

# EDUCAÇÃO EM METROLOGIA E INSTRUMENTAÇÃO: DEMANDA QUALIFICADA NO ENSINO DAS EN- GENHARIAS

Mauricio Nogueira Frota<sup>1</sup>  
Ludwik Finkelstein<sup>2</sup>

## RESUMO

No contexto da recente recomendação do Ministério da Educação do Brasil para inserção do ensino de metrologia em cursos formais, fundamental e superior, o presente trabalho examina os requisitos de ferramentas da tecnologia da informação aplicáveis à educação e ao treinamento em áreas relacionadas às medições e instrumentação. O trabalho baseia-se no resultado de análise das contribuições publicadas nos Anais do VXII Congresso Mundial de Metrologia, realizado pela International Measurement Confederation (IMEKO), na Croácia, em junho de 2003, em particular na profícua discussão conduzida no âmbito de uma mesa-redonda sobre o tema, coordenada pelos autores naquele evento. No contexto da análise das potencialidades e limitações das ferramentas educacionais e do rigor metrológico que deve caracterizar a disciplina em todos os seus níveis de aplicação, o trabalho considera a natureza da formação profissional e questiona até que ponto os requisitos dessas ferramentas são afetados pela ampla difusão e aplicação das tecnologias associadas à medição e instrumentação.

Inserção da metrologia no ensino superior— Em 28 junho de 2004, o Ministério da Educação e o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) assinaram um protocolo de intenções para cooperação técnico-científica que visa incluir, por meio da Secretaria de Educação Superior (SESu) do MEC, tópicos de metrologia, normalização e qualidade nas diretrizes curriculares de graduação. Na visão do secretário de Educação Superior do Ministério da Educação, o MEC deve incentivar a inserção da metrologia – ciência que afeta o dia-a-dia do cidadão— não apenas na educação superior, mas, também, no ensino fundamental.

**Palavras-chave:** educação, treinamento, metrologia e instrumentação, ferramentas para a tecnologia da informação.

## ABSTRACT

In the context of the recent recommendation of the Brazilian Ministry of Education to include metrology in the curricula of formal fundamental and higher education, this work examines the requirements for new information technology tools for education and training in measurement and instrumentation, given the advances in capability of the related pedagogical tools. The authors based the examination on the proceedings of the IMEKO XVII World Congress held in Croatia, in June 2003, and particularly, on the round table discussions on metrology education and training coordinated by the authors during the same event. A brief discussion of the nature of the subject is given. The nature of formation is considered. A review of the capabilities and limitations of educational tools is presented. It is argued that the requirements are affected by the widening global spread of the application of measurement and instrumentation technology, the increasing importance of the metrological perspective of the subject, the need for education and training at all levels and not only at the advanced scientific level, and the importance of resource limitation.

**Key-words:** education, training, metrology and instrumentation, information technology tools.

<sup>1</sup> Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Metrologia para Qualidade e Inovação da PUC-Rio e Vice-Presidente da International Measurement Confederation (IMEKO). mfrota@metrologia.ctc.puc-rio.br

<sup>2</sup> Measurement and Instrumentation Centre, School of Engineering and Mathematical Sciences City University, London, EC1V 0HB, UK. l.finkelstein@city.ac.uk

## INTRODUÇÃO

A utilização de novas ferramentas da tecnologia da informação para a educação e o treinamento em temas relacionados à medição e instrumentação constituiu inovação não apenas pelos ganhos de eficácia da técnica introduzida, mas por alimentar o processo contínuo de desenvolvimento e inserção de novos produtos e processos em mercados competitivos.

O processo de inovação, sabidamente, embute dois gatilhos conhecidos: a aplicação e absorção dos avanços científicos e tecnológicos e a sua correta adequação às necessidades geradas. São os dois *drivers* essenciais de qualquer processo de inovação (i.e. *technology push and requirements pull*): o primeiro, funcionando à maneira de *commodities* tecnológicas no mercado virtual das necessidades tecnológicas prováveis; o segundo, identificando soluções adequadas para problemas e necessidades claramente identificados.

No presente trabalho os autores exploram a demanda por ferramentas tecnológicas de aplicação na área da educação e treinamento nas ciências da medição e instrumentação *vis-à-vis* os avanços tecnológicos consolidados. Essa problemática, para cuja equação vem se debruçando o mundo da *expertise* contemporânea, não pretende ser aqui exaurida ou finalizada, mas apenas discutida a título de compreensão desse complexo problema de reflexo direto no desenvolvimento tecnológico de empresas e no avanço social de países e nações.

Antes de se discutir a natureza da disciplina – fundamentos da ciência das medições – cabe destacar não apenas a sua importância técnica e didática, mas, também, o inquestionável impacto econômico e social que dela decorre. Referenciado por todos os metrologistas, o renomado matemático e físico britânico William Thompson (cognominado Lord Kelvin, 1824-1907) afirma que “o conhecimento amplo e satisfatório sobre um processo ou fenômeno somente existirá quando for possível expressá-lo através de números”. Entretanto, uma medição requer mais que um valor numérico para atribuir significado ao seu resultado; faz-se necessário (i) expressá-lo em unidades de medida compreensíveis (preferencialmente fazendo uso de unidades de um sistema coerente como o SI<sup>1</sup>); (ii) associar uma incerteza ao número que materializa o resultado da medição<sup>2</sup> e (iii) assegurar confiabilidade e aceitabilidade à mesma como evidência do caráter universal requerido por qualquer sistema de medição hoje praticado num mercado global<sup>3</sup>. Nesse contexto, o pensamento de Lord Kelvin se traduz na assertiva de que “não se consegue melhorar aquilo que não é capaz de ser medido”. Muitos são os exemplos que ilustram a relevância técnica da medição, incluindo-se a incerteza que lhe é as-

sociada, esta entendida como um atributo que legitima o resultado da medição. Embora o conceito possa parecer simples já que “incerteza” se define pela diferença entre o “valor medido” e o “valor verdadeiro”, a dificuldade reside no fato de que este último, via de regra, não é conhecido, permitindo concluir que a incerteza é uma estimativa do erro. No caso da medição dos chamados “serviços essenciais” (fornecimento de energia elétrica, gás, água, telefonia etc.), independentemente da magnitude dos erros associados ao processo de medição, eles são sempre cruciais: “erros para mais” lesam indevidamente o consumidor, que acaba sendo tarifado em excesso; “erros para menos” afetam as concessionárias desses serviços básicos, que dependem de tarifas justas de forma a capitalizar os recursos financeiros necessários à manutenção dos investimentos requeridos para a permanente provisão de serviços de qualidade para a sociedade. O grande desafio da metrologia é controlar e minimizar esses erros. Outros exemplos relacionados ao dia-a-dia das grandes empresas distribuidoras de energia ilustram a relevância econômica associada a pequenas diferenças entre medições de um mesmo evento. Frequentemente, tais diferenças na medição de grandes volumes de gás natural induzem a complexas disputas e controvérsias em processos de transferência de custódia. No caso brasileiro, em que cerca de 50 milhões de m<sup>3</sup> de gás natural são transportados diariamente pelos sistemas de gasodutos existentes no país, apenas 1% de diferença entre o valor do volume de gás que é declarado pelo fornecedor daquele declarado pelos agentes que o distribuem traduz-se em cerca de USD 28 milhões por ano [4]. O impacto é evidente, comprovando que investimentos na melhoria da qualidade (confiabilidade metrológica) da medição traz retornos econômicos que os justificam.

## A NATUREZA DA DISCIPLINA

São recentes a preocupação e o interesse no recorte preciso do conceito, natureza, escopo e abrangência dos termos relacionados à *ciência e à tecnologia da medição e da instrumentação*. Igualmente é ampla a variedade na compreensão desse domínio do conhecimento. Para ilustrar as dificuldades associadas à formulação desses conceitos, cabe lembrar que a revisão do vocabulário internacional de termos gerais e fundamentais de metrologia<sup>4</sup> iniciada em 1997, no âmbito de um grupo de trabalho criado por um *pool* de organizações internacionais (Working Group JCGM-WG2), ainda se encontra em aberto [1]. Esse é um tema que continua motivando debates em eventos especializados [5] e, até mesmo, a edição de tratados terminológicos, a exemplo da atualização da enciclopédia desenvolvida por um dos autores [6].

## Vocabulário Internacional de Metrologia

Evolução dos conceitos de metrologia e medição no contexto do processo em curso de revisão do Vocabulário Internacional de Termos Básicos e Gerais de Metrologia (*International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology*, VIM [1]):

Segunda edição internacional do VIM, 1993, amended 1995:

- *Metrologia*<sup>5</sup>: Ciência da medição.
- *Medição*: conjunto de operações que têm por objetivo determinar o valor de uma grandeza.

Terceira edição internacional do VIM, draft 2004 (ainda em discussão no âmbito do Working Group JCGM-WG2):

- *Metrologia*: Campo do conhecimento relacionado com a medição. (*field of knowledge concerned with measurement*).

Nota: Metrologia inclui todos os aspectos teóricos e práticos relacionados à medição, qualquer que seja a incerteza da medição e o campo de sua aplicação.

- *Medição*: Processo Segundo o qual, experimentalmente, se obtém informação sobre a magnitude de uma quantidade.

Notas: 1. Medição naturalmente implica em um procedimento de medição, baseado num modelo teórico. 2. Na prática, medição pressupõe um sistema calibrado de medição, passível de ser subsequentemente verificada.

De maneira geral, são dois os ângulos sob os quais se entende esta disciplina: o primeiro abrange os sistemas e a informação disponível sobre esse domínio específico, sendo denominado “ciência e tecnologia da medição e da instrumentação”; o segundo se denomina “metrologia propriamente dita”. O fundamento central associado à primeira visão está no entendimento da medição como processo de informação, ao passo que os instrumentos de medição são percebidos como “máquinas de informação”. Dessa perspectiva, a matéria é compreendida como intimamente correlacionada com as ciências dos sistemas e da informação, com elas partilhando a utilização de modelos matemáticos de sistemas físicos, a aplicação dos conceitos e dos métodos de representação e o processamento de sinais. Idêntica abordagem observa-se na formulação e desenvolvimento de projeto de sistemas especializados de medição. Citam-se como dificuldades inerentes (i) os sensores, entendidos como elementos de um instrumento de medição ou de uma cadeia de medição que são diretamente afetados pelo mensurando e (ii) a interface entre os sensores e o sistema lógico de medição, esta objeto de preocupação específica.

Outra fonte de constante dificuldade refere-se à análise de erros e a expressão das incertezas associadas ao processo de medição, cuja aplicação, embora

imprescindível, ainda é de conhecimento e domínio limitado por técnicos e profissionais que operam o dia-a-dia dos laboratórios secundários e laboratórios de controle de qualidade de empresas. Segundo se observa, unidades de medida, padrões, calibração, confiabilidade metrológica, intercomparação laboratorial, rastreabilidade, dentre outros conceitos relevantes, embora até mesmo lembrados, nem sempre são tratados como elementos centrais da disciplina, tampouco distintamente considerados.

Os avanços da ciência e da tecnologia reforçaram os pontos-de-vista acima. Cada vez mais, a instrumentação e a medição vêm obedecendo a tecnologias-padrão de informação e fundamentando-se em ciências básicas, enquanto os tradicionais padrões de medida materializados em artefatos antropomórficos são substituídos por padrões quânticos “realizáveis” em laboratórios especializados. A tecnologia dos sensores cada vez mais se assemelha aos elementos *hardware* da computação. Técnicas inovadoras, tais como a fusão e integração de sensores, também já se fundamentam nas ciências e tecnologias da computação. Os avanços nessa área apontam para uma mudança de enfoque do problema, já agora compreendendo a ciência e as tecnologias da medição e da instrumentação, percebidas como subdisciplinas específicas das ciências dos sistemas e da informação. Este novo enfoque parece promissor do ponto de vista técnico, especialmente na concepção de sistemas de medição e na sua utilização para desenvolvimento de instrumentos e sistemas integrados e/ou automatizados de medição e controle.

Entretanto, tais progressos enfatizaram, de maneira surpreendente, a importância da metrologia (antes simplesmente vista como relacionada com padrões, calibração e controle de medida), cuja causa pode ser encontrada em dois fatores. O primeiro refere-se à necessidade primordial de as indústrias manterem um padrão de qualidade confiável (controle da qualidade), cuja garantia de rigor (racionalização, controle da produção e gestão de exequibilidade técnica) é assegurada pela metrologia. O segundo leva em conta que, enquanto todos os países requerem uma base metrológica sólida, apenas um número limitado desses empreendeu, de fato, esforço considerável na consolidação de uma sólida infra-estrutura de metrologia. A existência de uma infra-estrutura nacional de serviços básicos e essenciais de metrologia – requerendo expressivos investimentos governamentais – não apenas constitui pré-requisito à eficácia de qualquer sistema nacional de normalização e de avaliação da conformidade, portanto indispensável ao desenvolvimento da qualidade e da competitividade, mas, deve, essencialmente, ser percebido como pré-condição à inovação tecnológica.

Já que a acepção do termo “metrologia” como ciência, tecnologia (e arte) das medições é de domínio e aceitação comuns, por analogia, a inserção da

disciplina nos currículos formais deveria ser também assim entendida.

Em sintonia com esses dois pontos de vista, diferentes formulações devem ser compreendidas e aplicadas para viabilizar a formação e o treinamento nessas áreas interdisciplinares do conhecimento relacionadas à medição e à instrumentação.

## FORMAÇÃO

As discussões sobre educação e aperfeiçoamento em temas relacionados à medição e instrumentação nas sociedades letradas, que, via de regra, se restringem à formação acadêmica de profissionais, engenheiros e cientistas, têm visto seu impacto no desenvolvimento das sociedades diminuído por estreitarem o potencial imenso de seus efeitos sobre a formação universal do homem. De uma maneira geral, compreendem a educação formal propriamente dita o treinamento e o desenvolvimento continuado por meio de cursos e similares. Composta de elementos formais e informais, discutem-se, aqui, apenas a educação e o treinamento regulares, ficando os informais para outra oportunidade.

Os componentes da formação podem ser assim compreendidos: a educação consolida conhecimento, raciocínio e habilidades intelectuais. O treinamento diz respeito ao desenvolvimento de habilidades práticas. Já o desenvolvimento continuado consiste no permanente processo de acesso e absorção de conhecimento e aperfeiçoamento de habilidades ao longo da vida, do alargamento do raciocínio em face do processo contínuo de desenvolvimento das sociedades, das ciências e dos avanços tecnológicos, bem como do amplo e complexo espectro de demandas profissionais.

A educação e o treinamento relacionados à tecnologia e à ciência das medições e da instrumentação limitaram-se ao desenvolvimento de profissionais (técnicos) e sua especialização profissional para o mercado de trabalho, não importando quão estreita pudesse ter sido considerada esta visão educacional. Habilidade em medir e aplicar apropriadamente os princípios de medição deve ser vista como capacidade inerente a todas as pessoas [7], indistintamente, de forma a poderem funcionar positivamente na sociedade moderna. Também importante é enfatizar que a formação, para além do adestramento de mão de obra profissionalizada, deve, assim, contemplar a preservação da sociabilidade para que o indivíduo possa, mantendo a sua individualidade, bem se desempenhar tanto em sociedade quanto no reduto privado da sua vida pessoal e familiar. Do ponto de vista do desenvolvimento profissional, é importante o desenvolvimento da formação prospectiva, no sentido de não apenas visar ao desenvolvimento das habilidades imediatas e conseqüente atendimento pontual de determinada demanda por emprego. Esse desenvolvimento deve dotar o profissional de multi-habilidades que lhe facultem uma participação efetiva no processo de desenvolvimento social,

cada vez mais rápido e cambiante no que concerne às demandas técnico-profissionais. Para tanto, é necessária a compreensão de que nas sociedades modernas a função *sine qua non* de toda educação e treinamento deve ser a pavimentação para o aprendizado avançado, de ponta.

Medição é conceito-chave e ferramenta viabilizadora do conhecimento, de aplicação importante no mundo das relações comerciais, econômicas e sociais; considerado fundamental para a ampliação dos horizontes da ciências naturais e tecnológicas e central mesmo em todas as formas de conhecimento, basicamente. A habilidade de medir e aplicar as noções de medida, de compreender as incertezas associadas aos processos de medição deveria integrar os currículos não apenas da educação superior, mas, principalmente, das escolas fundamentais e médias, quer pelo aprendizado dos conceitos, quer pelo apelo de desenvolvimento da cidadania, que é inerente à prática “do peso certo e da medida justa”. A educação não pode prescindir da compreensão de princípios das ciências naturais e da metodologia científica, fundamental em todos os seus níveis, tampouco da aplicação prática dos princípios de medição. Por exemplo, o processamento e a interpretação de resultados de medição, em particular a avaliação e expressão das incertezas que lhe são associadas, devem integrar o ensino da matemática em todos os níveis de ensino, notadamente a matemática das variáveis aleatórias. Do ponto de vista da eficácia didática, conceitos básicos relacionados a valores significativos e à incerteza da medição deveriam ser introduzidos já no ensino fundamental, pela via de experimentos simples de medição do comprimento, do volume etc., realizados em laboratórios e até mesmo em salas de aula. Já estudantes secundários deveriam aprender fundamentos da estatística, o suficiente para formular alguns problemas relativos à incerteza. Igualmente, os conceitos de medição e de incerteza deveriam integrar os estudos sociais e, de certa forma, até mesmo as ciências humanas, que lidam com variáveis com elevado grau de relatividade e subjetividade,<sup>6</sup> funções humanas nem sempre tangíveis e mensuráveis com base em técnicas convencionais.

Para se discutir o treinamento e a formação profissional técnica em metrologia e instrumentação faz-se necessário entender a distinção entre as diferentes modalidades de competência existentes nesse domínio do conhecimento. Dentre essas citam-se artesãos, técnicos, engenheiros e pesquisadores. Embora esta nomenclatura varie de país para país, é universal o entendimento acerca dos distintos níveis de competência: do artesão espera-se competência no trabalho prático e nas habilidades manuais; dos técnicos, o alinhamento das habilidades do artesão com a compreensão dos fundamentos básicos do seu ofício; de engenheiros, aspira-se que dominem a ciência e a prática de área e especialidade de sua atuação específica, que possuam capacidade resolutiva de problemas práticos de magnitude e complexida-

de e sejam capazes de inovar; de engenheiros com formação avançada em ciências, a capacidade de inovação em área de atuação específica do conhecimento, bem como a disposição em aceitar os desafios impostos pelo surgimento de complexas e novas problemáticas. Todos devem ser formados para possuir liderança técnica. Já aos pesquisadores e cientistas compete, essencialmente, avançar o conhecimento, cabendo aqui lembrar a conhecida citação de conteúdo metrológico de F. K. Richtmyer de que “[...] muitas descobertas importantes foram feitas investigando-se a próxima casa decimal [...]”. E é nesse contexto que a metrologia científica contribuiu e ganhou notoriedade ao criar um laboratório mundial de metrologia (Bureau International des Poids et Mesures, BIPM), esse criado com o Tratado Diplomático do Metro em 1875, com a nobre missão de desenvolver a metrologia de mais alta exatidão, realizar, manter e disseminar as unidades do Sistema Internacional de Unidades; atuar como guardião dos padrões internacionais de medida; conceber e desenvolver novos padrões e novas técnicas de medição. E, mais recentemente, planejar e supervisionar o complexo processo de comparações-chave entre padrões de referência de institutos nacionais de metrologia a fim de coordenar o complexo e oneroso processo de uniformização e universalização dos sistemas de medição imprescindíveis à manutenção do comércio internacional. Dessa iniciativa já amadurecida no curso de 130 anos de experiência, a metrologia ganhou notoriedade. Evoluiu das medidas materializadas por artefatos antropomórficos para a metrologia quântica e, em sua trajetória sem fronteiras, adentrou-se pela escala nano da biotecnologia, validou a aplicação de nanossensores em estudos de purificação e síntese limpa de novos fármacos, abriu espaço para a metrologia computacional e padrões biológicos, viabilizando, inclusive, a comparação interlaboratorial de padrões virtuais via internet.

A capacitação em medição é fundamental para a educação e treinamento de pessoal em todos os níveis técnicos e científicos e deve ser adquirida por todos os cientistas naturais e engenheiros, o que, geralmente, é feito em cursos experimentais e em laboratório. Dos engenheiros de todas as especialidades se requer um grau superior de conhecimento em medição e instrumentação, que pode ser denominado “ancilar”, em um sem-número de qualificações, principalmente na área de engenharia de controle; daqueles que se envolvem em projetos de instrumentação o mais alto nível de competência é exigido. Não obstante, é importante registrar que todos os níveis e tipos de competência são igualmente importantes e precisam ser levados em consideração durante todo processo de desenvolvimento de ferramentas de suporte para o ensino da disciplina em questão.

A visão de Silveira [8] sobre a estruturação do currículo para a formação do engenheiro inovador pressupõe a definição do perfil de formação, uma lista de valores, competências e atitudes, além de uma metodologia pedagógica. Dentre as inúmeras ativi-

dades pedagógicas verificadas em práticas internacionais e inerentes à formação do engenheiro, o autor ressalta a importância do estágio em empresas e em laboratórios de pesquisa, incluindo trabalhos de iniciação científica e tecnológica para os quais o domínio de conceitos de medições torna-se imperativo. Nesse contexto, a introdução dos conceitos de medição e instrumentação deve ser percebida como “atividade transversal”, complementando disciplinas e projetos que fazem parte fundamental de formação específica (e.g. engenharia). Segundo a estrutura proposta por Silveira, um projeto multidisciplinar, ou uma atividade que se desenvolve junto a uma empresa, “conforma uma atividade transversal” se se inserir adequadamente nas estruturas diversificadas dos vários cursos de engenharia existentes. Essa observação torna-se mais relevante principalmente quando a preocupação é “evitar a explosão do número de disciplinas” como opção natural e simplista cada vez que novos conceitos e matérias são introduzidos em currículos regulares. A flexibilidade curricular implica grande complexidade, requer gerenciamento dos cursos e, notadamente, de “um sistema eficaz de orientação personalizada, além do manejo cuidadoso das cadeias de pré-requisitos”. Igualmente relevantes são a construção e a implementação de um currículo que faça a síntese dialética das diferentes demandas que são próprias do universo de profissionais que buscam uma formação ou capacitação profissional e das que emanam de diferentes instâncias sociais, inclusive do mercado de trabalho, locus de demandas qualificadas por medições e instrumentação tendo em vista a busca contínua pela melhoria da qualidade de produtos e ganhos de competitividade e produtividade. No que denomina “ponto de vista do mercado de trabalho”, Silveira, ainda que inconscientemente imbuído da importância da introdução de conceitos de metrologia, da instrumentação e da normalização como pré-requisito à formação do engenheiro inovador (não explicitados em sua recente obra), defende (p. 83, [8]) que “os perfis atuais assim formados refletem, por construção, a visão hegemônica do mundo na sociedade pós-industrial, centrada na primazia do mercado, nos valores econômicos e nos interesses dos grandes grupos industriais”. Nesse contexto, “as palavras-chave são: competitividade, consumo, desregulamentação, flexibilização, globalização, incertezas, mercado, novas tecnologias, produtividade, terceirização (...)”. Está aqui, talvez, o *link* que justifica a inserção da metrologia e demais funções correlatas da tecnologia industrial (normalização, avaliação da conformidade, propriedade intelectual e tecnologias de gestão) na formação desse novo engenheiro inovador.

Adicione-se que a inserção mais explícita dessas funções da tecnologia industrial nos cursos regulares justifica-se também pelo papel que desempenha na construção da cidadania [9] e na qualificação para o trabalho, como, de resto, prescreve a Constituição brasileira: “A Educação, direito de

todos e dever do Estado e da família, será promovida e incentivada com a colaboração da sociedade, visando ao pleno desenvolvimento da pessoa, seu preparo para o exercício da cidadania e sua qualificação para o trabalho” (art. 5).

Apresentações documentadas nos *Proceedings* do IMEKO XVII World Congress (Croatia, 2003) e debates conduzidos na mesa-redonda realizada no âmbito do mesmo evento sobre educação em metrologia [5] indicam um crescente interesse e entusiasmo pelos diferentes aspectos relacionados à educação em metrologia aqui abordados. Uma análise mais cuidadosa dos trabalhos já anunciados para a próxima edição do congresso mundial de metrologia<sup>7</sup> certamente haverá de reforçar essa tendência.

## NATUREZA DO CURRÍCULO

Tradicionalmente, é comum pensar a medição e a instrumentação como manuais de instrução, mais especificamente, como aqueles diretamente relacionados à aplicação prática a partir do que os princípios gerais acabam sendo internalizados por indução pura. Esse enfoque é comum e tem mérito próprio pelo papel que desempenhou no curso do desenvolvimento dessa matéria. A construção do conhecimento que se faz do particular para o geral goza de prestígio educacional maior do que o seu inverso: deduzir o conhecimento partindo de princípios gerais para se chegar a métodos e equipamentos específicos. No entanto, desponta, apenas recentemente, a noção, não de concordância universal, é bom que se registre, de que medição e instrumentação compõem uma ciência sistemática dotada de um quadro geral de princípios e conceitos. Currículos da disciplina foram elaborados desde esse ponto de vista [7, 10].

De maneira geral, o enfoque do ensino sistemático de princípios parece particularmente apropriado para a maioria dos níveis avançados de educação e especialização. O mesmo não ocorre, entretanto, no processo de formação em níveis inferiores e na experiência de treinamento de métodos específicos e equipamentos, embora a ênfase nos princípios gerais deva perpassar tanto o treinamento especializado quanto a educação fundamental de forma a consolidá-los definitivamente na formação geral do indivíduo.

A ciência das medições e a perspectiva tecnológica da disciplina atendem às expectativas de quem deseje aprimorar-se em concepção, projeto e desenvolvimento de sistemas de medição. A exigência didática deve incluir experiência pedagógica prévia em concepção e desenvolvimento de sistemas de medição. Na organização desta disciplina existe ampla concordância com conceitos fundamentais da tecnologia da informação, ordinariamente ministrados em cursos diferentes daqueles de instrumentação e de medição. No entanto, o ensino da

tecnologia de sensores – elementos de um instrumento ou de uma cadeia de medição cujos valores percebidos são decodificados para a compreensão humana –, seus princípios básicos e o processamento da informação devem merecer tratamento diferenciado já que refletem problemas específicos de medição. Todos esses fundamentos correlatos devem fazer parte do currículo básico da disciplina ou estratégia que visa introduzir conceitos de medição e instrumentação em cursos formais. A visão metrológica deve atender aos usuários dos sistemas de medição e deve, obrigatoriamente, refletir um conceito global que reflete funções interdependentes da tecnologia industrial. Experiência com normas e padrões, rastreabilidade, comparabilidade de sistemas de medição, disseminação de unidades, e o domínio do tratamento e da propagação das incertezas associadas ao processo de medição constituem aspectos essenciais da disciplina que devem ser incorporados no processo de formação. Fundamentos da propriedade industrial e das tecnologias de gestão, por sua vez, enriquecem a disciplina. O desenvolvimento das ferramentas de educação e treinamento deve estar adequado ao enfoque do currículo proposto.

Muitas são as experiências concretas relacionadas ao ensino da metrologia em cursos de engenharia, dentre as quais, a título de exemplo, e sem a ousadia de exaurir o tema, alguns exemplos elucidativos são mencionados a seguir.

### Ensino da medição e instrumentação no Reino Unido

É importante lembrar que o Reino Unido é líder mundial na produção de instrumentos. Medição e instrumentação classificam-se dentre as tecnologias viabilizadoras-chave (*key enabling technology*) da indústria britânica, com impacto direto na infra-estrutura de serviços, saúde, defesa e de todos os aspectos operacionais do país.

Desenvolvido ao longo dos últimos cinquenta anos, o país conta com um extenso e diversificado sistema de educação e treinamento em temas relacionados à medição e à instrumentação. Embora no contexto deste trabalho apenas algumas dificuldades e desenvolvimentos específicos sejam descritos, uma avaliação analítica mais global sobre a formação de cientistas e engenheiros na chamada ciência e tecnologia da medição e instrumentação é discutida em outro trabalho [6].

No que concerne à medição e à instrumentação como disciplina, cada vez mais medição e instrumentação são vistas como elementos-chave do *corpus* de uma disciplina sistemática dotada de conceitos e princípios gerais transferíveis a outras ciências. Embora esta possa refletir uma visão integrada, de forma alguma é de aceitação universal,

até mesmo pelo fato de os fundamentos da medição e da instrumentação ainda continuarem sendo ensinados (inclusive no Reino Unido) como temas derivados de outros e/ou sob a forma de um manual de técnicas. Uma visão mais detalhada sobre esse assunto encontra-se disponível [10, 11]. Em geral, no Reino Unido, medição e instrumentação são ensinados como tópicos integrados, fortemente relacionados a eletrônica e controle. Metrologia, no contexto de um sistema de padrões e calibração, de modo geral, não é ensinada, exceto em cursos de tecnologia da manufatura.

Especificamente no que diz respeito à formação do engenheiro no Reino Unido, cabe lembrar que esta se subdivide em diferentes aspectos: educação e iniciação em desenvolvimento profissional. Educação é de responsabilidade de universidades, ao passo que iniciação em desenvolvimento profissional é conduzida pela via do treinamento em empresas e aprendizado prático supervisionado. A profissão é regulamentada pelo Conselho de Engenharia, a quem cabe licenciar entidades profissionais de classe que concedem títulos de engenharia com base em exame de qualificação que avalia competência técnica e comprometimento [12]. Muito próprio do sistema inglês, foi graças ao processo continuado de avaliação e monitoramento do processo de formação do engenheiro britânico que foi possível fortalecer a base educacional requerida para homologar o mais alto nível da profissão, o *Chartered Engineer*. Como consequência, tópicos relacionados à medição e instrumentação também passaram a ser ministrados em níveis mais avançados, inclusive em nível de mestrado.

Um dos problemas, entretanto, relacionados à formação de engenheiros e cientistas no Reino Unido refere-se ao desequilíbrio entre o crescimento e a diversificação dos cursos de educação superior nessas áreas e o decréscimo do número de candidatos, induzindo a uma oferta maior que a demanda e em número inferior às necessidades nacionais. Esse desequilíbrio entre uma oferta maior que a demanda (também observável nos últimos anos no Brasil) tem sido apontada como indesejável fator que compromete a manutenção de um padrão de qualidade na formação superior em muitas instituições de ensino em engenharia e outras ciências no Reino Unido.

A qualidade da educação superior no Reino Unido é controlada pela Agência de Garantia da Qualidade da Educação Superior (The Quality Assurance Agency for Higher Education), criada em 1997 com esse propósito específico e financiada pelos formadores e financiadores da educação superior [12]. Em 2001 foi introduzido um sistema nacional para qualificação da educação superior. Em ordem crescente, são as seguintes as cinco qualificações superiores hoje em prática na Inglaterra, País de Gales e Irlanda do Norte: *Certificate*, *Intermediate*, *Honours*, *Masters* and *Doctoral levels*, cujos escopos e competências en-

contram-se adequadamente caracterizados.

A ciência e a tecnologia da medição e instrumentação ainda não constituem área-fim nesses desenvolvimentos, que refletem novos avanços em franco desenvolvimento. Acredita-se, entretanto, que a crescente tendência por cursos de pós-graduação nessas áreas e o aumento da demanda por profissionais com conhecimentos da ciência e tecnologia das medições e instrumentação afetarão de forma expressiva o ensino dessa disciplina no Reino Unido.

No que concerne à Declaração de Bologna (Bologna Declaration), as universidades britânicas continuam experimentando um forte impacto, notadamente nos cursos de pós-graduação, que usualmente são de um ano de duração após o curso de três anos no nível da qualificação *honours*, cursos esses de duração inadequada segundo os critérios da Declaração de Bologna. Segundo a perspectiva britânica, acredita-se que o nível de qualificação deveria ser julgado pelo grau de aproveitamento, não pelo tempo de duração do curso. Na visão de especialistas, o problema do impacto da Declaração de Bologna [13] na educação britânica não tem merecido a adequada atenção pelas partes envolvidas.

Finalmente, no que concerne à metrologia, preservada a conotação própria do termo, a importância prática de padrões e calibração tem merecido crescente atenção no Reino Unido. Embora o ensino da metrologia no ensino superior ainda não esteja amplamente difundido, as demandas e provisões para a sua inclusão como parte do currículo formal de educação continuada em todos os níveis de formação acadêmica vem ganhando expressão no Reino Unido. Igualmente relevante é o fato de que a ciência e a tecnologia associadas à medição e à instrumentação cada vez mais vêm sendo consideradas como importante área da chamada *UK science base* e, também, o fato de que um expressivo número de centros classe-mundial de pesquisa e desenvolvimento reconhece não apenas a importância do tema no Reino Unido, mas também o seu papel estratégico no desenvolvimento da competitividade e na defesa do consumidor.

## A EXPERIÊNCIA BRASILEIRA NA EDUCAÇÃO EM METROLOGIA

A história da educação vocacional em metrologia, não apenas no Brasil, mas também em outros países mais industrializados, evidencia um período de maturação bem mais recente do que aquele do ensino fundamental e superior. Recente em nossa história foi apenas na década de 30, com o governo provisório de Vargas, quando pela primeira vez, a denominação “educação” passou a compor o nome de um ministério (Ministério dos Negócios da Educação e Saúde Pública). Na conquista de sua expressão, em 1937, já em seu governo definitivo,

surgiu o novo “Ministério da Educação e da Saúde”, dessa vez merecendo a educação superior destaque nessa hierarquia com a denominação de “Divisão de Ensino Superior”. Em 1953, finalmente, o binômio saúde-educação foi dissociado, passando a existir, na estrutura do governo brasileiro, o “Ministério da Educação e Cultura”. Mas foi somente em 1985 que surgiu o “Ministério da Educação” (MEC).

A pós-graduação no Brasil surgiu apenas na segunda metade do século passado em resposta a uma intervenção do Estado, que percebeu que a tecnologia nacional não apresentava os avanços compatíveis ao desejado ritmo de desenvolvimento técnico-econômico. No contexto de uma ação programada, imprimiu ações governamentais que levaram à indução da formação de pessoal e ao desenvolvimento científico e tecnológico no Brasil. Como referência, os dois primeiros programas de pós-graduação no Brasil – o de Engenharia Química, vinculado à Divisão de Engenharia Química do Instituto de Química da então Universidade do Brasil, e o de Engenharia Mecânica, da então Escola Politécnica da Pontifícia Universidade do Rio de Janeiro – caracterizaram, na década de 60, a gênese da pós-graduação brasileira. Daí em diante, alterou-se, de forma surpreendente, o ritmo de evolução da pós-graduação no Brasil. No que concerne ao ensino vocacional em metrologia no Brasil, sua evolução contrasta com a surpreendente evolução da pós-graduação no Brasil<sup>8</sup>. A educação em metrologia não vivenciou um processo de planejamento estruturado. Ao contrário, surgiu da indução localizada de algumas ações governamentais atreladas a processos igualmente localizados de fortalecimento da infra-estrutura laboratorial brasileira a serviço de metas específicas para o desenvolvimento científico e tecnológico do país. Entretanto, mesmo não se podendo, à época, perceber com clareza as inusitadas oportunidades que haveriam de descortinar, dentre as quais a imprescindível inserção internacional da competência brasileira em metrologia, há de se reconhecer que o projeto de implantação do *campus* avançado do Laboratório Nacional de Metrologia do INMETRO, na década de 1970, em Xerém, RJ, foi suficientemente ousado para a época. Desse movimento nasceu, em 1975, a primeira iniciativa para formação de RH em metrologia, objetivando capacitar profissionais que assumiriam as lideranças dos diversos laboratórios primários que integravam o Laboratório Nacional de Metrologia. Determinante foi o acordo então formalizado com o conceituado *Physicalisch-Technische Bundesanstalt* (PTB), que ofereceu a tradição e competência do Instituto Nacional de Metrologia da Alemanha para especializar esses profissionais em temas avançados da metrologia. Para prepará-los para tal desafio, antecedendo à sua capacitação técnica, foi firmado um convênio com a Coordenação de Pesquisa e Pós-Graduação (COPPE) da Universida-

de Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), que implantou o então denominado Projeto Criptônio. O projeto capacitou duas turmas de profissionais em anos seguidos (1975-76), os quais, na sua maioria hoje (2006) em processo de aposentadoria, completaram o que se poderia denominar de “primeiro ciclo” da formação vocacional em metrologia no Brasil. Um esforço que permitiu à metrologia brasileira lograr reconhecimento internacional e prestar imensurável contribuição ao desenvolvimento da indústria nacional, comprovando a tese de que metrologia – hoje bem entendida como parte da infra-estrutura nacional para a qualidade e competitividade de qualquer país que objetive transacionar em mercados globais –, de fato, constitui investimento que produz retorno econômico e bem-estar social. Outras iniciativas voltadas à capacitação de RH em áreas da competitividade não foram caracterizadas aqui por limitação de espaço, mas igualmente tiveram sucesso [14].

Mas foi com o processo de abertura econômica e do resultado do apoio específico de ações governamentais (PADCT<sup>9</sup>, Programa RH-Metrologia, Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade [PBQP], Projeto Brasil Classe Mundial e, mais recentemente, com o apoio dos Fundos Setoriais gerenciados pelo Ministério da Ciência e Tecnologia) que o desenvolvimento de RH em metrologia se consolidou. Definitivamente, metrologia passou a ser percebida como tecnologia-chave viabilizadora do desenvolvimento industrial e estratégico instrumento de remoção de barreiras técnica e de avaliação da conformidade. No contexto do PADCT foram estimuladas a capacitação e a formação de RH em MNQ (metrologia, normalização e qualidade) a partir de programas específicos bem-sucedidos: do Programa de Especialização em Gestão da Qualidade (PEGQ), Programa de Capacitação de Recursos Humanos em Atividades Estratégicas (RHAE) e do Programa RH-Metrologia, que, definitivamente, inseriu temas de metrologia em cursos existentes, criou cursos técnicos de metrologia e induziu a pós-graduação em metrologia no Brasil com a criação de dois programas de pós-graduação *stricto sensu* em metrologia (PósMQI/PUC-Rio e PósMCI/UFSC), estruturados a partir da multidisciplinaridade existentes nos programas de engenharia, física e química dessas universidades, e cujo esforço já produziu um número superior a 150 mestres em metrologia, hoje, na sua quase totalidade, ocupando posições-chave no cenário da competitividade nacional. Por fim, a metrologia parece ter sido entendida como substrato indispensável ao fortalecimento do Programa Especial de Exportações (PEE) do governo federal, que adotou como meta dobrar as exportações brasileiras no horizonte 1998-2005.

Ao longo dessa primeira década de pós-graduação em metrologia no Brasil (1996-2006), a experiência tem mostrado que a construção de um currículo

ideal para o ensino da metrologia não constitui exercício trivial. O currículo destina-se não apenas à formação de um profissional competente nessas funções básicas da tecnologia industrial que seja capaz de suprir as demandas técnicas relacionadas à ciência e à tecnologia das medições. Deseja-se, sobretudo, formar um profissional-cidadão dotado de cultura metrológica e sensibilidade para perceber o seu papel na sociedade, a importância das medições não apenas para promover a competitividade, controlar as funções humanas, monitorar a qualidade da água que é bebida e do ar que é respirado, bem como de outras nobres aplicações da metrologia relacionadas ao controle do meio ambiente e à melhoria da qualidade de vida.

Em nível do ensino de graduação de engenharia, ainda não de forma explícita, conceitos e fundamentos da metrologia sempre fizeram parte de disciplinas de Elementos de Máquina e de Tecnologia Mecânica. O ensino da metrologia como disciplina estanque de caráter obrigatório, incluindo prática laboratorial *hands on*, é bem mais recente, mas ainda constitui iniciativas isoladas de algumas poucas universidades (e.g. Engenharia Mecânica da PUC-Rio). Disciplinas denominadas “Medidas Elétricas” são igualmente ensinadas, mas não necessariamente com o foco metrológico, portanto sem fazer referência à “realização e disseminação” das unidades do SI e à expressão das incertezas que lhe são associadas.

Similarmente ao que ocorre no Brasil, em Portugal, no Instituto Superior Técnico de Lisboa e em outras instituições portuguesas que adotaram modelo semelhante, a disciplina “Instrumentação e Medição” integra o currículo das disciplinas obrigatórias da engenharia elétrica há mais de quarenta anos,<sup>10</sup> no contexto de ampla ementa que inclui sistemas nacionais, regionais e internacionais de metrologia, conceitos de padrões de medição de grandezas não elétricas, temas básicos e avançados relacionados a sensores, transdutores e atenuadores, integração e automação da medição. É uma experiência isolada que, certamente, não reflete uma formulação sistemática do ensino da metrologia nos cursos regulares de engenharia.

### UMA VISÃO INOVADORA: O ENSINO DE FUNDAMENTOS DA MEDIÇÃO NA ITÁLIA

Com o propósito de referenciar uma experiência curricular inovadora, cita-se a inclusão da disciplina “Foundations of Measurement” no Departamento de Engenharia e Gestão Industrial da Università Cattaneo, Itália,<sup>11</sup> experiência que suscita a indagação sobre a possibilidade de esta ciência das medições também partilhar currículos não-técnicos. Cerca de 15 anos de experiência no ensino da disciplina levaram à constatação de que, de fato, o peso substan-

cial e crescente da informação como bem estratégico das empresas leva naturalmente à necessidade da definição do conceito qualidade da informação, que abrange também uma noção mais específica de quantidade de informação (conforme definido na revolucionária teoria de Shannon) e sua divulgação.

*Shannon's Theory* – Ao término da década de 40, Claude Shannon (1916-2001), um conceituado matemático da Bell Telephone Laboratories (também diplomado em engenharia elétrica), propôs uma nova teoria matemática Shannon's Theory – também conhecida por “teoria da comunicação” –, a qual estabeleceu a primeira plataforma sistemática que permitiu otimizar e maximizar a quantidade de informação transmitida para um certo grau mínimo de distorção. Inovou ao introduzir uma abstração simples sobre a comunicação humana que denominou de “Shannon's communication channel”, consistindo de uma fonte de informação (*sender*), um meio de transmissão (dotado de ruído e distorção) e um receptor, cujo objetivo é reconstruir a mensagem emitida pela fonte. Mostrou que a quantidade de informação é uma “medida de surpresa”, diretamente relacionada à probabilidade de sucesso de uma dentre várias mensagens que se deseja transmitir. Como desdobramento de seu próprio trabalho, adaptou sua teoria para analisar linguagens escritas e mostrou que, via de regra, essas linguagens são intrinsecamente redundantes, fazendo uso de um número superior ao necessário de símbolos e palavras para transmitir um determinado pensamento. Esse trabalho constituiu-se na base para trabalhos futuros que permitiram, ao término da década de 50, modelar fontes de informação como processos caóticos determinísticos e utilizar a chamada “taxa de entropia de Shannon” para mensurar o grau de randomicidade de sistemas caóticos. A Shannon é atribuída a primeira tentativa de “ensinar uma máquina a aprender”, considerado o primeiro experimento em inteligência artificial. Ainda hoje a teoria de Shannon tem contribuído para a eficácia dos métodos de transmissão de conhecimento.

Algumas disciplinas podem colaborar para esse objetivo, em particular a semiótica, a ciência da computação e a ciência das medições. Enquanto a semiótica oferece um quadro geral para conceituar o processamento da informação (sua geração, comunicação, organização, apresentação) e a ciência da computação lida com elementos técnicos afins. A ciência das medições visa caracterizar as operações de aquisição da informação e da expressão (i.e., as avaliações) do ponto de vista de duas variáveis: objetividade e intersubjetividade. Desnecessário dizer que a qualidade da informação, do ponto de vista da universalidade expressiva, depende dessas duas variáveis, além, evidentemente, daquelas relacionadas com o contexto, com a disponibilidade e com a coerência textual.

No caso de medições físicas, a objetividade e intersubjetividade restringem-se basicamente às características estruturais das ferramentas físicas e dos procedimentos adotados para determinado sistema de medição, ao passo que, em avaliações gerais, o fator humano mostra-se bem mais importante. Não obstante, algumas questões próprias das chamadas *hard sciences* e da tecnologia guardam correlação com esse aspecto humano da questão; e.g.: Seria possível observar-se uma estrutura empírica qualquer e conservá-la durante todo o processo de avaliação? Seria possível definir-se intersubjetivamente um padrão e, a partir dele, calibrar a sua avaliação? Concordaria o educador com a verificação do “grau de confiabilidade” de suas avaliações?

Uma boa formação em ciência das medições deve prover ambos: uma consistente metodologia e os conteúdos técnicos fundamentais relacionados à matéria. Todo curso visando a tais objetivos, além de outros elementos específicos da área de interesse, deveria incluir:

- modelagem (modelling) metrológica e caracterização de sensores;
- fundamentos da teoria das medições e análise de sinais;
- conceitos sobre *information quantity*, entropia, e *channel capacity*;
- relações entre *channel capacity bandwidth* e razão entre sinal e ruído (*signal-to-noise ratio*);
- conceituação de codificação e decodificação analógica e digital, bem como características e limitações da conversão analógico/digital;
- conceituação sobre calibração e padrões;
- modelagem e expressão da incerteza de medição.

#### CONVERGÊNCIA DO ENSINO EUROPEU: UMA PREOCUPAÇÃO

Consideradas essas experiências acima descritas – a do Reino Unido (líder no desenvolvimento de sistemas de medição), a do Brasil (foco do artigo) e duas experiências localizadas em dois departamentos de engenharia típico (PUC-Rio e Instituto Superior Técnico de Lisboa) e atípico (Departamento de Engenharia e Gestão Industrial da Università Cattaneo, Italia) – cabe a reflexão de que em todas essas situações o ensino da metrologia no contexto de uma perspectiva racional adota o enfoque experimental privilegiando o rigor técnico e a prática laboratorial, que simula para o aluno a realidade presente no dia-a-dia das medições, que interfere com toda e qualquer atividade humana. Por ocasião do último congresso mundial de metrologia, no painel que discutiu o tema educação em metrologia, em particular a sua inserção no ensino superior, ficou patente a preocupação das instituições européias com as recomendações do Bolonha (1999) e pós-Bolonha que levaram aos acordos sobre edu-

cação na Comunidade Européia e que ameaçavam a redução da carga horária, podendo colocar em risco, via redução ou racionalização, a carga horária em tópicos relacionados à ciência das medições.

A *Declaração de Bolonha* é um documento produzido pela Confederação Européia das Conferências de Reitores e pela Associação Européia de Universidades (CRE). Entendido como documento-chave que visa ao desenvolvimento do ensino superior europeu, reflete um acordo de 29 países para a reforma das estruturas dos seus sistemas educativos de ensino superior na Comunidade Européia de uma forma convergente. O processo de Bolonha visa criar convergência e, assim, não deve ser interpretado como um caminho rumo à “standartização” ou “uniformização” da educação superior européia, em cujo contexto os princípios fundamentais de autonomia e de diversidade são respeitados. A declaração reflete uma preocupação explícita com problemas internos e externos comuns relacionados com o crescimento e a diversificação do ensino superior. Uma ação coordenada com relevância para o mercado de trabalho que visa implementar o chamado ‘*European Higher Education Area*’ by 2010, espaço Europeu para o Ensino Superior, que visa melhorar a empregabilidade e mobilidade de cidadãos e melhorar a competitividade internacional do ensino superior europeu. Uma iniciativa que preconiza uma dimensão européia na certificação de qualidade de programas e que visa à eliminação de obstáculos à total mobilidade de estudantes, professores e pesquisadores e um senso de competitividade global do ensino superior Europeu [13].

#### POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES: FERRAMENTAS DA TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO PARA O ENSINO DA METROLOGIA E INSTRUMENTAÇÃO

O desenvolvimento de ferramentas inovadoras para a educação e treinamento em medição e instrumentação decorre, fundamentalmente, dos progressos da tecnologia da informação, principalmente da eficácia de uma tecnologia em rede de *hardwares* e *softwares* aplicáveis à educação *vis-à-vis* a variável custo/benefício. O desenvolvimento dessa rede pode ser considerado outro fator de aceleração do processo de formação e conhecimento. E sua iniciativa concentra-se principalmente nos centros de pesquisa e laboratórios acadêmicos e de pesquisa, nos quais novos métodos e técnicas de ensino são naturalmente desenvolvidos por pesquisadores e peritos no assunto para sua própria utilização. Adiciona-se a isso o fato de que a publicação de resultados inovadores de pesquisa goza de apelo natural no ambiente acadêmico, que privilegia a disseminação do conhecimento como fator contributivo da aceleração do progresso social. Se for fato

que o alvo preponderante do desenvolvimento de ferramentas inovadoras é a educação avançada, também o é que não se conhecem pesquisas de avaliação da eficácia dos seus resultados efetivos.

Tem sido prolífera na *web* a informação sobre padrões, medição e instrumentação, calibração, intercomparação laboratorial, rastreabilidade, equipamentos e técnicas de medição, provendo descrição e especificação de equipamentos e demonstração visual de sistemas e métodos, de sua potencialidade real de aplicação, bem como do acesso aos novos meios digitais de ensino na forma de experimentos virtuais e de gravações em vídeo e do uso de outros recursos livre e direcional de matérias de interesses afins. O potencial das redes para transformar o processo educacional é ilimitado e, na verdade, já vem cumprindo, embora timidamente ainda, a sua função de várias maneiras. Para além de sua funcionalidade real de transmissoras e formadoras de excelência, resistem alguns gargalos para o alcance pleno de sua potencialidade: sua liberdade imanente, que impede o controle de qualidade; o caráter comercial, que introduz conflito e informação subliminar, que podem não revelar ou explicitar os princípios operacionais envolvidos na disseminação do assunto e matéria veiculados; ausência de conceitos e inadequação terminológica. Enfim, são aspectos fundamentais que precisam ser levados em consideração na ótica do preceito educacional e organizacional da disciplina.

Nos sistemas modernos de medição, o processamento de sinais e de informação é implementado por intermédio de *softwares* e *hardwares* inerentes à tecnologia da informação. A instrumentação virtual consiste de sistemas de *hardwares* e *softwares* que possibilitem uma construção simples de sistemas operadores de informação capazes de estimular uma gama variada de instrumentação prática. Pelo fato de o desempenho funcional e a configuração de instrumentações virtuais poderem facilmente ser modificados, torna-se possível propiciar ao educando, por meio da experimentação direta, o entendimento dos conceitos subjacentes a tal ou qual sistema. Assim, se a instrumentação virtual pode ser considerada ferramenta de desenvolvimento, pode bem ser utilizada pelos estudantes para análise dos componentes de processamento da informação de sistemas de medição. Talvez por isso a instrumentação virtual tenha recebido atenção especial. A despeito dessa atratividade técnica persuasiva, não se pode descurar de que o fascínio que ela desperta não pode esconder que, de fato, não fornece meios para o processo de coleta de dados; tampouco pode não constituir didática para a solução de problemas específicos que são próprios dessa ciência que possui caráter essencialmente experimental.

Em conexão com o trabalho de processamento de dados de uma medição, cada vez mais estas são

automatizadas. Na ótica educacional, o *software* utilizado para a análise e processamento das medições obtidas constitui-se em poderoso instrumento educacional para o entendimento de conceitos e para a prática da expressão da incerteza de medição e estimativa de variáveis e parâmetros críticos de interferência.

Tem-se ressaltado neste trabalho que o perfeito conhecimento do objeto que está sendo medido, i.e. do mensurando, configura a dificuldade maior para o ensino da disciplina, já que requer não apenas conceitos associados à ciência, à arte e à tecnologia das medições, mas também a preceitos da confiabilidade metrológica.

A necessidade desse amplo entendimento do mensurando constituiu objeto de consenso mundial desenvolvido sob a chancela de conceituadas organizações científicas,<sup>12</sup> que acordaram harmonizar procedimentos e técnicas para se expressar a incerteza associada à medição, e que levou à publicação do surpreendente tratado *Guide to the expression of uncertainty in measurement*, conhecido pela sigla ISO GUM. O texto transcrito abaixo reflete com propriedade essa preocupação.

Sobre o mensurando, na visão do ISO GUM – O primeiro passo, ao se efetuar uma medição, é especificar o mensurando – a grandeza a ser medida; o mensurando não pode ser especificado por um valor, mas, somente, por uma descrição de uma grandeza. Entretanto, em princípio, um mensurando não pode ser completamente descrito sem um número infinito de informações. Assim, na proporção em que deixa margem à interpretação, a definição incompleta do mensurando introduz, na incerteza do resultado de uma medição, um componente de incerteza que pode ou não ser significativo para a exatidão requerida da medição. ISO GUM: (Item D.1.1, Annex D), Revised edition, 1995 [2].

Educação e domínio de conceitos, potencialidade e limitação de sensores, sua utilização em um sistema de medição e a compreensão plena do sistema global são alguns dos requisitos fundamentais do ensino da disciplina Educação em Medições. Tradicionalmente, sistemas de medição são ensinados pela via da experimentação, na base da pedagogia “erro/acerto”, em contraste com os modernos *soft* e *hardwares* hoje disponíveis e capazes de “experimentar” sistemas de medições com base em modelos computadorizados.

Modelos podem ser funcionais, isto é, podem simular a função do sensor, bem como sua resposta estática e dinâmica. Podem, ainda, ser do tipo *embodiment models*, relacionando a função do sistema à geometria e às propriedades dos materiais dos componentes do sistema e subsistemas que o integram, permitindo avaliar a natureza do fenômeno e efeitos físicos envolvidos. O uso de ferramentas de modelagem, dentre os quais os já consagrados *bond-graphs* e *Modelica*, dentre outros, facilita a concepção do modelo e a modelagem dos sistemas físicos, viabiliza

a solução das equações resultantes e a demonstração dos resultados, o que atesta sua vantagem sobre o experimentalismo reinante. É seguramente um procedimento mais econômico, seguro e com mobilidade suficiente para proceder a mudanças de estrutura, ou mesmo de concepção, caso necessário. Mas limitações também existem. Por exemplo, operam utilizando algoritmos que, de maneira geral, guardam diferença entre o comportamento dos modelos e o sistema físico real que eles pretendem representar. A medição é um procedimento que define a diferença. Experimentação sobre sistemas reais não pode ser substituída pela simulação pura.

Um dos princípios que devem pautar o ensino da disciplina Educação em Medições diz respeito à correta compreensão da diferença entre modelo e realidade. De alguma forma, modelos experimentais assemelham-se ao exercício automático de solução de equações no papel. São importantes, mas não substituem a observação real, os ensaios, a boa prática laboratorial, a experimentação direta.

Finalmente, este parece ser o momento para o uso dos chamados “sistemas inteligentes de ensino”, desde longo tempo estudados como alternativa pedagógica eficaz por se imporem como ferramenta alternativa educacional, real e poderosa. Como exemplo, imagine-se um modelo implementado em um computador: qualquer problema insurgente pode ser apresentado para o aluno, sua sugestão/resposta analisada, sucessos e erros devidamente diagnosticados, subsídios imediatamente repassados ao aprendiz e exercícios de reforço adequadamente demandados. Embora tenha havido progressos no desenvolvimento de programas educacionais dessa natureza, as promessas do setor não conseguiram, ainda, atender às expectativas no compasso e no nível desejado de qualificação. Por outro lado, as limitações ao seu desenvolvimento são reais. Em primeiro lugar, tais ferramentas não substituem a capacidade de motivação para o conhecimento de que dispõe o professor/instrutor, nem o seu discernimento das dificuldades particulares de cada aluno, nem, ainda, a capacidade adquirida de prescrever ações remediadoras geralmente eficazes. Portanto, não obstante poderosas na sua função auxiliar, essas ferramentas não substituem a interação humana face a face, real e emotiva, que é própria do preceito educacional.

Outro aspecto de extrema relevância que deve resultar do processo educacional do profissional da metrologia é aquele relacionado ao desenvolvimento de um raciocínio crítico, de sua honestidade intelectual e habilidade profissional, atributos morais igualmente bem forjados pelo ISO GUM.

O raciocínio crítico, a honestidade intelectual e a habilidade profissional – Embora este Guia (ISO-GUM) para a expressão da incerteza de medição proporcione uma estrutura para avaliar incertezas, ele não pode subs-

tituir o raciocínio crítico, a honestidade intelectual e a habilidade profissional. A avaliação de incerteza não é uma tarefa de rotina nem uma tarefa puramente matemática; ela depende de conhecimento detalhado da natureza do mensurando e da medição. A qualidade e utilidade da incerteza indicada para o resultado de uma medição, dependem, portanto, e em última análise, da compreensão, análise crítica e integridade daqueles que contribuem para o estabelecimento de seu valor. ISO GUM: (Item 3.4.8) Revised Edition, 1995 [2].

## O CARÁTER INTER E MULTIDISCIPLINAR

Metrologia reflete um conceito de caráter essencialmente multidisciplinar, que é inerente a essa complexa área do conhecimento concernente às medições. Conseqüentemente, a educação em metrologia deve beneficiar-se da congregação de esforços, vocações e competências e infra-estruturas laboratoriais existentes em diversas unidades da universidade. Não deve refletir um esforço isolado de grupos e pessoas. É exatamente nessa ótica que a educação em metrologia se desenvolve para formar um profissional interdisciplinar, com características e especificidades próprias, diferentes das áreas-origem que participaram da sua formação de base. As diferentes unidades educacionais atuam isoladamente de forma independente em seus departamentos estanques, mas cooperando em rede; viabilizam o desenvolvimento de interdisciplinaridades indispensáveis à formação do profissional em metrologia e de desenvolvimentos de pesquisa em metrologia que ocorrem na fronteira de conhecimentos específicos. É assim que se constrói um profissional interdisciplinar. Por exemplo, a biometrologia torna-se factível ao associar o conhecimento de profissionais de biologia e medicina (com domínio das biociências) com o conhecimento que é próprio dos físicos (com experiência e tradição na fenomenologia da instrumentação). Dessa coalizão é possível, ainda, agregar profissionais da engenharia (com conhecimento teórico e prático e a visão da tecnologia) para “engenheirar” o conhecimento, assim viabilizando a transição entre a invenção e a inovação, transformando idéias e projetos em produtos finais acabados a serviço de um objetivo específico.

Nesse contexto, o “conceito de interdisciplinaridade” difere substancialmente daquele de “multidisciplinaridade”. A interdisciplinaridade refere-se à convergência de duas ou mais áreas do conhecimento, não necessariamente pertencentes à mesma classe, mas que sejam capazes de contribuir para o avanço das fronteiras da ciência ou tecnologia por intermédio da transferência de métodos de uma área para outra; que sejam capazes de gerar novos conhecimentos ou novas disciplinas, indispensáveis à formação de um novo profissional, com perfil distinto dos que participaram da sua formação (oriundos de áreas multidisciplinares), capaz de exibir uma formação de base que seja, ao mesmo

tempo, robusta e integradora.

Essa é a filosofia subjacente a um programa interdisciplinar, que seja capaz de caracterizar uma proposta inovadora, de perceber a metrologia não apenas como instrumento de gestão da competitividade, mas, essencialmente, como insumo para a qualidade e inovação. Assim, a interdisciplinaridade não deve jamais denotar a simples justaposição de outras áreas do conhecimento ou a aglutinação de esforços estanques desacoplados, mas, ao contrário, a geração de um novo saber criado a partir de experiências multidisciplinares na interface de áreas complementares.

A despeito de eventuais interpretações semânticas controvertidas relacionadas aos conceitos de multidisciplinaridade (ou pluridisciplinaridade) e interdisciplinaridade e, também, transdisciplinaridade, entende-se que multi ou pluridisciplinaridade refere-se ao estudo de um único objeto por diversas disciplinas ao mesmo tempo, ou seja, um enriquecimento pela interseção de várias disciplinas já que o conhecimento deste objeto em sua própria disciplina é aprofundado por um fecundo aporte pluridisciplinar. Em outras palavras, “a abordagem multidisciplinar ultrapassa as disciplinas, mas sua finalidade permanece inscrita no quadro da pesquisa disciplinar” [15].

## REQUISITOS DAS FERRAMENTAS DA TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO PARA EDUCAÇÃO E TREINAMENTO

A aplicação de ferramentas da tecnologia da informação em educação e treinamento desenvolve-se em ritmo acelerado devido à pujante demanda tecnológica. Embora potencialmente poderosas, essas ferramentas apresentam restrições importantes. Os atributos de uma ferramenta eficiente incluem a capacidade de aprimorar suas potencialidades e diminuir suas limitações. De maneira geral, espera-se que a oferta tecnológica (*technology push*) responda apropriadamente às características das demandas tecnológicas, estas adequadamente formuladas por normas e especificações técnicas (*requirements pull*).

De fato, é importante reconhecer que ferramentas educacionais são apenas mediadoras da execução curricular. Por esse motivo, atenção especial deve ser dirigida à formulação do currículo, incluindo clara definição dos conceitos e princípios de base que devem, por sua vez, alinhar-se com aqueles atualizados da ciência e da tecnologia da informação. Um currículo bem definido auxilia seguramente o desenvolvimento apropriado das referidas ferramentas educacionais e sua constante avaliação para eventual ajuste de eficiência e eficácia, já que se observa uma lacuna no âmbito da pesquisa científica sobre a real eficiência dos métodos e ferramentas aplicados ao ensino da medição e da instrumentação.

Conforme revelado pelas reflexões conduzidas no âmbito do XVII IMEKO World Congress, dentre as várias forças que explicam a necessidade de aprimoramento dessas ferramentas como coadjuvantes importantes do aprimoramento educacional estão aquelas relacionadas também ao progresso socioeconômico das nações. Dentre elas:

- o alargamento global das aplicações das tecnologias de medição e instrumentação;
- a importância crescente das implicações metro-lógicas subsistentes na disciplina;
- a demanda crescente por qualificação, formação e conhecimento científico e tecnológico em todos os níveis de produção;
- a importância da compreensão sobre os perigos de recursos humanos limitados;
- a necessidade global pelo compartilhamento do conhecimento e aplicações tecnológicas de ponta;
- a crescente demanda pelo estabelecimento de cooperação entre laboratórios e ferramentas por meio da cooperação a distância;
- a visão crescente da metrologia no mundo e da sua educação e treinamento adequados;
- a crescente demanda por especialização de ponta em todos os níveis profissionais.

É bem verdade que uma consciência universal sobre a necessidade da expansão da educação e do desenvolvimento de recursos humanos específicos de diferentes áreas do conhecimento vem ganhando corpo nesses últimos tempos, como, ainda, que a *web* representa um instrumento auxiliar importante desse processo por dois motivos: pela capacidade de divulgação rápida e pela promoção da integração do conhecimento em nível global. No entanto, já porque certo grau de deficiência na qualidade e na veracidade das informações veiculadas via *web* persiste é que se torna imperativo atentar para as questões do ensino e treinamento em medição aí veiculados. Uma das formas mais seguras seria o estabelecimento de cooperação remota (NET) permanente entre laboratórios para troca de ferramentas.

Não há dúvidas de que o crescimento da metrologia no mundo contemporâneo inflaciona também o mercado da educação e do ensino nesta área específica do conhecimento, bem como aquele do desenvolvimento de ferramentas pedagógicas próprias à aceleração desse processo. A liderança no desenvolvimento de ferramentas de tecnologias da informação e do treinamento adequado em medição e instrumentação origina-se das universidades, que parecem, entretanto, enfatizar a formação científica dos engenheiros. Portanto, o desenvolvimento de ferramentas de apoio para o desenvolvimento específico da disciplina de metrologia deve ser particularmente empreendido, abrangendo todos os níveis de recursos humanos – cientistas, engenheiros, técnicos, auxiliares-técnicos e artesãos –, não se descurando do desenvolvimento paralelo

das ferramentas pedagógicas e didáticas apropriadas para cada nível em particular.

O crescimento mundial da demanda por educação e treinamento de recursos humanos vem acompanhado, como é natural, por limitação de recursos. Limitações impostas pela carência de professores qualificados na área, de pessoal de apoio, de equipamento e de espaço físico para instalação de laboratórios. Ferramentas de tecnologias da informação vêm seguramente auxiliar no saneamento dessas dificuldades inerentes ao processo e na sua aceleração. O que resta fazer, então, é sanear a falta de compreensão política para essa questão de vital importância para o desenvolvimento socioeconômico do país e formular políticas públicas de comprometimento com a consolidação do ensino da metrologia.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Procurou-se justificar a necessidade do ensino de metrologia na formação em engenharia, cuja relevância está no próprio *corpus lógico* representado pelo curso e cuja evolução resultou da incorporação natural, cada qual no seu tempo, de diferentes atributos. Os de natureza essencialmente técnica, amadurecidos no curso da formação tradicional, que, ao longo do processo de especialização das inúmeras disciplinas que integram os currículos de engenharia, não atribuiu ênfase ao ensino de tópicos relacionados às medições. Foram as décadas de 60/70, marcadas pelas políticas industriais que tiveram o foco na construção da infra-estrutura nacional de serviços básicos para a qualidade (metrologia e avaliação da conformidade), sem, entretanto, preocupar-se ainda com um padrão competitivo internacional, que motivaram a cultura pela ciência das medições no Brasil.

Em seqüência, com as demandas impostas pelas tecnologias de gestão, introduzidas com os sistemas da qualidade (difundindo no Brasil, na década de 80, as técnicas de gestão ao estilo japonês), a medição como instrumento de competitividade, de racionalização da produção e de redução do desperdício ganhou visibilidade e despertou interesse nos cursos de engenharia, notadamente daqueles de engenharia industrial. Já na década de 90, com a busca pela competitividade internacional induzida pela globalização dos mercados – que explicitou a absoluta necessidade de um sistema universal de medições e motivou o desenvolvimento dos acordos de reconhecimento mútuo de sistemas de medições capazes de assegurar a livre circulação de produtos em mercados competitivos –, mais que nunca, a metrologia, a normalização e a avaliação da conformidade, entendidas como ferramentas da tecnologia industrial básica, constituíram-se em novas demandas nos currículos de engenharia, levando, inclusive, à criação de cursos de pós-graduação (mestrado) e especialização nessas áreas.

No contexto dessa nova visão do ensino de engenharia, não se busca apenas uma educação de qualidade desse chamado engenheiro moderno inovador, mas, também, uma educação que contemple os fundamentos da qualidade, da normalização, da metrologia e das tecnologias de gestão. Atributos esses indutores do desenvolvimento da indústria (aumento de eficiência), da inovação tecnológica e da competitividade nacional com inserção competitiva internacional. São esses os novos atributos capazes de expor o engenheiro ao mundo das empresas e da indústria, como parte da estratégia de suplantar o dilema de adequar a engenharia à visão do mercado.

É nesse contexto que o “*corpus lógico*” do curso de engenharia é ainda mais relevante que a sua própria especialização, independentemente de a área de aplicação ser mecânica, elétrica, química etc. É também nessa lógica que a ciência das medições deve ser ministrada, sem especializações. Incerteza da medição refere-se a um parâmetro associado ao resultado da medição – “que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser razoavelmente atribuídos ao mensurando” – e que também independe de a natureza da grandeza física ser mecânica, elétrica, ou química, característica que a qualifica para ser ensinada de forma ampla e abrangente em todos os níveis de formação acadêmica.

Finalmente, é importante reiterar que mesmo as mais sofisticadas ferramentas de ensino e treinamento possuem limitações que lhe são inerentes. O aprendizado automatizado não pode substituir o instrutor experiente e motivado. Nada é mais importante que o compromisso e a vontade do homem em transformar seu cabedal de conhecimento em progresso, universalmente compreendido; também, que a abstração de modelos e a experimentação virtual, por si, não bastam para fazer progredir, não substituindo, portanto, ensaios e experimentos reais conduzidos diretamente em laboratórios.

Dado como certo, esta será uma década que irá presenciar o aporte de tecnologias jamais vistas no final do *ido século*. É, por outro lado, incerto, como as sociedades se ajustarão às mudanças delas decorrentes e como os centros de saber conseguirão acompanhar o ritmo das demandas nascentes desse caudal tecnológico volumoso e destemido. Neste mundo de câmbios contínuos, em que a única certeza é a incerteza, a visão moderna de educação certamente será aquela que preconizará o *learn how to learn approach* atrelado a um sistema permanente de educação e desenvolvimento.

O que nos aquieta é saber que a humanidade, com relação ao progresso científico e tecnológico, tem sabido, no seu curso, ajustar-se ao bem produzido, expelir o lixo das inutilidades geradas, controlar os excessos desnecessários, motivar-se pelo fascínio da inovação que propulsiona o desenvolvimento tecnológico, sem, entretanto, abraçar aquilo

que também eleva o espírito. Ela tem sido a bússola do progresso das ciências e das tecnologias. A lição fundamental no ensino da medição e da instrumentação é atentar para a medida correta do homem que queremos e percebemos em nós mesmos.

Desejando concluir com um comentário que integra poesia e ciência, os autores evocam a nota filosófica de Paul Valéry "(...) the problem is that the future is no longer what it used to be", e essa questão essencial de que "o futuro não é mais aquilo a que nos acostumáramos" conduz a uma afirmação que vai ao encontro da constatação tecnológica surpreendente de Jacques P. De Brochard de que "(...) daqui a 10 anos estaremos usando 50% dos bens e serviços que, hoje, ainda não foram sequer inventados". Essa é, certamente, uma constatação que explicita uma demanda inusitada por todo esse amplo "campo do conhecimento relacionado com a medição", ou seja, "com todos os aspectos teóricos e práticos relacionados à medição, qualquer que seja a incerteza que lhe é associada e o seu campo de aplicação".

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à International Measurement Confederation (IMEKO), particularmente aos organizadores do IMEKO XVII World Congress Croatia (June 2003), pelo desafiador convite para coordenar uma mesa-redonda com renomados especialistas internacionais em educação em metrologia para debater esse fascinante e complexo tema relacionado à educação em metrologia. Em especial, destacamos aqui o entusiasmo com que participaram do *round table* os panelistas Prof. Graham Cameron (Standards Council of Canada); Prof. Olli Aumala, (Finnish Society of Automation); Prof. Luca Mari (Università Cattaneo, Italy); Prof. Paul P.L. Regtien (University of Twente, The Netherlands, Chairman of IMEKO/TC1 on Education and training in Measurement and Instrumentation); Prof. Janko Drnovsek (University of Ljubljana, Slovenia); Prof. Leo Van Biesen (Vrije Universiteit Brussel); Prof. Mladen Borsic (Croatian Society of Metrology); Prof. T. Pfeifer (Aachen University, Germany); Prof. Shigeru Takayama, (Japan, member of IMEKO/TC-1); Prof. António Serra & Prof. Pedro M. B. Silva Girão (Instituto Superior Técnico de Lisboa, Portugal); Prof. P.H. Osanna, (Technical University of Vienna, Austria).

Os autores agradecem, também, à Associação Brasileira de Ensino de Engenharia pela oportunidade de publicação deste artigo na sua revista, assim estimulando o debate sobre a importância da inserção da metrologia no ensino de engenharia.

O primeiro autor agradece ao Programa de Pós-Graduação em Metrologia para Qualidade e Inovação da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PósMQI/PUC-Rio), e ao seu congênere da Univer-

sidade Federal de Santa Catarina, o Programa de Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial (PósMQI/UFSC), por propiciarem um ambiente inspirador para aprofundamento dessa reflexão.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ISO VIM (Draft April 2004), *International vocabulary of basic and general terms in metrology* (VIM). *Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie* (VIM). ICS 01.040.17; 17.020. Revision been carried out by the Joint Commission Working Group JCGM-WG2.
- [2] ISO GUM, *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* (1993, amended 1995). (Published by ISO in the name of BIPM, IEC, IFCC, IUPAC, IUPAP and OIML).
- [3] CIPM/MRA, *Mutual recognition of national measurement standards and of calibration and measurement certificates issued by National Metrology Institutes* (BIPM, Paris, 14 Oct 1999). Disponível para download em [www.bipm.org](http://www.bipm.org).
- [4] Martins, L.A., Frota, M.N. e Lira, I., *Real time fluid property correction in the measurement of cumulated volume of natural gas and its associated uncertainties*. Paper accepted for inclusion in the Proceedings of the XVIII IMEKO World Congress (Metrology for a Sustainable Development), September, 17-22, 2006, Rio de Janeiro, Brazil.
- [5] Frota, M.N. & Finkelstein L (Coord.), *Round table on Metrology Education and Training*: organized under TC1: Education and Training in Measurement and Instrumentation, Technical Committee of the International Measurement Confederation (IMEKO), XVII IMEKO World Congress, Dubrovnik, Croatia June, 2003.
- [6] Finkelstein L., Measurement science, in Finkelstein L. and Grattan K.T.V., (Editors) *Concise Encyclopedia of Measurement and Instrumentation*, Oxford, Pergamon Press, 1994, pp.205-209.
- [7] Finkelstein L., *General Principles of Formation in Measurement Science and Technology* in: P. H. Sydenham (ed.) *Handbook of Measurement Science*, vol. 3 Chichester: Wiley, 1992 pp. 1417-1431.
- [8] Silveira, M. A da, *A Formação do Engenheiro inovador*. Sistema Maxwell – Lambda, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, ISBN 85-905658-1-5, 207p. (2005).
- [9] Almeida, L.A., Frota M.N. and Frota, M.H., *Metrology Education and Citizenship: the Brazilian experience*, paper no. 578, included in the electronic proceedings of the XVII IMEKO World Congress, Dubrovnik, Croatia June, 2003.
- [10] Finkelstein L., *Measurement and Instrumentation science - An analytical review*, Measurement 14, Oxford, Pergamon Press, 1994, 3-14.
- [11] Royal Academy of Engineering, *The future of higher education*, RAEng: London 2001.

[12] *Standards and Routes to Registration*, Engineering Council (UK), 3rd edition, London 1997).

[13] *The UE Bologna Declaration (1999). Joint Declaration of the European Ministers of Education convened in Bologna on the 19<sup>th</sup> of June 1999.* (disponível para download em [http://www.bi.pt/matubi/Bolonha/Bolonha\\_Declaracao%20de%20Bolonha.pdf](http://www.bi.pt/matubi/Bolonha/Bolonha_Declaracao%20de%20Bolonha.pdf)).

[14] Almeida, Luciana A.; *Metrologia: Instrumento de Cidadania*. Dissertação defendida no Programa de Mestrado em Metrologia para a Qualidade Industrial (Pós-MQI/PUC-Rio). Rio de Janeiro, outubro, 2002.

[15] Projeto CIRET-UNESCO-1997, *Evolução Transdisciplinar da Universidade*, Congresso de Locarno, Locarno (disponível em <http://www.cetrans.futuro.usp.br/locarnoport.html>). Suíça, 30 de abril a 2 de maio de 1997.

## NOTAS

- <sup>1</sup> SI refere-se ao Sistema Internacional de Unidades [1]. Um sistema coerente, métrico e decimal. "Coerente" significa que este é um sistema que não admite nenhum fator de conversão que não seja a unidade, 1 (e.g.: 1 N denota a força induzida por uma massa de 1kg quando submetida a uma aceleração de 1 m/s<sup>2</sup>). "Métrico" refere-se à invariabilidade das referências utilizadas (e.g.: a circunferência da terra, a duração do dia, a densidade e o ponto fixo da água). "Decimal" caracteriza a base 10 que é inerente ao SI.
- <sup>2</sup> O ISO-GUM (2003) "Guide to the expression of uncertainty in measurement". Para se reportar o resultado de uma medição de uma determinada grandeza física, faz-se necessário fornecer uma indicação quantitativa que permita avaliar a sua confiabilidade e estabelecer a sua comparação com um padrão. O ISO-GUM estabelece as bases de um consenso mundial acordado por sete renomadas organizações internacionais para se estimar e expressar a incerteza associada ao processo de medição que pode ser monitorada em diferentes níveis de precisão e em diversos campos de aplicação [2]. São as seguintes as organizações envolvidas: Bureau International des Poids et Mesures (BIPM), International Electrotechnical Commission (IEC), International Organization for Standardization (ISO), International Federation of Clinical Chemistry (IFCC), International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP) and the International Organization of Legal Metrology (OIML).
- <sup>3</sup> CIPM/MRA, *Mutual recognition of national measurement standards and of calibration and measurement certificates issued by National Metrology Institutes* (BIPM, Paris, 14 Oct 1999). Acordo de reconhecimento mútuo sob a égide do Tratado Diplomático da Convenção do Metro, celebrado entre Institutos Nacionais de Metrologia signatários da Convenção do Metro, estabelecendo as bases para a aceitação mútua de padrões de referência e de certificados de calibração e de resultados de medição por eles emitidos [3].
- <sup>4</sup> Dentre as motivações para se promover a revisão do VIM destacam-se a urgente necessidade de introduzir conceitos da metrologia em Química e a necessidade de se resolver ambigüidades existentes relacionadas a conceitos e definições, dentre as quais: *measurand; measurement unit; measurement scale; measurement result; metrological comparability; metrological traceability; measurement uncertainty; target measurement uncertainty*. Considerando a lógica da normalização (que apenas reconhece traduções oficiais) a inequívoca tradução da nova versão do VIM para cerca de 30 idiomas constitui outro desafio que coloca em situação de desvantagem países que não utilizam o Inglês como língua pátria.
- <sup>5</sup> Metrologia origina-se do grego: *metron* (measurement) and *logos* (science, treaty).
- <sup>6</sup> Uma pesquisa de mestrado desenvolve-se em colaboração entre os programas de Pós-Graduação de Metrologia e Psicologia da PUC-Rio para validar medições relacionadas a funções huma-

nas "medo", "ansiedade", "percepção", "expectativa", certamente mensurandos atípicos para a maioria dos metrologistas.

- <sup>7</sup> XVIII IMEKO World Congress, evento oficial da International Measurement Confederation que se realiza com a periodicidade de três anos, cuja próxima edição aborda o tema *Metrology for a sustainable development*, a realizar-se pela primeira vez na América Latina, no Rio de Janeiro, em setembro de 2006.
- <sup>8</sup> Dados oficiais da CAPES confirmam que os cursos de pós-graduação das engenharias cresceram nos últimos dez anos numa média de 7,5%. Em 1996, o país tinha 126 cursos de mestrado e 61 de doutorado; em 2006, são 229 de mestrado e 132 de doutorado. O Brasil possui hoje 18 mil estudantes de mestrado e doutorado só nesta área, mas o número de engenheiros de alta qualificação ainda não é suficiente para atender à demanda do setor produtivo. Em 2004, foram titulados 3.173 mestres, 1.206 doutores e 300 mestres profissionais na área.
- <sup>9</sup> Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico.
- <sup>10</sup> Teaching Metrology: the Portuguese Experience. Participation of Prof. Pedro M. B. Silva Girão no Painel Education in Metrology coordenado pelos autores no IMEKO XVII World Congress (Croácia, 2003).
- <sup>11</sup> Università Cattaneo (LIUC), Castellanza (VA), Italy, private communication with Prof. Luca Mari, panelista no Painel Education in Metrology realizado no IMEKO XVII World Congress (Croácia, 2003). Por ocasião do recém realizado XVIII Congresso Mundial de Metrologia, realizado no Rio de Janeiro em setembro de 2006, o Prof. Luca Mari foi eleito Presidente do IMEKO Technical Committee on Measurement Science (TC-7) da International Measurement Confederation (IMEKO).
- <sup>12</sup> Desenvolvido no âmbito de cooperação internacional celebrada pelas conceituadas organizações internacionais: ISO, IEC, BIPM, OIML, IUPAP, IUPAC, IFCC.

## DADOS BIOGRÁFICOS DOS AUTORES



### Maurício Nogueira Frota

é Engenheiro Mecânico pela PUC-Rio (1969), PhD pela Stanford University (1982), com tese em *experimental methods in turbulence fluid mechanics*. Atualmente é o Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Metrologia para Qualidade e Inovação da PUC-Rio. No curso de sua atuação em metrologia ocupou os cargos de diretor de metrologia científica e industrial do INMETRO; a presidência da Sociedade Brasileira de Metrologia, a vice-presidência da International Measurement Confederation e a presidência do Sistema Inter-Americano de Metrologia. (mfrota@metrologia.ctc.puc-rio)



### Ludwik Finkelstein

Prof Ludwik Finkelstein was educated as a physicist and electrical engineer graduating with a BSc and an MSc in Physics from the University of London and a DSc in measurement and instrumentation science and technology from City University. He is a Chartered Physicist and a Chartered Engineer and a Fellow of the Royal Academy of Engineering. He is a Senior Research Fellow in the Measurement and Instrumentation Centre of City University where he had been Dean of the School of Engineering and Pro-Vice-Chancellor.