



DISCIPLINA DE METROLOGIA NOS CURRÍCULOS DAS ENGENHARIAS

*Machado, Vicente Neto*¹

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná UTFPR, Curitiba, Brasil, vmachado@utfpr.edu.br

Resumo: Este artigo tem por objetivo refletir sobre a importância de uma disciplina de Metrologia nos currículos dos Cursos de Engenharia. Faz-se uma análise da forma de pensar absoluta do Engenheiro, em contraste com uma disciplina que aponta as incertezas inerentes ao processo de medição. Então se faz uma análise dos ementários das disciplinas, atualmente, mais relacionadas com a Metrologia nas engenharias, terminando com a proposta de um ementário para uma disciplina de Metrologia nas Engenharias. Conclui-se com a importância dos temas apresentados e uma reflexão sobre tendências futuras da Metrologia.

Palavras chave: Metrologia, disciplina, currículos, engenharias.

1. A IMPORTÂNCIA DE UMA DISCIPLINA DE METROLOGIA NAS ENGENHARIAS

A Metrologia é um conjunto de conhecimentos científico e tecnológicos abrangendo todos os aspectos teóricos e práticos relativos às medições. A Metrologia é uma ferramenta imprescindível para: avaliar conformidade de produtos e processos; assegurar relações comerciais justas; promover a cidadania; assegurar reconhecimento nacional e internacional [1].

A Metrologia mistura algo de imponderável, na rígida estrutura matemática desenvolvida como base para as Engenharias. Será que Deus joga dados?

A revista Veja [2] nos fala sobre a importância da Metrologia, quando diz que o quilo ficou gordo, referindo-se aos estimados 50 milionésimos de grama a mais do que se convencionou como sendo o nosso quilo padrão. Estes 50 milionésimos de grama, conforme a revista seriam suficientes para dar um erro de 30 trilhões de toneladas no cálculo da massa da Terra. Isto pode ser uma surpresa para o leitor leigo que não sabe avaliar o impacto destes 30 trilhões de toneladas, mas também pode ser surpresa para um Engenheiro ou estudante de Engenharia, não habituado com a preocupação constante dos pesquisadores em melhorar

cada vez mais os padrões de medida. Uma das alternativas em estudo para solucionar o problema acima seria convencionar que o quilo passaria a equivaler à massa de 21 seguidos de 24 zeros átomos de silício, o que certamente exigirá pesquisas no campo da nanotecnologia para viabilizar a contagem de uma quantidade tão grande de átomos. Como se vê a pesquisa metrológica envolve uma forte integração com a física, hoje a tendência é que os padrões evoluam para padrões atômicos, invariantes ao longo do tempo.

Será que a máxima de Lord Kelvin: “Quando se pode medir e exprimir em números aquilo de que se fala, sabe-se alguma coisa a respeito; mas quando não se pode medir, quando não se pode exprimir em números, o conhecimento é parco e insatisfatório”, continua em vigor no mundo moderno, ou inventamos maneiras diferentes de se apoderar do conhecimento sem precisar medi-lo?

Medir torna-se, portanto, um elemento central nas ações em busca da satisfação do cliente e na conquista de espaços maiores no mercado. Medir viabiliza quantificação das grandezas determinantes à geração de um bem ou serviço, subsidiando com informações o planejamento, a produção e o gerenciamento dos processos que o produzem. A Metrologia Industrial tem um papel fundamental no intercâmbio comercial e tecnológico do Brasil com outros países, pois harmoniza a utilização de padrões de medição brasileiros com aqueles utilizados no exterior. A adoção destes padrões é essencial para aumentar a competitividade do produto brasileiro, nos mercados nacional e internacional, e com isto, superar as barreiras técnicas impostas aos produtos para exportação [3].

Com a evolução da ciência e da tecnologia, produtos se tornam mais complexos e a qualidade se assenta em critérios cada vez mais objetivos e técnicos. Paralelamente vem aumentando o número de vezes em que fabricantes são clamados a mostrar a qualidade de seus produtos e serviços por meio de certificação de conformidade aos requisitos técnicos [4].

As novas tecnologias, baseadas em novos materiais e novos processos de fabricação, bem como as crescentes necessidades, tanto em quantidade quanto em qualidade, dos serviços de certificação, demandam cada vez menores incertezas das medições e geram exigências de capacitação aplicável à objetos de dimensões cada vez menores (nanotecnologia / nanometria). [5]

Normalmente vê-se uma predominância das disciplinas de Metrologia nos Cursos de Engenharia Mecânica, será que as outras Engenharia não necessitam, ou pelo menos não necessitam tanto da Metrologia?

A Metrologia além de uma base para todas as outras disciplinas, principalmente, as disciplinas que envolvem laboratório é a base para que se possa fazer uma pesquisa tecnológica, sem comprovar confiabilidade metrológica, nada se pode afirmar.

Muitas vezes o pesquisador ou Engenheiro deixa de evoluir nas suas pesquisas, justamente, pela falta de conhecimentos em Metrologia, não sabe distinguir as principais fontes de incerteza do seu processo de medição, ou mesmo, não sabe expressar qual a incerteza de medição do seu magnífico instrumento que acabou de conceber.

2. CULTURA DO VALOR ABSOLUTO

Quer-se colocar um Engenheiro em situação embaraçosa? Pergunte a ele qual a incerteza do valor que ele acabou de medir. Alguns chegam a afirmar que a medição feita não apresenta incerteza, demonstrando total desconhecimento de Metrologia.

Ou ainda perguntem ao Engenheiro o porquê da diferença de funcionamento de dois produtos sejam eles eletrônicos ou mecânicos, já que ambos foram montados com exatamente as mesmas peças. Estas diferenças podem chegar a ponto de um produto funcionar, como foi projetado e outro não.

Às vezes isto leva muitos a questionarem todo o conhecimento aprendido, como pode a Metrologia e a confiabilidade falarem em incertezas, se tudo o que ele aprendeu até então foram coisas exatas. Dizer ao Engenheiro que as coisas obedecem a uma distribuição Normal é uma coisa difícil de ele assimilar. Explicar que aquele seu sólido empreendimento que foi concebido com os mais rigorosos critérios de cálculos, possui uma pequena probabilidade de ruir é algo inaceitável para ele. Ou ainda que aquele seguro avião com o qual ele viaja, tem uma probabilidade de vir a cair. Será que o Engenheiro tenta desafiar Deus buscando uma certeza absoluta?

Na área da Metrologia aquela medição que fizemos como sendo uma peça conforme pode estar errada? Aquele caríssimo instrumento de medição que compramos pode não satisfazer às minhas necessidades de medição? Como posso escolher o meu instrumento de medição, qual o critério a ser utilizado?

Explicar que o acúmulo das tolerâncias dos componentes de um projeto eletrônico ou mecânico podem determinar a sua não operação, pode ser uma tarefa um tanto quanto abstrata para um Engenheiro. Ou mesmo que aquele projeto de um transmissor de alta frequência possui variáveis imponderáveis, muitas vezes subjugadas no método da tentativa e erro.

Uma tentativa na eletrônica de fugir do terreno pantanoso das incertezas é a digitalização dos sinais, mas mesmo assim, ainda persistem incertezas que não podem ser eliminadas como a da própria discretização de um sinal analógico para um sinal digital.

Talvez uma forma de explicar a associação de incertezas possa ser feita na área elétrica, fazendo os alunos medirem vários resistores com um multímetro que apresente mais do que 5 algarismos significativos e depois plotar os resultados, ou ainda examinar a incerteza final de uma associação de várias resistências em série.

Tomando como exemplo uma simulação matemática utilizando-se o método de Monte Carlo, para 120 resistores eletrônicos que obedecem a uma distribuição Normal ($\mu = 1003,5\Omega$ e $\sigma = 0,8\Omega$). A geração dos valores foi feita pelo software Weibull 6 da Reliasoft [6], método de análise (MLE) máxima verossimilhança e cálculo das associações na planilha Excel. Outras formas de geração de valores, de acordo com uma distribuição foram apresentadas por Dodson [7]. Dodson propõe métodos de geração de valores utilizando-se planilhas eletrônicas tais como o Excel.

Uma vez gerada a série de valores conforme os dados acima, fez-se uma associação de 3 resistores de 1 k ohm (valor nominal) em paralelo, a associação apresentou média de 334,4 ohms e desvio padrão de 1,7 ohms. Assim o limite superior para 68 % de probabilidade ficou em 336,1 ohms e o inferior em 332,7 ohms. A figura 1 mostra a distribuição de valores obtida para a associação.

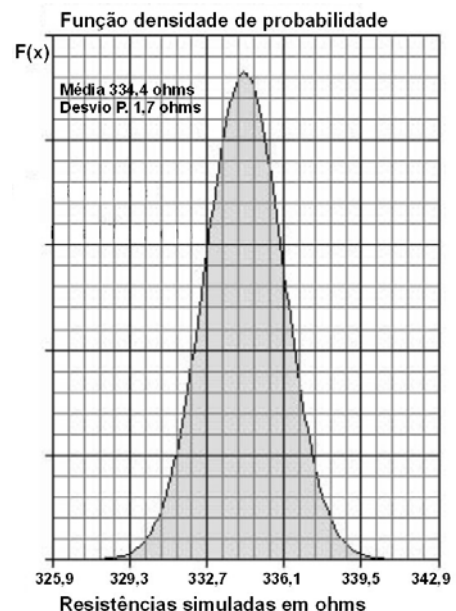


Figura 1 – Distribuição de valores de 3 resistores de 1 k Ohm em paralelo.

O exemplo acima serve para o futuro engenheiro começar a tomar conhecimento das incertezas inerentes a qualquer coisa, desmistificando o conceito do valor absoluto, o aluno passa a entender que não há sentido em explicitar o resultado de uma medição por apenas um valor, sem considerar as incertezas do sistema de medição e variações do mensurando.

3. DISCIPLINAS RELACIONADAS À METROLOGIA NAS ENGENHARIAS

A presença de uma disciplina de Metrologia, nos currículos das Engenharias está mais presente nos Cursos de Engenharia Mecânica. Uma disciplina clássica obrigatória nos currículos das Engenharias Mecânicas é a disciplina de Metrologia Dimensional [8], que teria a seguinte ementa: técnicas das fabricações mecânicas e seus controles; padrões lineares; erros de medição; instrumentos de medição direta e por comparação; sistemas de tolerâncias; conceitos básicos de sistema ISSO; tolerâncias; furo normal e eixo normal; ajustes rotativos e fixos; estudo da rugosidade; medição e controle de peças cônicas; roscas; sistemas de roscas; medição e controle; tolerância das roscas; calibradores de fabricação e de recebimento; contra-calibres; controle e medição das engrenagens.

Ou seja os assuntos abordados são eminentemente voltados para medidas mecânicas, com muito pouco fundamento de Metrologia.

Na área das Engenharias Elétricas tem-se a disciplina clássica de Medidas Elétricas [9], que trata dos seguintes assuntos: medição de corrente e tensão: instantânea - sistemas digitais de aquisição de dados e osciloscópio, média, eficaz e de pico; medições de energia, potência, impedância e frequência; experiências de laboratório.

Ou ainda um ementário mais abrangente pode abordar os seguintes assuntos: grandezas, unidades e padrões elétricos; erros de medição; características estáticas e dinâmicas de sistemas de medição; medição analógica não eletrônica em corrente contínua e corrente alternada; multímetros, potenciômetros e pontes; métodos, dispositivos, instrumentos e aplicações; laboratório: componentes passivos; uso de multímetros analógicos e digitais, em cc e ca; fontes de corrente e tensão; efeito de carregamento; observação experimental da lei de Ohm, leis de Kirchhoff, teoremas de Thevenin e Norton; máxima transferência de potência; conservação de energia; uso de osciloscópio analógico e digital; geradores de sinais; atenuadores cc e ca. Ou seja, assim como na Engenharia Mecânica são dados poucos, ou quase nenhum conceito metrológico, sendo o assunto principal técnicas de medição na área elétrica, por vezes misturado com aplicações de Circuitos Elétricos.

Na Engenharia Química pode-se encontrar o seguinte currículo padrão de uma disciplina voltada para a Metrologia [10], por exemplo com o nome de “Fundamentos de Química Analítica Instrumental”, que abordaria os seguintes assuntos: A) Fotometria: a luz e a radiação eletromagnética; energia e o espectromagnético; interação da radiação eletromagnética com o meio material; adsorção da radiação: UV e VIS; absorciometria. lei de Beer; desvios da lei de Beer; componentes básicos de um espectrofotômetro; instrumentação; determinação espectrofotométricas simultâneas; espectrofotometria diferencial. B) Fotometria de Chama; fundamentos; instrumentação; interferências; métodos de avaliação; determinações analíticas. C) Absorção Atômica: princípios teóricos; instrumentação; interferências; análises quantitativas. D) Espectrometria de Emissão Atômica por Plasma: princípios teóricos; instrumentação; interferências; análises quantitativas. E) Métodos Eletroanalíticos:

potenciometria; eletrodos e referência; eletrodos íon-seletivos; eletrodos indicadores; potenciometria direta; titulações potenciométricas; condutimetria; aparelhos; titulações condutométricas. F) Cromatografia Gasosa: introdução; teoria da separação cromatográfica; a fase estacionária e a fase líquida; gás de Arraste; injeção de amostras; detectores; análises qualitativas; análises quantitativas. G) Automação em Química Analítica: classificação dos métodos automatizados de análise química; métodos robotizados; tituladores automáticos; métodos de fluxo contínuo; segmentos; não segmentos; análise por injeção em fluxo.

Ou seja, segue-se a mesma tendência das Engenharias Mecânica e Elétrica, focando mais em medidas e técnicas voltadas para a química, sem tratar dos conceitos de Metrologia.

Na Engenharia Civil, nos cursos consultados, não se observou nenhuma disciplina específica sobre medidas e instrumentação. Talvez a disciplina de Projeto Estrutural pudesse abordar alguns conceitos de Metrologia. Numa disciplina de Projeto Estrutural [11] se pode observar os seguintes assuntos: sistemas construtivos; delineamento e análise estrutural; vinculação da estrutura; síntese estrutural; segurança das estruturas; ações; solicitações e resistências; cargas de vento em estruturas; métodos de verificação da confiabilidade estrutural; modelagem do carregamento e de seus efeitos; normas estruturais; sistemas construtivos padronizados; projeto e detalhamento por computador; execução de projetos.

Ou seja, na Engenharia Civil, não existe nenhuma disciplina específica que trata de técnicas de medição de instrumentos ou mesmo de Metrologia, possivelmente, somente conceitos de sistemas de medição e unidades de medida são vistos em disciplinas de física. Isto se deve, possivelmente, às tolerâncias maiores com que se trabalha na Engenharia Civil, com possíveis mudanças futuras em função do desenvolvimento tecnológico.

Na Engenharia de Computação as noções de Metrologia, medidas ou mesmo instrumentação, assim como em outros cursos, está ligada à disciplina de física, muitas vezes mais ao laboratório. Por exemplo, [12] uma disciplina de Física pode abordar os seguintes assuntos: familiarizar o aluno com a utilização de instrumentos de medidas mecânicas; organização de tabelas e gráficos com escala lineares e logarítmicas; introduzir os fundamentos básicos da teoria de erros e do método dos mínimos quadrados; utilizar os tópicos anteriores para a realização de práticas e confecção de relatórios sobre experimentos básicos de mecânica.

Ou seja, poucos conceitos metrológicos são tratados, com o agravante de não ser uma disciplina específica de instrumentação ou de medidas. Isto se justifica, assim como na Engenharia Civil, pela pouca necessidade dos conceitos de Metrologia, em teoria, do Engenheiro de Computação, embora que se este for atuar mais em nível de hardware os seus conhecimentos de Metrologia precisarão ser reforçados, além da formação acadêmica.

Em resumo, sem nos atermos às outras diversas Engenharias específicas que existem, se nota uma tímida introdução dos conceitos de Metrologia, nos Cursos de Engenharia Mecânica e Elétrica, especificamente em

disciplinas com o nome de Metrologia Mecânica, Metrologia Elétrica, Medidas Mecânicas, Medidas Elétricas, Instrumentação e outras. Nos demais Cursos onde supostamente não se precisa mais profundamente dos conceitos de Metrologia, embora que a Engenharia Química dependa muito de medições, os conceitos relacionados estão inseridos de forma muito superficial na(s) disciplina(s) de física. De uma maneira geral uma disciplina relacionada com Metrologia, medidas ou instrumentação trata da apresentação dos principais instrumentos e técnicas de medição da área específica.

Algumas faculdades de Engenharia Mecânica e Elétrica já possuem disciplinas optativas de Metrologia, mas estas não necessariamente precisam ser cursadas pelos alunos para a conclusão do Curso. Como exemplo a disciplina de Metrologia industrial [13], cuja ementa dispõe sobre os seguintes assuntos: novas técnicas; conceitos; níveis de normalização; o sistema brasileiro de normalização; estrutura das normas técnicas; ABNT; a importância da Metrologia; relação com normas técnicas; terminologia normalizada sobre medição; desvios; erros; respectividade; etc. (VIM); consideração sobre erros de medição; calibração; incertezas; resultado de uma medição; considerações sobre a avaliação de sistemas de medição; rastreabilidade; a rede brasileira de calibração; credenciamento de laboratórios.

4. PROPOSTA DE UMA DISCIPLINA DE METROLOGIA PARA AS ENGENHARIAS

Neste item vamos fazer um exercício dos fundamentos básicos que deveriam fazer parte do ementário de uma disciplina de Metrologia nos currículos das Engenharias.

Uma disciplina de 60 horas sendo dividida em 30 horas de teoria e 30 horas de prática, tendo como pré-requisito uma disciplina de probabilidade e estatística, seria o ideal. No entanto pode-se aumentar a carga horária em função de uma abordagem maior dos instrumentos e das técnicas de medição específicas para a área do curso. Por exemplo, as Engenharias Mecânica, Química e mesmo a Elétrica possuem diversos instrumentos e técnicas de medição que poderiam justificar uma carga horária maior para a disciplina.

Assim se propõe o seguinte ementário: importância da Metrologia; áreas de atuação; desafios para o Brasil; estruturas metroológicas; Vocabulário Internacional de Metrologia; Sistema Internacional de Unidades; padrões de medida; expressão de números na Metrologia; erros de medição; o resultado da medição; estimativa da incerteza e correções em medições diretas; cálculo da incerteza da medição; especificação dos sistemas de medição em função do mensurando; a qualidade e a Metrologia; calibrações; a qualidade em um laboratório metroológico; estimativa da incerteza e correção em medições indiretas; propagação de incertezas por meio de módulos; método de Monte Carlo aplicado na avaliação da incerteza de medições; softwares para cálculo da incerteza de medição; uso dos principais instrumentos de medição na área do curso; principais sistemas e técnicas de medição na área do curso; atividades de laboratório aplicadas à Metrologia e técnicas de medição.

5. CONCLUSÕES

Devemos aprofundar o debate e modernizar os currículos dos cursos de Engenharia introduzindo, conceitos de Metrologia, mais especificamente incertezas de medições, respeitando os diversos graus de necessidade das Engenharias.

Os conceitos de Metrologia são gerais à formação do Engenheiro e básicos para que conhecimentos mais elaborados possam ser construídos.

Os conhecimentos de Metrologia são básicos para pesquisas científicas.

Uma disciplina de Metrologia deveria ser obrigatória na formação de todos os Engenheiros, se nota deficiências na formação dos engenheiros: a) Cultura do valor absoluto; b) Desconhecimento do número de medições a serem feitas; c) A expressão dos resultados com um número irreal de algarismos significativos; d) Desconhecimento básico de como expressar as unidades de medida e seus símbolos; e) Medições feitas sem a menor preocupação de documentação dos procedimentos de medição; f) Expressão dos resultados da medição sem especificar a incerteza da medição;

Os conceitos de Metrologia e incertezas possibilitam compreender melhor porque um determinado projeto pode não obter êxito.

A Metrologia ensina os conceitos que permitem validar ou mesmo calibrar um sistema de medição desenvolvido.

A Metrologia dá a base para um trabalho de pesquisa científica, muitas vezes pesquisadores com vários anos de pesquisa, desconhecem a forma de avaliar as incertezas das suas medições, testar a repetitividade a reprodutibilidade dos seus sistemas de medição.

Novos dispositivos e técnicas de medição se vislumbram na Metrologia, principalmente, advindas de uma integração maior com a física e a exploração de padrões de medida baseados na nanotecnologia. A demanda cada vez maior por sistemas de medição com menores incertezas, impulsionará as pesquisas viabilizando aplicações diversas nas áreas da química e biomédica, além das já tradicionais áreas mecânica e elétrica.

Medições mais precisas dos poluentes atmosféricos possibilitarão um melhor controle, deste que certamente será cada vez mais uma preocupação mundial.

REFERÊNCIAS

- [1] Fundação Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras - Certi, sítio <http://www.certi.org.br/>, consulta em 10/04/2007.
- [2] Revista semanal Veja, 28 de junho de 1995.
- [3] Sítio do Sebrae: <http://www.sebrae-sc.com.br> consulta em 09/04/07.
- [4] Sítio Isegnet: <http://www.isegnet.com.br> consulta em 09/04/07.
- [5] Apostila de treinamento instrutor Maurício Giller – Tecpar.
- [6] RELIASOFT. Software Weibull ++ 6. Análise de confiabilidade. Guia de treinamento. Reliasoft Brasil, 2001.
- [7] DODSON, B. Reliability modeling with spreadsheets. ASQ's 53rd Annual quality congress proceedings. 2000.

- [8] Curso de Engenharia Mecânica PUC – Rio sítio:
<http://www.mec.puc-rio.br> consulta em 11/04/07.
- [9] Universidade Federal de São João Del Rei – UFSJ sítio:
<http://www.eletrica.ufsj.edu.br/> consulta em 11/04/07.
- [10] Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina, consulta ao site
<http://www.enq.ufsc.br/grad/enq/curriculo.htm> consulta em 02/04/07.
- [11] Curso de Engenharia Civil PUC Rio consulta ao site
<http://www.civ.puc-rio.br/internet/index.htm> na data de 02/04/07 .
- [12] Curso de Engenharia de Computação de São Carlos USP,
consulta ao site <http://sistemas.usp.br> em 02/04/07.
- [13] Universidade de Campinas – UNICAMP sítio
<http://www.unicamp.br> consulta em 11/04/07.