

## IMPORTÂNCIA DE FORMAÇÃO METROLÓGICA AVANÇADA NA ÁREA DE MEDIÇÃO POR COORDENADAS NA INDÚSTRIA

*André Roberto de Sousa*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>IFSC – Depto. Mecânica – Metrologia/Eng. Precisão, Florianópolis, Brasil, asouza@ifsc.edu.br

**Resumo:** A medição por coordenadas no Brasil cresceu de forma intensa nos últimos anos. Junto com esta rápida disseminação da tecnologia veio a percepção da necessidade de pessoal qualificado para explorar de forma eficiente e confiável as potencialidades da tecnologia. Este artigo enfatiza a necessidade de formação metrológica voltada para a área de medição por coordenadas e apresenta um modelo de formação desenvolvido e implementado com esse objetivo no Brasil.

**Palavras chave:** Educação em metrologia, Formação metrológica, Medição por coordenadas.

### 1. PRESENÇA E IMPORTÂNCIA DA MEDIÇÃO POR COORDENADAS NA MANUFATURA ATUAL

A Tecnologia de Medição por Coordenadas, ou Medição 3D, é o recurso mais poderoso que a Indústria possui para o desenvolvimento dimensional de produtos, controle dimensional de peças e melhoria da capacidade de processos. Por suas enormes potencialidades geométricas, boa exatidão, flexibilidade e automatização, a Medição 3D tem estado cada vez mais presente ao longo de todo o ciclo de vida do produto em atividades como (Figs. 1 – 3):

- Digitalização de modelos
- Análise dimensional de protótipos
- Desenvolvimento de produto
- Investigação de problemas
- Certificação de peças fornecidas
- Aprovação de ferramental e dispositivos
- Ajuste e liberação de Processos
- Controle seriado de produtos



Fig. 1. Medições e digitalizações de modelos [1]

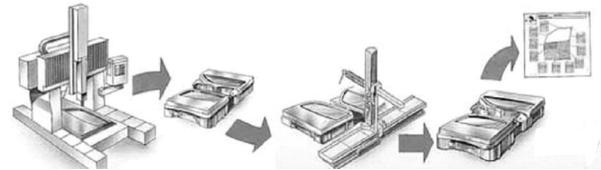


Fig. 2. Aprovação dimensional de ferramental de produção [1]

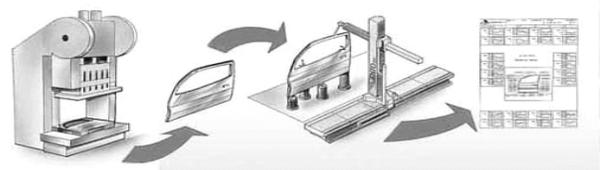


Fig. 3. Controle de Processos Seriados [1]

A importância da tecnologia para a garantia da qualidade tem sido cada vez maior e a maior parte das empresas de médio e grande portes da área metal-mecânica possuem máquinas de medir por coordenadas nas suas metrologias. Estima-se a existência de mais de 6.000 equipamentos no Brasil, entre máquinas cartesianas e braços de medição.

Na cadeia produtiva da indústria automotiva essa presença é ainda mais forte, nas montadoras e em seus fornecedores, com predominância de máquinas de medir por coordenadas (MMC) portal, horizontal e articuladas (Fig. 4).



Fig. 4. Máquinas mais presentes no mercado nacional

## 2. IMPORTÂNCIA DA FORMAÇÃO AVANÇADA DOS METROLOGISTAS 3D

Em qualquer processo de medição, utilizando qualquer tipo de instrumentação, o metrologista é elemento fundamental para que se tenham resultados confiáveis. O pessoal empregado nas operações de medição deve ser competente, adequadamente qualificado e bem informado sobre todo o processo em que a medição está inserida [2]. Pessoas competentes e bem treinadas, que entendem os princípios envolvidos na medição, não só medem com maior eficiência e exatidão, mas também tendem a ser mais motivadas e aceitar mais facilmente a responsabilidade para desafios que levem à qualidade e confiabilidade nas medições.

Nesse aspecto a medição por coordenadas é particularmente crítica porque exige do profissional metrologista conhecimentos e habilidades que vão bem além da operação do hardware e do software de medição. Dada a aplicação perene da medição por coordenadas ao longo do ciclo de desenvolvimento e produção do produto, há a participação do profissional metrologista em atividades diversas como especificação de tolerâncias, projeto de ferramental de produção, ajuste de processos, garantia da qualidade, dentre outros [3].

Além disso, a característica essencialmente matemática da medição por coordenadas, sua grande informatização e automatização e sua integração com todas as áreas da empresa requerem uma formação mais ampla do que somente a formação operacional. A formação operacional é indispensável, mas deve ser completada com temas como:

- Especificação geométrica do produto (GD&T)
- Estatística aplicada à Qualidade
- Lógica e Programação
- Computação gráfica (CAD)
- Confiabilidade Metrológica
- Mecânica de precisão
- Dentre outros.

Dessa forma, além de ser competente na operação da máquina e do software de medição (formação operacional), há a necessidade de uma qualificação ampla e aprofundada em temas correlatos, que denominamos de formação metrológica. A junção destas formações proporciona ao profissional desempenhar com eficiência e confiabilidade as suas atividades.

A prática tem demonstrado que a falta de formação metrológica leva o metrologista a negligenciar cuidados básicos relativos à confiabilidade metrológica, potencializando grande aumento na incerteza dos resultados por mais que opere bem a máquina e o software de medição.

Para atuar na área de medição por coordenadas a capacitação recebida pelos profissionais quase sempre tem se limitado ao treinamento na operação do hardware e software da máquina, fornecido pelo fabricante do equipamento. Essa formação é necessária, mas não é suficiente para que o profissional execute suas tarefas com

confiabilidade metrológica. Adicionalmente a esta capacitação operacional é indispensável uma **formação metrológica** do profissional em aspectos fundamentais para a garantia da confiabilidade dos resultados de medição (Fig. 5).

### FORMAÇÃO OPERACIONAL

Habilidade na operação da Máquina e do Software de medição.



### FORMAÇÃO METROLÓGICA

Conhecimentos, Habilidades e Atitudes para a garantia da confiabilidade metrológica dos resultados.



Fig. 5. Formação operacional e Formação metrológica

No entanto, o panorama no Brasil e em boa parte do mundo é diferente dessa meta. A disseminação muito rápida da tecnologia de medição por coordenadas não foi acompanhada pela oferta de programas de formação metrológica voltados à medição por coordenadas.

Com isso, a formação tem ocorrido quase que exclusivamente na operação do equipamento, potencializando situações como as relatadas abaixo por supervisores de sala de medidas 3D de grandes empresas no Brasil:

*“A falta de qualificação metrológica do pessoal técnico da medição 3D tornou-se um dos mais sérios problemas observados na maioria das salas de medidas. Mesmo os bons funcionários, que possuem uma ótima reputação profissional dentro das salas de medidas, geram informações erradas sem a menor desconfiança disso”.*

*“Os operadores sabem muito bem como operar a máquina e o software, mas desconhecem cuidados e fatores de influência básicos sobre a medição, gerando resultados errados sem nenhuma desconfiança sobre isso.”*

Percebe-se com isso uma formação incompleta do pessoal que atua com a medição por coordenadas, que potencializa a ocorrência de problemas como:

- Alta incerteza dos resultados
- Desconhecimento de fontes de erros
- Procedimentos de medição inadequados
- Descuidos com o ambiente de medição
- Má conservação da máquina de medir
- Sub-utilização da tecnologia
- Dentre outros

### 3. EDUCAÇÃO CONTINUADA EM METROLOGIA 3D EM NÍVEL AVANÇADO

Com o objetivo de oferecer uma formação mais ampla ao metrologista 3D foi concebido em 2004 no Brasil um modelo de formação para estes profissionais com base nas competências que os mesmos necessitam para a função de suas atividades com eficiência operacional e confiabilidade metrológica [4]. Nesta concepção trabalharam profissionais de indústrias e de centros de ensino e pesquisa.

O processo de estruturação do modelo de formação seguiu o mesmo método utilizado no desenvolvimento de produtos, iniciando com o projeto informacional do curso, quando foram analisados os perfis de atuação do metrologista 3D no mercado nacional.

Esta coleta de informações subsidiou o projeto conceitual do curso, com a definição da estrutura curricular e das competências a serem obtidas em cada módulo. A etapa final constou do detalhamento de todos os aspectos técnicos e operacionais do curso (projeto detalhado).

Ao final deste trabalho de estruturação, o modelo de formação resultou em um programa de educação continuada em medição por coordenadas composto por três módulos de 40 horas cursados em sequência progressiva na complexidade dos temas. Cada módulo do programa de formação possui um foco em um tema, mas aborda os assuntos correlatos. A fig. 6 mostra esquematicamente o modelo de formação desenvolvido.

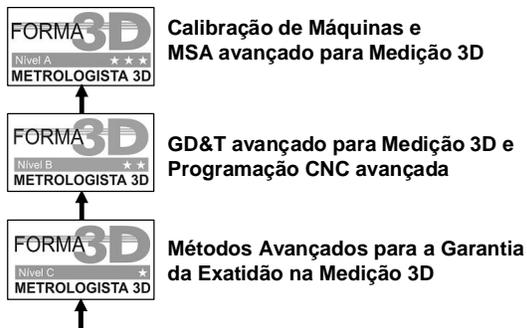


Fig. 6. Modelo de formação em Metrologia 3D

A estrutura curricular do programa foi construída a partir de pesquisa junto a empresas e supervisores de metrologia de empresas nacionais. Essas pesquisas revelaram uma necessidade de formação de pessoal e permitiu identificar os perfis de profissionais no mercado e as principais competências técnicas e comportamentais necessárias para o Metrologista 3D desempenhar suas atividades com eficiência e confiabilidade.

Os perfis e suas competências foram então agrupadas por em cada nível do curso resultando na estrutura curricular mostrada na figura 6. Para cada perfil se identificou as competências listadas nas tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1: Competências do Módulo 1

Metrologista 3D Nível C - Competências
<ul style="list-style-type: none"> <li>Entender a metrologia industrial inserida na garantia da qualidade da produção seriada.</li> <li>Conhecer os princípios funcionais da tecnologia de medição por coordenadas, de todos os sub-sistemas de hardware e software da máquina de medir.</li> <li>Conhecer as fontes de erro presentes em uma medição 3D e saber aplicar estratégias para proteger a medição da influência de erros</li> <li>Saber estimar e corrigir erros de medição</li> <li>Saber como planejar uma medição confiável e como validar um procedimento de medição</li> <li>Conhecer e saber aplicar estratégias para evitar colisões e procedimentos para maximizar a vida útil dos componentes da máquina de medir</li> <li>Saber avaliar a incerteza de medição de um procedimento de medição 3D e se esta incerteza de medição está adequada frente à tolerância do produto</li> <li>Conhecer e saber aplicar métodos para verificar a exatidão da máquina de medir ao longo do tempo</li> <li>Zelar pela conservação da máquina de medir por coordenadas e do ambiente de medição</li> <li>Desenvolver uma atitude pessoal criteriosa quanto aos cuidados que devem cercar uma medição 3D</li> </ul>

Tabela 2: Competências do Módulo 2

Metrologista 3D Nível B - Competências
<ul style="list-style-type: none"> <li>Conhecer de forma ampla o processo de gerenciamento dimensional de um produto</li> <li>Reconhecer a importância estratégica da uma correta especificação geométrica do produto</li> <li>Conhecer as normas e definições sobre tolerâncias dimensionais e geométricas: ABNT6158 e 6173, ASME Y 14.5 M, ISO1101, dentre outras.</li> <li>Entender plenamente a especificação geométrica de produtos colocada nos desenhos de engenharia</li> <li>Identificar erros e inconsistências de cotação nos desenhos</li> <li>Conhecer as particularidades da aplicação da Medição 3D para o controle de tolerâncias GD&amp;T</li> <li>Definir estratégias de medição 3D para qualquer tipo de tolerância GD&amp;T: forma, posição, orientação e batimento</li> <li>Conhecer recursos e limitações do software de medição 3D para o cálculo de tolerâncias 3D</li> <li>Saber avaliar a incerteza de medição 3D de tolerâncias GD&amp;T</li> <li>Saber validar um processo de medição 3D para uma tolerância GD&amp;T</li> <li>Saber construir um programa de medição CNC de forma estruturada</li> <li>Conhecer e saber usar funções lógicas e estruturas de repetição em um programa CNC</li> </ul>

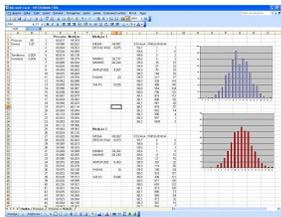
**Tabela 3: Competências do Módulo 1**

<b>Metrologista 3D Nível A - Competências</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conhecer as causas de erros na máquina de medir 3D</li> <li>• Saber analisar a influência dos erros da máquina de medir sobre a medição de tolerâncias GD&amp;T</li> <li>• Conhecer formas de garantir a rastreabilidade de um resultado de medição 3D</li> <li>• Conhecer as principais normas nacionais de ensaios de máquinas de medir 3D</li> <li>• Conhecer e saber aplicar a norma ISO10360 para avaliar a exatidão de máquinas de medir 3D</li> <li>• Conhecer estratégias para monitorar o comportamento geométrico da máquina de medir 3D</li> <li>• Saber estabelecer e aplicar um procedimento para verificar periodicamente a exatidão da máquina</li> <li>• Conhecer os procedimentos contidos no guia MSA 3a edição para Análise de Sistemas de Medição</li> <li>• Saber analisar a tendência, estabilidade e linearidade de um processo de medição 3D</li> <li>• Saber realizar estudos de R&amp;R em processos de Medição 3D</li> <li>• Saber conduzir um estudo de MSA para analisar um processo de Medição 3D</li> <li>• Utilizar adequadamente recursos computacionais em um estudo de MSA</li> </ul>

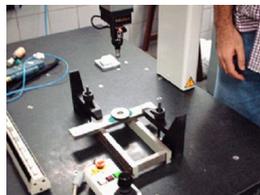
A partir da definição e agrupamento destas competências foram desenvolvidos os conteúdos de cada módulo, os materiais didáticos impressos e eletrônicos, bem como delineada toda a estratégia didática a ser praticada nos cursos, incluindo as atividades práticas e o desenvolvimento de kits didáticos para aulas teóricas e práticas (Fig. 7).



**Planilhas**



**Kits didáticos**



**Fig. 7. Recursos didáticos do curso**

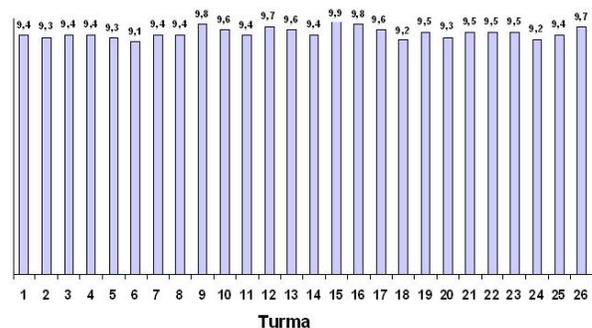
**4. RESULTADOS PARCIAIS**

Este programa foi colocado em prática e desde 2004 vem sendo ministrado principalmente para profissionais de empresas da área automotiva e sua cadeia produtiva. Devido ao sucesso obtido no Brasil, o programa foi convidado para ser ministrado também no México.

Desde então, mais de 400 metrologistas de cerca de 80 empresas foram formados nos diversos módulos, com uma avaliação muito positiva por parte dos participantes. Imagens de turmas e a avaliação de (escala de 0 a 10) de cada uma das turmas ministradas pelos participantes pode ser visualizada na Fig. 8.



**Avaliação do Curso pelos participantes (0 a 10)**



**Fig. 8. Imagens e avaliações das turmas no Brasil e no México**

Como o objetivo do curso não é fornecer uma capacitação operacional, mas sim uma formação metrológica, usuários dos diversos fabricantes de máquinas e software de medição têm participado do programa. A figura 9 mostra (até Maio de 2009) a distribuição dos participantes pelo tipo de tecnologia de medição por coordenadas utilizada.

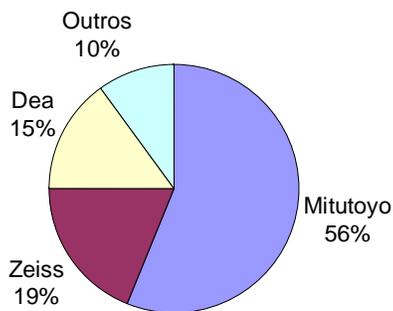


Fig. 9. Distribuição dos participantes quanto à tecnologia de medição utilizada na empresa

A figura 10 traz o perfil dos participantes certificados pelo FORMA3D até o Maio de 2009.

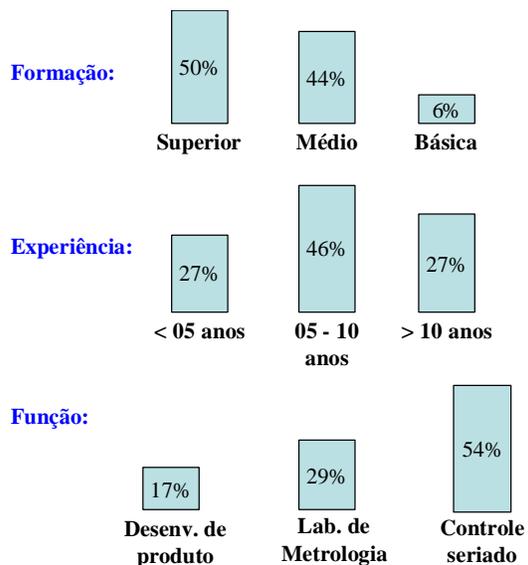


Fig. 10. Perfil dos Metrologistas certificados pelo FORMA3D

O impacto desta formação na eficiência e confiabilidade de suas atividades metrológicas dos metrologistas é evidenciado por depoimentos dos participantes do curso e por supervisores de metrologistas certificados pelo programa. Dentre as principais melhorias verificadas pelos participantes e seus supervisores podem ser citadas:

- Entendimento dos princípios funcionais da tecnologia de medição por coordenadas e da máquina de medir

- Compreensão de fenômenos que ocorrem durante a medição e que sempre traziam dúvidas aos resultados.
- Melhor cuidado com a máquina de medir e com o ambiente de medição, minimizando fontes de erros.
- Capacidade de analisar se o processo de medição está confiável para o controle de produto e controle de processo.
- Postura mais analítica e criteriosa na definição dos procedimentos e diante dos resultados das medições.

Estes avanços traduzem-se em maior aproveitamento da tecnologia para melhoria de qualidade de produtos e eficiência de processos de fabricação, e menores custos com a manutenção das máquinas de medir.

Um supervisor de metrologia de uma montadora de veículos no Brasil onde foi realizado o curso relatou:

*“Muitas perdas podem ser evitadas, no decorrer da cadeia produtiva, se os resultados das medições forem corretos. Já podemos perceber esta visão global no dia a dia dos colaboradores que participaram do curso.”*

## 5. CONCLUSÕES

A qualificação metrológica dos recursos humanos envolvidos nas tarefas de medição por coordenadas é indispensável para aumentar a confiabilidade metrológica dos resultados, e tem que ser uma preocupação permanente para quem zela pela qualidade e excelência daquilo que produz.

Atualmente a formação operacional é a única qualificação recebida pela maioria dos profissionais que atuam na medição por coordenadas. Embora necessária esta formação operacional não é suficiente. Existe a necessidade de uma formação complementar que priorize aspectos de confiabilidade metrológica do processo de medição. Com este objetivo se estruturou um modelo de formação avançada para profissionais que atuam na medição por coordenadas.

Este artigo apresentou este modelo de educação continuada em medição por coordenadas, estruturado para suprir uma carência na qualificação dos profissionais que trabalham com esta tecnologia no Brasil. Desde a sua implantação o programa já formou mais de 400 profissionais, sendo atualmente o maior programa de educação continuada em metrologia no Brasil.

A procura expressiva por este tipo de formação e a alta satisfação dos participantes são indicativos da importância, necessidade existente e carência desta formação no Brasil. Os participantes e seus supervisores relatam importantes avanços na formação profissional e em suas atitudes enquanto metrologistas 3D.

## **AGRADECIMENTOS**

A todas as pessoas e empresas que participaram e acreditaram no programa FORMA3D – Formação Avançada em Metrologia 3D.

## **REFERÊNCIAS**

[1] Manganelli, M. Multifunction CMM systems speed up the design of free surface car bodies. Publicação da empresa Brown and Sharpe, Vol. 5-1, 1998.

[2] ISO/TS 16949:2002 Quality management systems -- Particular requirements for the application of ISO 9001:2000 for automotive production and relevant service part organizations

[3] Sousa, A.; Mariano, A.; Viana, C.; Oroscó, D. A importância e necessidade da Formação de Metrologistas especializados em medição tridimensional na indústria nacional. Enqualab – Encontro para a Qualidade de Laboratórios, 2005.

[4] Sousa, A.; Gonzales, R.; Conejero, S. FORMA3D – An educational program for the qualification of technical person involved with coordinate metrology in Brazil. XVIII Imeko World Congress, 2006.