

Noções de Metrologia

Sumário

Introdução	03
A importância da metrologia.....	10
Metrologia ciência da medição.....	12
Conceitos fundamentais.....	14
Referências	23

Introdução

Quase todo mundo já usou um desses brinquedos de montar estruturas, do tipo lego. As pecinhas se encaixam umas nas outras com incrível perfeição e permitem construir objetos bem complicados ou mesmo enormes. Existem pontes construídas com esses bloquinhos que chegam a quase 40 metros de comprimento.* Para isso, utilizam-se milhões de blocos de lego. Para obras como essas, é necessário que as pequenas peças, que medem poucos centímetros, sejam feitas com muito cuidado. Se as distâncias entre os pinos e buracos fossem diferentes, jamais teríamos tais estruturas.

Agora imagine uma obra gigantesca, como a Ponte Rio-Niterói. É uma das maiores obras de engenharia do planeta e está entre as maiores pontes do mundo. Sua construção também se deu utilizando blocos. Porém, neste caso, eles são enormes, da ordem de dezenas ou centenas de metros. E nesse caso também se exige um encaixe perfeito.

Noções de Metrologia



Imagem 1: Construção da Ponte Rio-Niterói. Ao fundo, o Pão de Açúcar. As peças enormes, pré-fabricadas, se encaixam umas nas outras com exatidão milimétrica.

Não é de hoje que a humanidade se vê frente a esse tipo de situação. A construção de objetos ou estruturas em que diversas peças se encaixam exige um sistema complexo, que envolve definições de processos de medição e cálculos de incertezas, como veremos mais adiante.

Para entender melhor alguns dos conceitos envolvidos nos processos de medição, vamos voltar ao Egito Antigo. Uma pirâmide é formada por um enorme número de peças (blocos de pedra) que se encaixam. Não só sua estrutura externa é notável. Também se construía um conjunto de câmaras e túneis internos, de acordo com os planos do faraó.

Os projetos de construção de pirâmides eram cuidadosamente feitos por arquitetos. E esses arquitetos, os engenheiros da época, acompanhavam a construção da obra. Inúmeros trabalhadores escravos deviam cortar, mover e encaixar as peças.* Os arquitetos deviam verificar se as peças cortadas correspondiam ao projeto, a fim de que o encaixe se desse conforme o planejado.

A unidade de comprimento da época era o cúbito, que correspondia à distância entre o cotovelo e a ponta do dedo do faraó, com a palma da mão aberta e esticada alinhada ao antebraço.

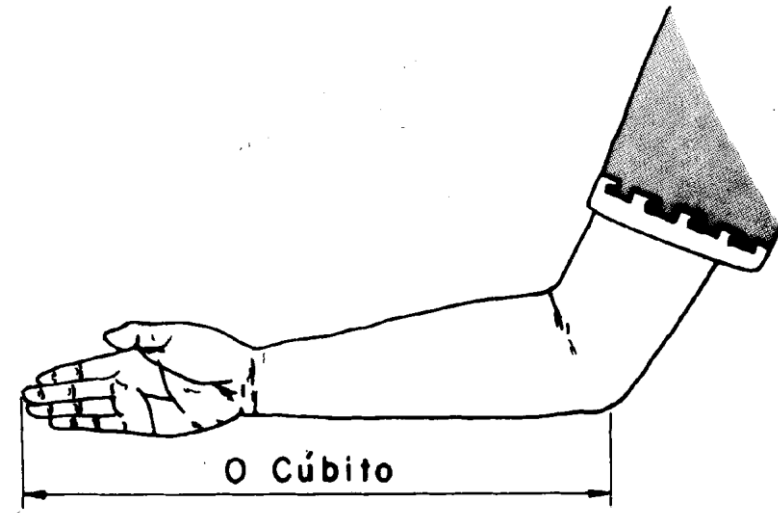


Imagem 2: Demonstração de um cúbito.

É claro que o faraó não ficava à disposição dos arquitetos e muito menos dos mestres de obra. Ao longe, ele contemplava o erguimento da pirâmide. Dessa forma, construía-se um padrão de granito, que representava o cúbito real e era a referência para todas as medidas. No entanto, esse padrão também não poderia ser movido para o canteiro de obras. Sua perda ou dano comprometeria o processo de construção. Ele deveria ficar seguro no palácio do faraó.

Os arquitetos usavam padrões de madeira em suas medidas cotidianas. Mas um cuidado importante era necessário: a medida do padrão usado pelos arquitetos, por todos eles, deveria sempre estar de acordo com o tamanho do padrão primário de granito. Ou seja, as medidas feitas pelos arquitetos deveriam ser rastreáveis ao padrão primário.

Os arquitetos do faraó eram obrigados a calibrar seus instrumentos de medição a cada lua cheia. Se não o fizessem, eram enforcados. Apesar de a punição ser desmedida para a falha cometida – conforme entendemos hoje em nosso país –, a preocupação com esse rigor é evidente, pois desse mesmo rigor dependia a justeza de enormes peças que se encaixariam nos monumentos construídos sob o mando dos faraós.

Dessa forma, podemos entender como a necessidade de medir e a exatidão são bastante antigas e remontam à origem das civilizações. Contudo, por muito tempo, cada país, cada região teve seu sistema de medidas. Essas unidades, entretanto, eram geralmente arbitrárias e imprecisas. Como vimos, os primeiros padrões de medida de comprimento correspondiam a partes do corpo de pessoas nobres: o cúbito do faraó, o pé de um rei, o palmo, etc. Isso criava muitos problemas para o comércio, porque as pessoas de uma região não estavam familiarizadas com o sistema de medição das outras e também porque os padrões adotados eram, muitas vezes, subjetivos. As quantidades eram expressas em unidades pouco confiáveis, diferentes umas das outras e sem correspondência entre si.

A necessidade de converter unidades de medida era tão importante quanto a necessidade de converter moedas. Na verdade, em muitos países, entre eles o Brasil, nos tempos do Império, a instituição que cuidava da moeda também cuidava do sistema de medidas. Em 1789, numa tentativa de resolver esse problema, o governo republicano francês pediu à Academia de Ciências da França que criasse um sistema de medidas baseado numa “constante natural”, ou seja, não arbitrária. Assim, criou-se o sistema métrico

decimal, constituído inicialmente de três unidades básicas: o metro, que deu nome ao sistema por ter sido a primeira unidade a ser universalizada, o litro e o quilograma.

O metro, unidade básica de medida de comprimento, foi definido como a décima milionésima parte do comprimento do meridiano que, passando pela cidade de Paris, ligava o polo norte à linha do equador.

O quilograma, unidade básica de medida de massa, foi definido como a massa de um litro de água. O litro foi definido como o volume de um decímetro cúbico. Em 1799 foram criados os padrões materializados de comprimento e massa, sendo o primeiro uma barra de uma liga metálica de platina e irídio e o segundo um cilindro com massa correspondente à massa de um litro de água e também feito de uma liga de platina e irídio.



Imagem 3: Padrões de massa e de comprimento.

Posteriormente realizou-se a primeira Convenção Internacional do Metro, em 1875, na qual se assinou um tratado para uniformizar o sistema métrico internacional e se criou o Bureau Internacional de Pesos e Medidas (BIPM).

Muitos países adotaram o sistema métrico, entre os quais o Brasil, e aderiram à Convenção do Metro. Entretanto, apesar das qualidades inegáveis do sistema métrico decimal – simplicidade, coerência e harmonia –, não foi possível torná-lo universal. Além disso, o desenvolvimento científico e tecnológico passou a exigir medições cada vez mais precisas e diversificadas. Em 1960, o sistema métrico decimal foi substituído pelo Sistema Internacional de Unidades (SI), mais complexo e sofisticado que o anterior

O SI foi sancionado em 1960 pela Conferência Geral de Pesos e Medidas e constitui a expressão moderna e atualizada do antigo sistema métrico decimal, ampliado de modo a abranger os diversos tipos de grandezas físicas, compreendendo não somente as medições que interessam ao comércio e à indústria no dia a dia (domínio da metrologia legal), mas estendendo-se completamente a tudo o que diz respeito à ciência da medição.

Em 1961, o Brasil criou o Instituto Nacional de Pesos e Medidas (INPM). Logo depois, adotou o SI. A Resolução nº 12, de 1988, do Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Conmetro) ratificou a adoção do SI no país, tornando seu uso obrigatório em todo o território nacional.

Em 1973, o INPM foi substituído pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro), que em 2011, por força da Lei nº 12. 545, mudou de nome, passando a se chamar Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro).

A importância da metrologia

A metrologia representa uma ciência estratégica para o desenvolvimento de uma nação, além de ser essencial para o crescimento tecnológico e comercial das organizações.

Para se ter ideia da importância da metrologia, estima-se que o custo das operações de medição equivalha a cerca de 6% do Produto Interno Bruto das nações industrializadas. Alimentos são comercializados por peso, o consumo de água e eletricidade é medido, e isso afeta a economia. Os tamanhos de cadeiras podem afetar nosso humor e comprometer o rendimento na escola e no trabalho. A velocidade dos carros, quando excede os limites aceitáveis, é medida por agentes do Estado e pode ter consequências financeiras (no nosso bolso, em particular). As quantidades de substâncias ativas em medicamentos e os exames de sangue exigem medidas cada vez mais exatas. O mau uso de instrumentos de medição nas áreas de saúde pode trazer consequências danosas, gerando até casos fatais. É praticamente impossível definir uma atividade de nosso dia a dia sem falar em peso ou medida.

Só para fazer um teste, tente desenvolver uma conversa em que não haja referências de peso ou medida: “Que horas são?”; “Quantos quilos de feijão?”; “Você viu a velocidade daquele carro?”; “Meu colesterol está acima do limite!”, etc.

Assim, todas as atividades comerciais e seus regulamentos dependem de como pesamos e medimos. O piloto do avião observa cuidadosamente a altitude, o curso, o consumo de combustível e a velocidade. O inspetor sanitário mede a população de bactérias. Indústrias adquirem matérias-primas por meio de pesos e medidas e especificam seus produtos usando as mesmas unidades. Regulamentam-se processos e disparam-se alarmes por causa de medições. A medição sistemática com a correta avaliação de suas incertezas é um dos pilares do controle de qualidade industrial, e, geralmente, nas indústrias modernas, os custos relativos às medições chegam a algo em torno de 10% a 15% do custo de produção. Boas medições podem, entretanto, aumentar significativamente a qualidade, o valor e a efetividade de um produto.

Por fim, toda a ciência e a atividade científica são completamente dependentes da metrologia. Geólogos medem ondas sísmicas para avaliar as gigantescas forças que estão por trás dos terremotos; astrônomos medem pacientemente a fraca luz vinda de estrelas distantes para determinar sua idade; físicos comemoram quando, ao fazer experimentos de milionésimos de segundo, finalmente confirmam a presença de mais uma partícula infinitesimal. A disponibilidade de instrumentos de medição e a habilidade em usá-los serão essenciais se os cientistas quiserem documentar, de forma objetiva, os resultados que alcançaram.

A ciência da medição, a metrologia, é provavelmente a mais velha das ciências, e o conhecimento de como ela se aplica é uma necessidade fundamental para todas as profissões baseadas no conhecimento científico.

Metrologia é a ciência da medição

A metrologia cobre as atividades de medição em três áreas principais:

1. A definição de unidades de medida internacionalmente aceitas, como o metro.
2. A realização das unidades de medida por meio de métodos científicos, como a realização do metro por meio do uso de lasers.
3. O estabelecimento de cadeias de rastreabilidade, determinando o valor e a exatidão de uma medição e disseminando o conhecimento. Assim, seguindo nossa linha de exemplos, teríamos a relação documentada entre o parafuso de um micrômetro numa oficina de engenharia de precisão e um laboratório primário de metrologia óptica de comprimento.

A metrologia se divide em três categorias com diferentes níveis de complexidade e exatidão:

1. A metrologia científica trata da organização e do desenvolvimento dos padrões de medida e sua manutenção (o nível mais alto).

2. A metrologia industrial cuida do funcionamento adequado dos instrumentos de medição usados na indústria, na produção e nos ensaios e garante, dessa forma, qualidade de vida para os cidadãos e para pesquisa acadêmica
3. A metrologia legal focaliza as medições que influenciam a transparência das transações econômicas, particularmente onde há exigências de verificações legais dos instrumentos de medição.

Como podemos ver, a metrologia é uma das ciências mais relevantes em qualquer nação industrializada, e em nosso país não é diferente. No Brasil, a metrologia vem se fortalecendo cada vez mais, e um dos responsáveis por esse fortalecimento é o Inmetro, que, por meio de investimentos em pesquisas, treinamento e qualificação de seus funcionários e de jovens que atuam na área de metrologia, se empenha fortemente para manter a credibilidade do cidadão brasileiro e do mercado internacional no que se refere à qualidade dos produtos de importação e exportação.

Com o aumento do comércio interno e a ascensão do Brasil no comércio internacional, tornou-se indispensável que os produtos nacionais tenham excelente qualidade.

Dessa forma, a metrologia constituiu-se em algo muito importante para o desenvolvimento de um país, além de ser fundamental para o crescimento tecnológico e comercial das organizações.

Para o profissional envolvido com as técnicas de medição no dia a dia de suas atividades, é imprescindível conhecer os fundamentos matemáticos, as ferramentas estatísticas, as técnicas e os procedimentos operacionais.

A seguir, apresentaremos alguns conceitos básicos de metrologia para você se familiarizar com eles.

Conceitos fundamentais

Vamos definir alguns dos conceitos fundamentais que compõem a base para a metrologia.

Existe um documento internacional, um dicionário de termos fundamentais, criado a partir de discussões entre diversas instituições científicas internacionais, sob coordenação do BIPM, num esforço para definir um sistema de medidas coerente e baseado em fenômenos naturais. Este documento é o Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia (VIM) e define a metrologia como a “ciência da medição e suas aplicações” (2008, p. 24).

Ainda segundo o VIM, “a metrologia engloba todos os aspectos teóricos e práticos da medição, qualquer que seja a incerteza de medição e o campo de aplicação” (p. 24). A estrutura desse vocabulário é baseada em conceitos fundamentais que se relacionam.

A seguir, exploraremos alguns deles. Sugerimos a leitura do VIM, particularmente dos diagramas conceituais, para a melhor compreensão de sua estrutura.

Grandeza

Em primeiro lugar, o que medimos? Medimos grandezas. Uma grandeza, segundo o VIM, é a “propriedade de um fenômeno, de um corpo ou de uma substância, que pode ser expressa quantitativamente sob a forma de um número e de uma referência” (p. 12).

O comprimento é uma grandeza. A carga elétrica também. O raio de uma circunferência é uma forma individual de comprimento. A “referência” mencionada na definição de grandeza “pode ser uma unidade de medida, um procedimento de medição, um material de referência ou uma combinação destes” (p. 12).

A partir da definição de grandeza, podemos construir um sistema de grandezas. Nele temos as grandezas de base e as grandezas derivadas. As grandezas de base são as que compõem um “subconjunto escolhido, por convenção, num dado sistema de grandezas, de modo que nenhuma grandeza do subconjunto possa ser expressa em função das outras” (p. 13).

Como exemplo, podemos citar o SI, que tem como grandezas de base o comprimento, a massa, o tempo, a corrente elétrica, a temperatura termodinâmica, a quantidade de matéria e a intensidade luminosa. A área pode ser derivada do comprimento (produto de dois comprimentos). A velocidade é o quociente entre comprimento e tempo. E assim por diante.

Unidade de medida

A unidade de medida é uma “grandeza escalar real, definida e adotada por convenção, com a qual outras grandezas do mesmo tipo podem ser comparadas, para expressar, na forma de um número, a razão entre duas grandezas” (p. 15).

Como existem grandezas de base e grandezas derivadas, também aqui teremos unidades de base e unidades derivadas. O metro é a unidade de base do SI, enquanto o metro por segundo é uma unidade derivada.

Medição

A medição é um “processo de obtenção experimental de um ou mais valores que podem ser, razoavelmente, atribuídos a uma grandeza” (p. 24).

O VIM traz esclarecimentos importantes sobre essa definição:

- A medição não se aplica a propriedades qualitativas.
- A medição implica a comparação de grandezas e engloba contagem de entidades.
- A medição pressupõe uma descrição da grandeza que seja compatível com o uso pretendido de um resultado de medição, de um procedimento de medição e de um sistema de medição calibrado que opere de acordo com um procedimento de medição especificado, incluindo as condições de medição (p. 24).

As medições são impactadas por agentes metrológicos, tais como o método de medição, a amostra, o operador, o equipamento de medição, as condições ambientais e a rastreabilidade dos equipamentos e padrões. Dessa maneira, entendemos a medida como o resultado do processo de medição, e, nesse sentido, sua qualidade depende de como o processo é gerenciado.

Valor de uma grandeza

Como declarado, a medição consiste em um processo experimental para se obter o valor de uma grandeza, que é definido como “conjunto, formado por um número e por uma referência, que constitui a expressão quantitativa de uma grandeza” (p. 20).

Temos como exemplos o comprimento de uma haste: 5,34 m ou 534 cm; a massa de um corpo: 0,152 kg ou 152 g; a curvatura de um arco: 112 m⁻¹; a temperatura em Celsius de uma amostra: -5 °C.

Precisão de medição

No dia a dia, questionamos se uma medida é ou não precisa. Esse termo é utilizado de forma bastante livre. Para uma definição clara, recorreremos ao VIM. Segundo ele, a precisão de uma medição é o “grau de concordância entre indicações ou valores medidos, obtidos por medições repetidas, no mesmo objeto ou em objetos similares, sob condições especificadas” (p. 28).

Para evitar confusões, o VIM traz os seguintes esclarecimentos:

- A precisão de medição é geralmente expressa na forma numérica, por meio de medidas de dispersão como o desvio-padrão, a variância ou o coeficiente de variação, sob condições de medição especificadas.
- As “condições especificadas” podem ser, por exemplo, de repetitividade, de precisão intermediária ou de reprodutibilidade (ver ISO 5725–3, 1994).
- A precisão de medição é utilizada para definir a repetitividade de medição, a precisão intermediária de medição e a reprodutibilidade de medição.
- O termo “precisão de medição” é algumas vezes utilizado, erroneamente, para designar a exatidão de medição (p. 28).

Incerteza de medição

Incerteza de medição é o “parâmetro não negativo que caracteriza a dispersão dos valores atribuídos a um mensurando, com base nas informações utilizadas” (p. 29).

A dispersão de valores está associada à ideia de que realizamos diversas medições (medições repetidas) e de que os valores atribuídos a um mensurando (a grandeza que se pretende medir) não coincidem entre si. Existe, portanto, uma dúvida que deve ser quantificada. Os processos de avaliação da incerteza de medição envolvem diversos procedimentos que não serão aqui analisados.

A incerteza de medição não deve ser confundida com o erro de medição, que é a “diferença entre o valor medido de uma grandeza e um valor de referência” (p. 29). Os erros de medição podem ser de dois tipos: aleatório – “componente do erro de medição que, em medições repetidas, varia de maneira imprevisível” – e sistemático – “componente do erro de medição que, em medições repetidas, permanece constante ou varia de maneira previsível” (p. 29).

A figura a seguir ilustra a diferença entre os dois tipos de erro. Suponha que sejam feitos quatro processos de medição, cada um deles com várias medições de uma grandeza. Cada um foi feito por um operador diferente e com instrumentos diferentes. Os valores obtidos são postos num gráfico em forma de alvo. O valor de referência é o centro do alvo.

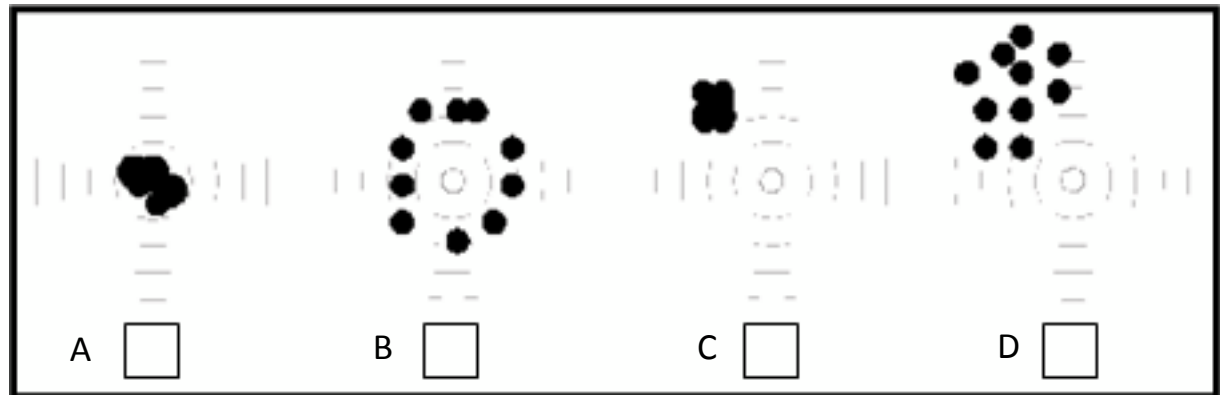


Imagem 4: O valor de referência é o centro do alvo.

No caso A, temos uma pequena dispersão em torno do centro, o que nos indica que os erros aleatórios são pequenos em comparação com o que nos revela a imagem B, na qual os erros aleatórios são maiores. No caso C, a dispersão entre os valores medidos é pequena, mas eles se afastam bastante do valor de referência. Temos erros aleatórios menores e um erro sistemático, revelado pelo fato de que esses valores medidos se encontram agrupados em um ponto afastado do centro. No caso D, temos de novo uma dispersão maior e também um afastamento em relação ao centro, mostrando um erro sistemático e erros aleatórios maiores que no caso C.

Calibração

Lembre-se de que, na história do faraó, os arquitetos deviam calibrar as réguas de acordo com o padrão primário. Calibração, segundo o VIM, é a “operação que estabelece, numa primeira etapa e sob condições especificadas, uma relação entre os valores e as incertezas de medição fornecidos por padrões e as indicações correspondentes com as incertezas associadas. Numa segunda etapa, utiliza esta informação para estabelecer uma relação visando à obtenção de um resultado de medição a partir de uma indicação” (p. 38).

A calibração é, geralmente, realizada por um laboratório específico e seu resultado é apresentado num documento denominado “certificado de calibração”. Pela análise do certificado de calibração, é possível identificar, além dos erros de indicação do instrumento, a rastreabilidade dos padrões utilizados e a incerteza da medição.

Rastreabilidade metrológica

De acordo com o VIM, a rastreabilidade metrológica é a “propriedade de um resultado de medição pela qual tal resultado pode ser relacionado a uma referência, através de uma cadeia ininterrupta e documentada de calibrações, cada uma contribuindo para a incerteza de medição” (p. 35).

Padrões e equipamentos calibrados e com rastreabilidade garantida transferem exatidão às medições e possibilitam uma estimativa adequada da incerteza final de medição.

Dessa forma, antes de efetuar e utilizar o resultado de uma medição como informação relevante para qualquer tomada de decisão, é necessário analisar o processo de medição, de modo que se conheçam todas as fontes de influência associadas aos agentes metrológicos.

A figura a seguir mostra um esquema do sistema geral que garante as medições que efetuamos.



Imagem 5: Esquema que garante medições.

Esses conceitos fundamentais são a base para a ciência da metrologia. Propomos que você retorne à história do faraó e busque entender, naquela pequena narrativa, como cada um deles se expressa. A seguir, vamos nos deter ao Sistema Internacional de Unidades (SI).

Referências

Noções de Metrologia

BRASIL. Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Resolução nº 12, de outubro de 1988. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 12 de out. 1988. Seção 1, p. 20526-20531.

DIAS, José Luciano de Mattos. Medida, normalização e qualidade: aspectos da história da metrologia no Brasil. Rio de Janeiro: Ilustrações, 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. International standard ISO 5725-3:1994: technical corrigendum 1: Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results: part 3: intermediate measures of the precision of a standard measurement method. Suíça, 2001.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. Vocabulário internacional de metrologia: conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2008). Rio de Janeiro: [s. n.], 2009. Tradução de: International vocabulary of metrology – basic and general concepts and associated terms - JCGM 200:2008.