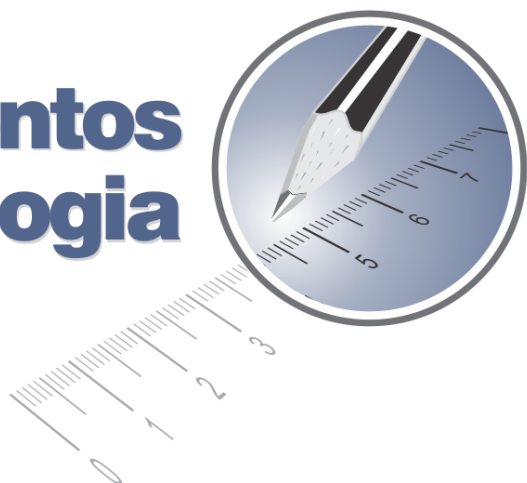


Fundamentos da Metrologia



e Avaliação da Conformidade

História da Metrologia



Apresentação

Caros amigos,

Bem-vindos(as). Estamos felizes em recebê-los(as).

A metrologia é uma ciência muito específica e há uma cultura própria no seu tratamento. Por isso, tivemos a preocupação de preparar materiais de apoio para a recepção de vocês na Instituição. Esta apostila se preocupará em assinalar alguns dos principais marcos históricos e teóricos da metrologia, como sua etimologia, definição e relação com o avanço das ciências. Esperamos que esse contato possa ser prazeroso e bastante enriquecedor.

Boa leitura.
Rafael de Oliveira Vaz

Sumário

Introdução	04
Considerações Iniciais	05
Histórico Científico da Medida ...	08
O Sistema Métrico Decimal ...	11
Referências...	15

História e Evolução da Metrologia

Introdução

Medir e comparar foram úteis nas mais antigas civilizações em tarefas diversificadas, como agrimensura de terrenos, construção de habitações, metalurgia rudimentar, cerâmica e o escambo (primeira forma de troca de mercadorias). A compreensão do tempo associada aos ciclos dos astros no céu era vital para o reconhecimento das épocas do ano de plantio e colheita. Hoje, o processo de medição está amplamente difundido no meio científico e possui papel fundamental na validação do conhecimento e na conversão desse saber em aplicações tecnológicas.

A ideia básica, por detrás da metrologia, pode ser resumida em uma sentença: medir para conhecer. Evidencia-se que é necessário responder a pergunta “o que é medir?” de maneira que melhor se explique o que constitui, em essência, uma medida, desde a descrição do processo de medição (detalhando suas diferentes classificações, se houver) à apresentação da natureza do conhecimento por ela gerado. Uma vez descrito o processo de medição, é necessário estabelecer critérios que permitam, ao final de um experimento de medição, a verificação dos resultados obtidos.

Por fim, resta a seguinte dúvida: a diferença entre os métodos de medição envolverão divergências em torno do conceito de medida? Considerando que o conceito de medição exerce papel relevante na demonstração de uma hipótese científica, as ciências sociais, comportamentais e econômicas buscaram construir processos próprios de medição com alto grau de confiabilidade de resultados. Seus processos são confiáveis? Como se determina confiança?

A reflexão sobre o conceito de medida amplia os horizontes teóricos das mais diversas ramificações da história das ciências e da tecnologia. Aliada à história e à filosofia próprias ao campo da metrologia, enriquece o debate sobre a evolução das diversas formas de medição permitindo que interessantes discussões, quanto ao que entendemos como rotineiro em nossas vidas, sejam observadas sob novo prisma.

Considerações Iniciais

Sobre Contar e Medir

Para começar, vamos pensar em dois conceitos: contar e medir. O ser humano certamente sabia medir antes de saber escrever, ou não teria, por exemplo, construído habitações em que coubesse. Mas será que sabia contar? Qual é a relação entre as duas ideias?

Contar permite ao homem quantificar objetos. Quando contamos ordinalmente, colocamos em ordem de quantidade (crescente ou decrescente) certos objetos abstratos, com ou sem referências diretas no mundo. Não contamos “um número um”, “dois números um”, “três números um”, mas “um, dois, três” ou “um livro, dois livros, três livros”. Sabemos quantos são os livros, mas o número não é um objeto observável - desconhecemos sua forma ou aparência. A humanidade criou símbolos específicos para cada um dos números e suas relações, mas os primeiros hominídeos riscavam ossos, guardavam pedras em sacos, davam nós em corda; faziam o que podiam para registrar a quantidade de objetos envolvidos na contagem. Os registros datam mais de 30 mil anos atrás e nos fornecem uma ideia de como se iniciou a relação entre o ser humano e os princípios do raciocínio matemático.

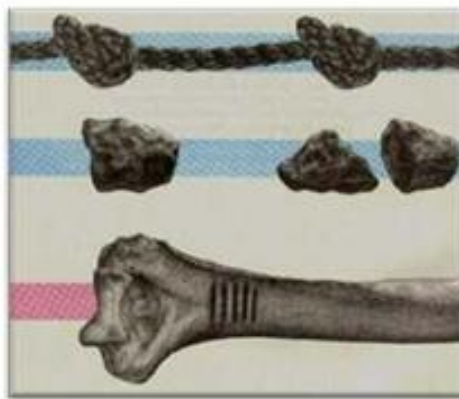


Figura 1: Nós em cordas, pedrinhas amontoadas ou riscos em ossos eram usados pelo homem primitivo para contar.

Medir não significa, de maneira específica, contar. Podemos contar um número de coisas e dizer sua quantidade, o que não deixa de ser uma medição, mas, quando medimos a altura de uma pessoa, atribuímos números não à pessoa como um todo, mas a uma de suas características. A escala criada procura demonstrar que há algum significado na diferença entre esses números. Imaginemos que dois indivíduos, A e B, medem 1,70 m e 1,80 m, respectivamente. A comparação nos informa que o indivíduo B é maior (ou mais alto) que o indivíduo A. Como não existem características de um só tipo, não há apenas uma maneira de medi-las. Logo, a compreensão da natureza do que se vai medir é essencial para construirmos a escala mais adequada.

Escalas organizam e exprimem dados
quantitativos ou qualitativos.

Etimologia de “metrologia”

O termo “Metrologia” é formado por duas palavras gregas:

métron (μετρον) - medir, avaliar

e

logos (λογος) - palavra, razão, estudo

Etimologicamente, podemos entender “metrologia” como “o estudo da medida”, “a palavra sobre a medida”, “o discurso racional sobre a medida”.

A definição do termo “metrologia”

Não há controvérsias envolvendo o uso do termo entre manuais técnicos, em razão da necessidade de uniformização e rigor da linguagem empregada na metrologia. Para todos os propósitos práticos, utiliza-se a terminologia definida no Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM), publicado desde 1984, em sua 3ª edição revisada e atualizada. Conhecemos o termo “metrologia” como “ciência das medições e suas aplicações”.

Até antes de 1960, no entanto, a nomenclatura ainda era disseminada para se referir a estudos históricos sobre medidas, pesos e tabelas de conversão. Exemplos são encontrados nos trabalhos de Alexis Jean-Pierre Pauton (1780), Patric Kelly (1816) e Algernon Edward Berriman (1953).

Alguns fatores foram decisivos para formar a concepção de metrologia que hoje temos. O primeiro deles é a criação da unidade metro. Legado da Revolução Francesa (1789), o metro sedimentou a ideia da criação de padrões de medidas que pudessem ser universalmente disseminados.

A experimentação e a medição, bases da ciência física, foram o segundo fator a dar impulso à teoria da medição. No seminal trabalho Contar e Medir (1887), de Hermann von Helmholtz, investigam-se as condições teóricas da realização de medições. A principal gira em torno do conceito de grandeza. Números e operações aritméticas são conferidos a objetos possibilitando que se tornem comparáveis matematicamente. Escreveu Helmholtz: “objetos, ou atributos dos objetos, que, quando comparados a similares, permitem a distinção de maior, igual ou menor, chamamos grandezas”.



Figura 2: Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1894)

A organização da metrologia como uma disciplina própria é definida com os avanços de pesquisas científicas cada vez mais ocupadas da construção do processo de medição e da interpretação matemática de seus resultados. A constituição do Sistema Internacional de Unidades (SI), em 1960, veio corroborar essa tendência. Os engenheiros Dieter Kind e Heinz Lübbig (2003) afirmam que a metrologia atingiu o grau de especificidade e precisão de uma ciência própria porque “todo fenômeno teórico que puder ser explicitamente formulado pode ser quantitativamente descrito pelas unidades do SI”.



Figura 3: Unidades básicas do Sistema Internacional de Unidades (SI)

Atualmente, quando usamos o termo “metrologia”, não falamos de sua história. Para tratar disso, procuramos aliar o conhecimento matemático aos métodos da antropologia, arqueologia, história, filosofia ou teoria das medições, assinalando qual o campo do conhecimento a que nos dedicaremos.

As transformações conceituais foram grandes, porém, a metrologia é uma ciência dinâmica e ela mesma questiona, constantemente, definições, padrões, métodos e objetos. Não há no mundo algo que tenha sido definitivamente descrito ou esgotado. A medição não é um processo único, e mesmo o sentido em que se pode entender a “ciência das medições” certamente passará por alterações.

Histórico Científico da Medida

Um dado de suma importância no entendimento da História como um todo se dá em algum momento impreciso, há aproximadamente 8.000 e 5.000 anos. A criação e disseminação da escrita capacitaram o ser humano a simbolizar o mundo. A comunicação passou a ter uma tecnologia mais avançada que a anterior. Para a metrologia, a escrita resultaria em ganhos de organização, difusão e precisão das escalas criadas.



Figura 4: Unidades utilizadas no Egito Antigo: o cúbito, o palmo, o pé e o passo.

Para medir alguma coisa são necessários alguns elementos muito específicos: padrão, instrumento e a presença do objeto ou fenômeno, sejam em estado natural, sejam em condições controladas. Os registros históricos primitivos se concentraram em pinturas rupestres, artefatos como estátuas ou mapas em pedra. Alguns deles constituem padrões. Dentre alguns dos mais antigos exemplos estão cortes de granito ou madeira com a medida que vai do cotovelo à ponta do dedo médio (o cúbito), o pé de uma pessoa, a quantidade de grãos de trigo em um saco de aniagem, o volume de água em um reservatório, dentre outros. O estudo e comparação dos padrões de diferentes civilizações antigas fornece dados sobre como foram erigidas construções antigas, como eram as engenharias e matemáticas, quais os referenciais teóricos usados no entendimento do mundo.

O Padrão é o objeto que tomamos como
referência no processo de medição

Credita-se à expansão urbana das primeiras civilizações mesopotâmicas e egípcias o surgimento dos sistemas de medidas. Escavações arqueológicas encontraram artefatos diversos que sugerem ser instrumentos de medição de períodos que variam desde 5.000 a.C. aos primeiros séculos da nossa Era. O cúbito é considerado a primeira unidade de medida da história da humanidade. O historiador Daniel McLean McDonald acredita que os gregos e romanos foram os primeiros a desenvolver sistemas de medidas e seus submúltiplos, aplicando-lhes princípios matemáticos mais avançados (1992).

A título de curiosidade, trechos do Velho Testamento da Bíblia, embora repletos de cunho espiritual, são boas referências de leitura para contextualizarmos como eram entendidas e utilizadas as unidades monetárias e de medida da época. Diversas delas estão escritas na página inicial do trabalho Metrology, de Patrick Kelly (mencionado anteriormente).

O Papel da medida na evolução da ciência

Já é de senso comum a máxima “o homem é a medida de todas as coisas”. Reflitamos sobre seu significado. Enunciada pelo sofista Protágoras de Abdera (Abdera, 480 a.C. - Sicília, 410 a.C.), no livro *A Verdade*, o sentido da palavra grega “medida”, métron (μετρον), é o resultado do processo de medir ou avaliar algo, física ou moralmente. Toda a realidade dependerá, portanto, da maneira como o ser humano avalia o mundo à sua volta a partir de seus juízos e da experiência sensível (empereia - εμπειρία), o uso de nossos cinco sentidos.



Figura 5: Excerto de “Academia de Atenas”, afresco do pintor renascentista Rafael Sanzio (Urbino, 1483 - Roma, 1520)

Filósofos como Sócrates (Atenas, 499 a.C. - Atenas, 369 a.C.) e seu discípulo, Platão (Atenas, 428 a.C. - Atenas, 348 a.C.), contrários à Protágoras, afirmavam que a Verdade era alcançável por operações do intelecto capazes de atingir as essências das coisas, mesmo os objetos matemáticos. “Medir algo” se daria por meio da matemática e da geometria ou, nos casos morais, na unidade do conceito de Bem e Belo. Há, na filosofia platônica, herança da escola pitagórica: Pitágoras de Samos (Samos, 571 a.C. - Metaponto, 491 a.C.), sábio do período conhecido como Pré-socrático, defendia que o conhecimento da realidade somente seria completo pela apreensão intelectual dos Números, suas propriedades e relações.

O avanço da matemática e da física, desde o Renascimento (período final da Idade Média, séculos XIII a XVI d.C.), geraram a convicção de que o conhecimento que se pretendesse verdadeiro deveria ser resultado de um conjunto de procedimentos verificáveis, o que lhe daria objetividade. A concepção tradicional de ciência afirma que o saber científico é objetivo em razão de corresponder ao que as coisas efetivamente são.

Há incidências de estudos experimentais em diversos momentos anteriores ao Renascimento. Podem-se citar Arquimedes (Siracusa, 287-212 a.C.), no período Helenístico da cultura grega antiga ou Robert Grosseteste (Inglaterra, 1118-1153 d.C.), na Idade Média Clássica (séculos XI ao XIII). Porém, o método científico experimental, que impulsionaria a Revolução Científica do século XVII, colocava em questão as tendências Escolásticas que compunham os estudos universitários desde o século XI.

Francis Bacon (Londres, 1561-1626), filósofo inglês, ao publicar a obra *Novum Organum* (1620), descreve a ciência que surgiria como aquela em que o saber procederia ao poder para controlar a natureza. O conceito de ciência, então, (lat. *scientia*) começava a se transformar.

Não há completa elucidação no campo da História da Ciência sobre o papel da matemática na formulação do método experimental.

O argumento mais utilizado, aqui apresentado a título de reflexão teórica, é a de que muitos instrumentos com aplicações práticas de princípios matemáticos, como o telescópio, surgiram a partir do século XVI.

Galileu Galilei (Pisa, 1564 - Florença, 1642), aproximadamente dois milênios depois dos gregos, defendia a tese de que só se conhece algo que possa ser medido. Para ele, a verificação da verdade de uma hipótese teria por base tanto sua idealização matemática, quanto sua experimentação. A matematização com que deu forma à ciência moderna se baseava na conjugação da matemática não somente aos resultados de procedimentos experimentais repetidos, mas à própria elaboração do experimento por causa do uso de instrumentos.

Em *O Ensaaiador* (1623), Galileu resume da seguinte maneira o espírito do novo conhecimento: “tudo o que fosse apresentado [...] seria confirmado e concluído com demonstrações geométricas”, uma vez que “[o universo] está escrito em língua matemática”. O historiador Marques de Almeida (1997) chega a afirmar que a inserção do aparato instrumental conclui a transição da “aritimetização para a matematização plena do real”.

A mentalidade acima descrita alicerçou a Revolução Científica do século XVII. O êxito do projeto científico nascente não demorou a se difundir pela Europa. As causas para esse otimismo estavam no progresso e eficácia dos novos métodos e pressupostos de pesquisa, acompanhados de medidas que traduziam o mundo de maneiras quantificáveis. Os dados fornecidos poderiam mesmo renovar teorias, acrescentando-se de novos experimentos. O filósofo Hilton Japiassú descreve o momento como “o grande sonho da ciência”.

Com a publicação da obra “*Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*”, em 1687, Isaac Newton promove a síntese do esforço científico da época, aplicando conceitos experimentais a um instrumental matemático inovador. A nova física que surgiu fazia do Universo a imagem de um grande mecanismo. Os dados fornecidos pela Natureza estão, tanto quanto possível, acima da própria Razão humana que os obteve: a matemática era perfeita, demonstrável, objetiva e, seus resultados, genuínos.

O Sistema Métrico Decimal

O histórico do metro é recente e começou a partir da seguinte ideia: estabelecer uma unidade de medida uniforme e baseada em critérios objetivos.



Figura 6: Instrumentos de medição foram fundamentais no desenvolvimento da cartografia e nas Grandes Navegações

Há controvérsia histórica sobre a proposta considerada mais antiga pelos historiadores da ciência. Tradicionalmente, atribui-se ao abade francês Gabriel Mouton (Lyon, 1618 - 1694). Em 1670, publicou o livro *Observationes Diametrorum Solis et Lunae Apparentium* (Observações do Diâmetro Aparente do Sol e da Lua). A partir de experimentos com um pêndulo astronômico, aparato muito usado na época, propôs um sistema decimal de medida cuja unidade básica seria o milliare.

Pesquisadores da escola inglesa atribuem à obra *An Essay towards a Real Character and a Philosophical Language* (1688), de John Wilkins (Fawsley, 1614 - Londres, 1672), a primeira tentativa de se estabelecer uma medida com múltiplos e submúltiplos decimais.

Em 1675, duzentos anos antes da assinatura da Convenção do Metro, documento histórico que criou a estrutura metrológica internacional, Tito Lívio Burattinni (Agordo, 1617 - Vilna, 1681), polímata italiano, publica *Misura Universale* (Medida Universal) e sugere um sistema decimal baseado na medida metro cattolico (medida universal), baseada no arco de 3 segundos de um pêndulo.

A expedição do metro, propriamente dita, ocorreu no ano seguinte à Revolução Francesa (1789). Encomendada pela Assembleia Nacional Constituinte, em 1790, a expedição foi cumprida por dois astrônomos, Pierre-François-André Méchain (Laon, 1744 - Castelló de la Plana, 1804) e Jean-Baptiste-Joseph Delambre (Amiens, 1749 - Paris, 1822).

Do ano de 1792 a 1798, os cientistas fizeram a medição do arco de meridiano terrestre que cobre a distância entre as cidades de Dunkerke e Barcelona, terça parte do meridiano que vai do Polo Norte à Linha do Equador.

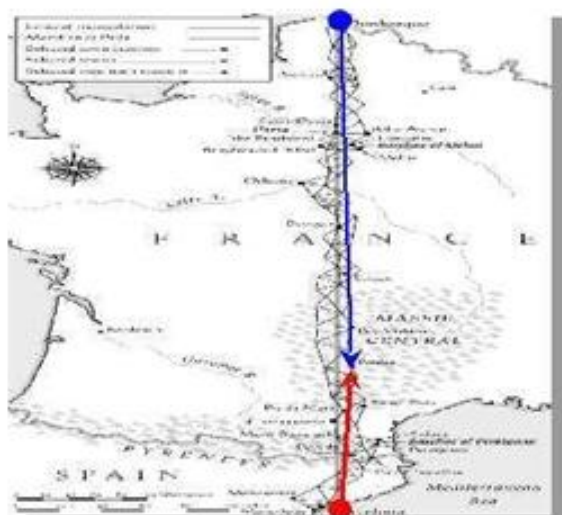


Figura 7: Percurso de Andrè Méchain (em vermelho), de Paris a Barcelona; e Jean-Baptiste-Joseph Delambre (em azul), de Paris a Dunkerke.

Em 07 de abril de 1795, a Assembleia Nacional, a partir de relatório da expedição, publicou a lei que instituiu o sistema métrico na França. É autorizada, então, a criação do padrão em uma régua de platina. Em 22 de junho de 1799, a delegação do Instituto Nacional das Ciências e das Artes apresentou ao Corpo Legislativo francês o padrão do metro; a décima milionésima parte da distância entre o Polo Norte e o Equador foi materializada em uma barra de platina e depositada nos Arquivos da República.

O surgimento da metrologia como ciência

O historiador Tamás Szmrecsányi afirma que foi a partir do final do século XIX que, acompanhando as tendências da II Revolução Industrial, foram promovidas reformas universitárias e se expandiram os laboratórios de pesquisa na estrutura das empresas, o que modificou a situação de aparente independência entre o conhecimento e a tecnologia aplicada. A ciência, que antes se corporificava em instrumentos, agora dá origem a aparelhos ao alcance da população, solucionando problemas ou mesmo criando novas necessidades.

Medir havia se tornado sinônimo de competitividade. Isso impulsionou a criação de institutos técnico-científicos, como o Instituto Físico-Técnico do Reino Alemão - PTR (1887) da Alemanha, iniciativa privada do engenheiro Ernst Werner von Siemens (Lenthe, 1816 - Berlim, 1892) e do físico Hermann von Helmholtz. Porém, na virada para o século XX, os Estados assumiram sua parte na pesquisa científica, conforme pronunciamentos realizados nas cerimônias de inauguração do Laboratório Nacional de Física - NPL (1900), no Reino Unido, e do Bureau Nacional de Padrões - NBS (1901), nos Estados Unidos. A iniciativa posicionou a indústria em um novo patamar político e econômico, em que a nascente ciência das medições se tornaria estratégica para o desenvolvimento.

É interessante observar que o pensamento moderno fundamentou a ciência que chegou ao século XX. Entretanto, suas bases foram abaladas por dificuldades impostas pelas teorias da relatividade geral e estrita, do físico alemão Albert Einstein (Ulm, 1879 - Princeton, 1955) e pelo novo mundo aberto aos intelectos humanos pela mecânica quântica. Novos objetos e características foram descobertos e seus comportamentos não podiam ser explicados pelos processos tradicionais de medição.

Constantes Físicas são grandezas gerais na natureza e sem modificações no tempo. São utilizadas como padrões baseados em fenômenos físicos reproduzidos em laboratório.

A metrologia, até então, não era entendida como as demais ciências. Somente com os avanços da física experimental e das medições é que se percebeu que não se estudavam somente processos físicos, mas construía-se conhecimento sobre o próprio rito de medir. A metrologia ganhou corpo, nome, referências, com o propósito de validar o conhecimento pela busca da objetividade. As unidades, antes antropométricas, depois geodésicas, tornaram-se, por fim, constantes físicas.

Medidas nas ciências sociais e comportamentais

“Medir é a ferramenta prática essencial do pensamento moderno. É o meio pelo qual descrevemos o mundo.” É com essa sentença que Finkelstein (2003) define a abrangência da medida no cotidiano científico. De maneira radical, considerava a medição como método fundamental da ciência porque as grandezas físicas, como o comprimento, são propriedades quantificáveis dos objetos e fenômenos naturais. Como poderíamos quantificar características ou fenômenos qualitativos? Se possível, como o faremos? Quais serão os padrões para se calcular utilidade, padrão de vida, prazer, dor, felicidade?

Vimos que os antecedentes históricos de uma teoria para a metrologia estão ligados ao desenvolvimento da ciência física desde o final do século XIX. Uma diversidade de matemáticos, engenheiros e físicos se ocuparam da medição em alguma área diferente do conhecimento científico. Entretanto, outros conhecimentos também buscaram o status que as ciências naturais tiveram no percurso histórico do século XX. As ciências sociais e comportamentais, em contraponto ao sucesso da ciência física no final do século XIX, sofreram duras críticas.

Ideal de cientificidade é a adoção do método científico, fundamentado na experimentação (método empírico) e na matematização (exatidão, precisão), como único capaz de produzir conhecimento verdadeiro.

O ideal de cientificidade contribuiu para que perspectivas filosóficas caíssem em desconfiança. O positivismo de Auguste Comte (Montpellier, 1798 - Paris, 1857) foi uma corrente de pensamento que considerou a ciência o ápice do conhecimento humano. Assim sendo, a filosofia, a história e demais conhecimentos que não fossem submetidas ao crivo experimental deveriam ser tratadas como superstições.

O surgimento da psicanálise de Sigmund Freud (Fréiberg, 1856 - Londres, 1939) previa métodos diferentes aos da Medicina e Psiquiatria do final do século XIX, embora contestasse as práticas médicas utilizadas no tratamento de doenças mentais.

A sociologia, fortemente influenciada pela ciência positiva de Comte, estipula como objeto de análise o fato social, destacando-lhe características tais como universalidade (aplica-se a todos os integrantes de um determinado grupo social) e exterioridade (independem do indivíduo que o vivencia), de maneira que se definam metodologias empíricas para a análise sociológica. Karl Emil Maximilian Weber (Erfurt, Saxônia, 1864 - Munique, Bavária, 1920) se opõe ao isolamento do indivíduo na análise sociológica, proposto pelo trabalho sociológico de Émile Durkheim (Épinal, 1858 - Paris, 1917), mas se debruça no conceito de ação social para retomar o ideal de objetividade da análise sociológica.



Figura 8: “Operários”, de Tarsila do Amaral (Capivari, 1886 - São Paulo, 1973). Figura representativa da nova realidade industrial do início do século XX.

O problema da sociologia e das ciências comportamentais residia no argumento de que uma população não pode ser submetida a testes experimentais para análise de resultados posteriores, além da crença na imprevisibilidade do comportamento humano. Contudo, ao longo do século XX, o uso da estatística preencheu lacunas argumentativas, criando espaço para o desenvolvimento da psicologia comportamental, da economia e da sociologia. Metodologias aliadas à pesquisa combinaram escalas qualitativas e quantitativas, mensurando tendências e variações de maneira convincente.

Referências

- ABNT. ABNT ISO/IEC 17000: Avaliação da Conformidade - Vocabulário e Princípios Gerais. Rio de Janeiro, 2005.
- BERRIMAN, A.E. Historical Metrology: A new analysis of the archaeological and the historical evidence relating to weights and measures. Londres: J. M. Dent & Sons, 1953.
- DIAS, José Luciano de Mattos. Medida, Normalização e Qualidade: aspectos da história da metrologia no Brasil. Rio de Janeiro: Ilustrações, 1998.
- FERRIS, T. L.J. A New Definition of Measurement. Measurement v. 36, p. 101-109, 2004.
- HENRY, John. A Revolução Científica e as Origens da Ciência Moderna. Trad. Maria Luisa X. de A. Borges; revisão técnica Henrique Lins de Barros. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1998.
- INMETRO. Vocabulário Internacional de Metrologia: Conceitos Fundamentais e Termos Associados (VIM 2008). 1ª Edição Brasileira. Rio de Janeiro, 2009.
- KIND, D. Metrology, the global challenge. Metrologia v. 34, p. 436-41, 1997.
- MCDONALD, Daniel McLean. The Origins of Metrology. Cambridge: McDonald Institute for Archaeological Research, 1992.
- SOARES, Luiz Carlos (org.). Da Revolução Científica à Big (Business) Science: Cinco Ensaio de História da Ciência e da Tecnologia. São Paulo: Hucitec; Niterói: EdUFF, 2001.