associada aos resultados.

Na Figura 15 é demonstrado o fluxograma do processo de estimativa da Incerteza de Medição.

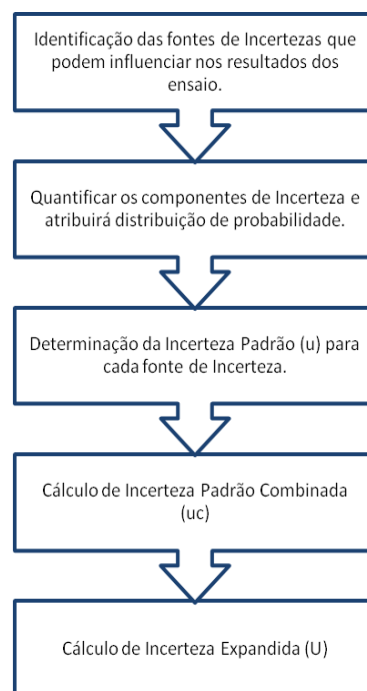


Figura 15 – Fluxograma do Processo de Estimativa da Incerteza de Medição

Esta definida no Eurachem (2002) a diferença entre erro e Incerteza de medição. O erro é definido como a diferença entre um resultado individual e o valor verdadeiro do mensurando. Desta forma, o erro é um valor único. Em

princípio, o valor de um erro conhecido pode ser aplicado como uma correção ao resultado. Erro é um conceito idealizado e não pode ser conhecido exatamente.

A Incerteza assume a forma de uma faixa e, se estimada por um procedimento analítico e um tipo definido de amostra, pode se aplicar a todas as determinações descritas por esta forma. De maneira geral, o valor da Incerteza não pode ser usado para corrigir o resultado de uma medição.

A Incerteza de medição é caracterizada por um intervalo com nível de confiança e probabilidade de abrangência estabelecida. Isso irá determinar o valor verdadeiro da medição.

4.4.3 Incerteza de Medição - NBR ISO/IEC 17025

Como já visto, não existe medição 100% exata, isto é, isenta de dúvidas no resultado final. Por isso torna-se de grande importância conhecer a Incerteza de Medição, identificando os erros existentes, corrigindo-os ou mantendo-os dentro dos limites aceitáveis. Uma análise plena de um resultado analítico só se torna possível se este estiver acompanhado da informação da Incerteza de Medição associada ao mensurando. Define-se a Incerteza como sendo um parâmetro associado ao resultado de uma medição que caracteriza a dispersão de valores que podiam ser razoavelmente atribuídos ao mensurado (Theisen, 1997).

Com o objetivo de padronizar a avaliação da Incerteza de Medição, que até em tão era executada de maneira não uniforme, a ISO e renomadas organizações internacionais publicaram em 1992 o Guia para a Expressão da Incerteza de Medição, conhecido como ISO GUM. Esse documento não é normativo, visando à padronização dos assuntos referentes a metrologia.

A avaliação da Incerteza de Medição é tão importante quanto o resultado medido. A Incerteza de Medição garante a confiabilidade e conseqüentemente a qualidade do mensurando.

Conforme citado no VIM (Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia) a melhor estimativa do valor do mensurando considera a Incerteza de Medição associada, incluindo aqueles resultantes dos efeitos sistemáticos, como os componentes associados com correções e padrões de referência, contribuem para a dispersão.

Para a caracterização da Incerteza de Medição é necessária a definição de dois valores. Um é o intervalo e o outro o nível de confiança ou probabilidade de abrangência que estabelecerá a segurança do valor verdadeiro nesse intervalo.

Define-se Incerteza como: “parâmetro, associado com o resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão de valores que podem razoavelmente ser atribuídos ao mensurando”.

A Incerteza está associada ao resultado da medição, não correspondendo ao erro aleatório do sistema de medição. Embora este seja uma das suas componentes, outras componentes também são decorrentes da ação de grandezas de influência sobre o processo de medição, como as Incertezas da tendência (ou da correção), número de medições efetuadas, resolução limitada, etc.

A Incerteza é normalmente expressa em termos da Incerteza padrão, da Incerteza combinada ou da Incerteza expandida conforme citado na norma Inmetro NIT-DICLA-021 são definidas por:

Incerteza Padrão (u) - é definida como a faixa de dispersão em torno do valor central equivalente a um desvio padrão. É dita como o resultado de uma medição expressa como um desvio padrão. Pode ser calculada:

- Dividindo-se a Incerteza Expandida (U) por 2 quando a distribuição é normal, e o nível de confiabilidade é 95,45% - Incerteza tipo A.
- Quando a distribuição é retangular, ela pode ser calculada dividindo-se a Incerteza Expandida (U) por $\sqrt{3}$, ou por $2\sqrt{3}$, quando a distribuição é triangular. Estas duas distribuições são utilizadas quando o método de avaliação de Incerteza é do tipo B.

Incerteza Padrão Combinada (uc): É composta pelos efeitos aleatórios de cada fonte de Incerteza. É o resultado da combinação dos componentes da Incerteza Padrão de um processo de medição. É estimada considerando a ação simultânea de todas as fontes de Incerteza e ainda corresponde a um desvio padrão da distribuição resultante.

A Incerteza Padrão Combinada é o resultado de uma medição, daquele obtido por meio dos valores de várias outras grandezas, sendo igual à raiz quadrada positiva de uma soma de termos, que constituem as variâncias ou covariâncias destas outras grandezas, ponderadas de acordo com a forma como o resultado da medição varia com mudanças nestas grandezas (sensibilidade).

Incerteza Expandida (U): É a grandeza que define um intervalo em torno do resultado de medição com o qual se espera abranger uma grande fração da distribuição dos valores que possam ser razoavelmente atribuídos ao

mensurando. Associada a um processo de medição, é estimada a partir da Incerteza Combinada multiplicada pelo coeficiente t-Student e reflete a faixa de dúvidas ainda presente nesta medição para uma probabilidade de enquadramento definida com nível de confiança de 95% e dois desvios padrões quando a distribuição é normal. Pode ser calculada multiplicando-se a Incerteza Padrão Combinada por 2.

4.4.4 Análise da Incerteza de Medição

A estatística mostra que a melhor aproximação para o desvio padrão é a expressão citada no IsoGum, que leva em consideração que a amostra é finita. Sendo que no limite de $n \rightarrow \infty$, o valor de μ se aproxima do valor da população infinita.

1. A fração pode ser vista como a probabilidade de cobertura ou nível de confiança do intervalo;
2. Associar um nível específico de confiança com o intervalo definido pela Incerteza expandida requer uma hipótese explícita ou implícita com relação à distribuição de probabilidade caracterizada pelo resultado da medição e sua Incerteza padrão combinada. O nível de confiança que pode ser atribuído a este intervalo pode ser conhecido somente na extensão em que tais hipóteses possam ser justificadas;
3. A Incerteza expandida é também chamada de Incerteza total.

4.4.5 Avaliação Tipo A de Incerteza

Método de avaliação da Incerteza por análise estatística de uma série de observações independentes para uma das grandezas de entrada sob as mesmas condições de medição. Caso haja suficiente resolução no processo de medição haverá uma dispersão ou espalhamento nos valores obtidos.

Para n observações estatisticamente independentes $n > 1$, a estimativa da grandeza será a média aritmética dos valores individuais observados. Ou seja:

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n q_j \quad (\text{A.7})$$

4.4.6 Avaliação Tipo B de Incerteza

Método de avaliação da Incerteza por meios diferentes de análise estatística de uma série de observações, aplicado às Incertezas sistemáticas, cuja distribuição não é normal e geralmente é retangular. Os valores desta categoria podem ser obtidos a partir de:

- Dados de medições;
- Especificação do fabricante;
- Experiência ou conhecimento geral do comportamento e propriedades de materiais e instrumentos relevantes;
- Dados provenientes de calibração e de outros certificados;
- Incertezas atribuídas aos dados de referência provenientes de manuais ou publicações.

Sendo obtido através do cálculo:

$$x_i = \frac{1}{2} (a_+ + a_-) \quad (\text{A.8})$$

$$u^2(x_i) = \frac{1}{3} a^2 \quad (\text{A.9})$$

4.4.7 Variância

Uma medida da dispersão, que é a soma dos quadrados dos desvios de observações de sua média dividida por um menos o número de observações. A variância é dada por:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (\text{A.10})$$

Onde: X = variáveis;

n = número de observações

4.4.8 Desvio Padrão

O desvio padrão da variável é a raiz quadrada positiva de sua variância. Depende da soma dos quadrados dos desvios dos dados da variável com relação a sua média. Por tanto, quanto menor for o desvio padrão, mais os valores da variável se aproximarão de sua media.

O desvio padrão considerado da amostra é dado por:

$$S_x = \sqrt{S_x^2} \quad (\text{A.11})$$

4.4.9 Desvio Padrão do Valor Médio

O desvio padrão da média de cada conjunto é chamado de erro padrão da média e é inversamente proporcional à raiz quadrada do número de séries replicadas de medições com N dados, onde: σ = desvio padrão, σ_m = desvio padrão médio e N = número de medidas:

$$\sigma_m = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad (\text{A.12})$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [(x_i - m)]^2}{N - 1}} \quad (\text{A.13})$$

O desvio padrão das médias é uma melhor estimativa da Incerteza interna e é chamado também de erro padrão interno. Pode-se notar que a distribuição normal das medições de uma amostra tem menor precisão que a correspondente distribuição normal da amostra das médias. A distribuição normal das médias tem um formato mais estreito e um pico maior que a distribuição normal de uma amostra, conforme demonstrado na Figura 16.

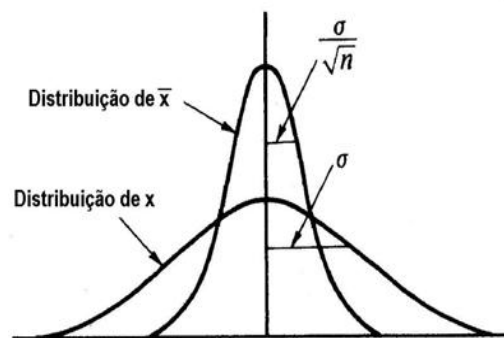


Figura 16 - Desvio Padrão das Médias

4.4.10 Distribuição Normal ou de Gauss

A distribuição normal é uma distribuição contínua de probabilidade (Figura 17), fundamental para a inferência estatística e análise de dados. Sua importância vem dos seguintes fatos:

- 1) Muitos fenômenos físicos e muitos conjuntos de dados seguem uma distribuição normal. Por exemplo, as distribuições de frequência de alturas, pesos, leituras de instrumentos, desvios em torno de valores estabelecidos seguem a distribuição normal;
- 2) Pode-se mostrar que várias estatísticas de amostras (como a média) seguem a distribuição normal, mesmo que a população de onde foram tiradas as amostras não seja normal;
- 3) Mesmo a distribuição binomial tende para a distribuição normal, quando o número de dados aumenta muito. E os cálculos relacionados com a distribuição binomial são muito mais complexos que os empregados pela distribuição normal;
- 4) A distribuição normal possui propriedades matemáticas precisas e idênticas para todas as distribuições normais.

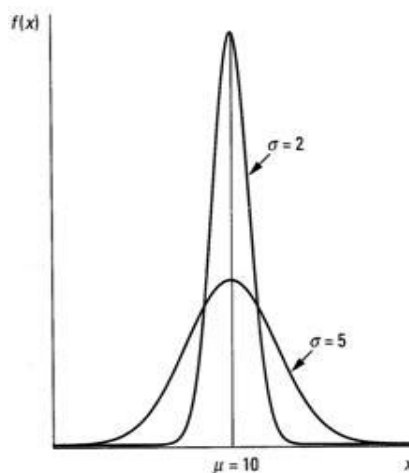


Figura 17 - Distribuição Normal ou de Gauss

O conceito de Incerteza de Medição é utilizado para determinar a qualidade de um sistema de medição.

A incerteza de um resultado define uma faixa de valores em torno da média das medições, no qual o valor verdadeiro do mensurando se encontra com nível de confiança estabelecido.