



ENSINO DE METROLOGIA NO CURSO DE ENGENHARIA DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL DO CEFET-MG CAMPUS ARAXÁ

João Cirilo da Silva Neto - jcirilo@araxa.cefetmg.br

CEFET-MG-Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais-Campus IV –Araxá. Av. Ministro Olavo Drummond, 25, Bairro São Geraldo, CEP: 38.180.084- Araxá- MG, Brasil.

Resumo: *A metrologia tem como foco principal prover confiabilidade, credibilidade, universalidade e qualidade às medidas. Como as medições estão presentes, direta ou indiretamente, em praticamente todos os processos de tomada de decisão, a abrangência da metrologia é imensa, envolvendo a educação, a pesquisa, a indústria, o comércio, a saúde e o meio ambiente, para citar apenas algumas áreas. Estima-se que cerca de 4 a 6% do PIB nacional dos países industrializados sejam dedicados aos processos de medição. Essa crescente importância da metrologia gerou necessidades novas, que passaram a requerer desenvolvimento substancial de novas áreas, como a metrologia química, a metrologia na saúde, a implantação de melhorias técnicas em áreas tradicionais como as dos processos de fabricação. Por outro lado, todo resultado de medição é apenas uma estimativa do valor verdadeiro. Isto é devido à influência de diversos fatores que interferem no processo de medição, tais como variações associadas ao instrumento de medição, ao operador, às condições ambientes, que podem interferir nos resultados. O principal propósito deste trabalho é apresentar a importância da integração do ensino de metrologia com processos de fabricação no CEFET-MG-CAMPUS ARAXÁ. Nos resultados experimentais, foi calculada a incerteza de medição Tipo A (aleatória) de peças usinadas por torneamento, fresamento e aplainamento e foi feita a análise do desempenho dos equipamentos.*

Palavras-chave: *Ensino de Metrologia, Processos de Fabricação, Incerteza de medição Tipo A.*

1 INTRODUÇÃO

Define-se metrologia como sendo a ciência das medidas e das medições. A metrologia se aplica em todos os ramos da ciência em que é necessária a utilização da tecnologia de medição. Por isso, esta atividade tem sido muito valorizada no Brasil e no mundo. Mas o seu marco histórico não é novo, pois desde o início da civilização, o homem foi obrigado a desenvolver ferramentas e instrumentos para garantir a sua moradia, sobrevivência, construção de ferramentas e meios de locomoção.

Hoje, o desenvolvimento da economia brasileira e mundial depende, em grande parte do potencial tecnológico das empresas e da capacidade das instituições de ensino e de pesquisa desenvolverem novos produtos. Em meio a esse cenário, é fundamental a participação efetiva do ensino e da pesquisa na área de metrologia, tendo em vista que a



qualidade e a confiabilidade de um produto dependem, principalmente, da medição, da análise e da padronização que são todas inerentes à metrologia.

O progresso do homem tem sido o passo de acompanhamento de sua habilidade de medir. Isto é mais verdadeiro ainda hoje do que na Antiguidade. A medição é uma linguagem universal, expressa em números e reconhecida em qualquer lugar do mundo com o mesmo significado, transcendendo as barreiras de comunicação lingüística. Onde outras informações precisam ser traduzidas, todas as pessoas em meio industrial hoje reconhecem os mesmos padrões (de comprimento, por exemplo). A expressão em “números de medidas” é universal. A Metrologia é realmente uma linguagem universal. Tem sido assim devido principalmente ao amplo progresso industrial em todo o mundo, mas é tão necessária na ciência pura como na ciência aplicada. Não há como um pesquisador repetir o trabalho de outro sem as medidas específicas. Isso é aplicável em todos os campos das ciências, da astronomia à biologia (CONEJERO, 2009).

Quando se trata do ensino de metrologia os desafios são ainda maiores porque, muitas vezes, o aluno não tem experiência necessária para entender essa importância. Com isso, o professor deve buscar metodologias adequadas para facilitar a aprendizagem dos alunos, visando à interdisciplinaridade de conteúdos diferentes e relacionando os mesmos com a metrologia

O objetivo desse trabalho é mostrar a importância da integração do ensino de metrologia com os processos de fabricação no CEFET-MG-CAMPUS ARAXÁ. Foram realizadas operações de usinagem com máquinas-ferramentas para que as peças servissem de base para as medições previstas. Para efeito de estudo, foi calculada a incerteza de medição Tipo A de peças usinadas por torneamento, fresamento e aplainamento e feita análise da variação da dimensão das peças produzidas pelos equipamentos.

No CEFET-MG-CAMPUS ARAXÁ, antes de qualquer atividade prática de medição, os alunos do Curso de Engenharia de Automação Industrial aprendem os conceitos relativos a todos os instrumentos, bem como as técnicas de medição e conservação desses instrumentos. Os alunos são educados para ter responsabilidade e cuidados com os instrumentos e também são alertados que um instrumento estragado compromete a qualidade da medição.

2 ASPECTOS CONCEITUAIS DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO

A expressão de um resultado de medição ou processo metrológico é considerada incompleta, a não ser que a ele seja associada uma incerteza (U de "Uncertainty"). A incerteza de um resultado de medição é um parâmetro que caracteriza a dispersão dos valores que pode razoavelmente ser atribuída ao mensurando. Ela estabelece a faixa de valores dentro da qual se estima que o valor do mensurando deva estar, com um nível de confiança estabelecido (ABNT, 2003).

A incerteza de medição é portanto, a indicação quantitativa da qualidade dos resultados de medição, sem a qual os mesmos não poderiam ser comparados entre si, com os valores de referência especificados ou com padrão. Ela pode ser expressa em termos de incerteza padrão combinada - $u_c(y)$, ou incerteza expandida - U



É importante que se adote um procedimento único para a determinação da incerteza dos resultados de medição, tendo em vista a necessidade do intercâmbio entre instituições nacionais e internacionais.

Normalmente, um modelo matemático do processo metrológico é utilizado para identificar os fatores que necessitam ser considerados na composição da incerteza e a sua relação com a incerteza total da medida. Em alguns casos os fatores não estão na mesma unidade da resposta, portanto, a incerteza devida a cada fator deverá ser multiplicada por um fator apropriado (coeficiente de sensibilidade), antes de ser combinada com as incertezas de outros fatores (FAROULO & FERNANDES, 2005).

Na avaliação da incerteza total é necessário considerar e incluir, no mínimo, as incertezas provenientes das seguintes fontes:

- Definição incompleta do ensaio; os requisitos não estão claramente descritos, por exemplo, a temperatura de ensaio pode ser dada como "temperatura ambiente".
- Realização imperfeita do procedimento de ensaio; mesmo quando as condições de ensaio são claramente definidas, pode não ser possível reproduzir as condições requeridas.
- Amostragem; a amostra pode não ser totalmente representativa.
- Conhecimento inadequado dos efeitos das condições ambientais no processo de medida, ou medições imperfeitas das condições ambientais.
- Erros de leituras em instrumentos analógicos.
- Resolução do instrumento ou erro na graduação da escala.
- Valores indicados para os padrões de medida ou materiais de referência.
- Mudança nas características ou desempenho do instrumento de medida desde a última calibração.
- Valores de constantes e outros parâmetros utilizados na avaliação de dados.
- Aproximações e suposições incorporadas nos métodos e procedimentos de medida.
- Variações em repetidas observações feitas sob condições aparentemente idênticas. Tal efeito aleatório pode ser causado por:
- Variabilidade do operador.

Portanto, o cálculo da incerteza é complexo. No entanto, apresentaremos o problema, dentro do possível, da forma mais simples possível, não esquecendo de que ele depende do domínio que o laboratório tem sobre o processo metrológico de interesse, bem como de todos os fatores que influenciam na medição.

Na grande maioria dos casos, o mensurando não é medido diretamente, mas sim determinado por "N" outras grandezas de entrada X_1, X_2, \dots, X_N , por meio de uma relação funcional como: $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N)$.

Algumas destas grandezas têm seus valores e incertezas determinadas diretamente durante a medição, dentre elas podemos citar: temperatura ambiente, pressão barométrica, umidade relativa, etc., enquanto que outras, cujos valores e incertezas são trazidos de fontes externas para a medição, como: de padrões, de certificados de



materiais de referência, de certificados de calibração e de dados de referência obtidos em literaturas.

Uma estimativa do mensurando y é obtida da equação acima se utilizando as estimativas das grandezas de entrada x_1, x_2, \dots, x_N . A saída y é tomada como a média aritmética de "n" determinações independentes de y , como também das grandezas de entrada X_i .

A estimativa do desvio padrão associado da saída y , denominada incerteza padrão combinada $u_c(y)$, é obtida a partir dos desvios padrão estimados (incerteza padrão) de cada grandeza de entrada X_i . $u(x_i)$ é a incerteza padrão da grandeza de entrada X_i .

As incertezas padrão de entrada $u(x_i)$ podem ser estimadas de duas maneiras:

- Por meio de uma avaliação Tipo A, baseada num conjunto de observações de X_i , por meio de um tratamento estatístico.
- Por meio de uma avaliação Tipo B, que é feita a partir de um julgamento científico baseado em todas as informações relevantes disponíveis sobre o instrumento e o processo de medição.

Avaliação da Incerteza padrão Tipo A. Quando são executadas medições da grandeza X_i , sob condições de repetibilidade.

$u(x_i) = S(x_i)$ é a estimativa da incerteza padrão Tipo A de uma medição da grandeza X_i .

Como vemos a avaliação da incerteza padrão do tipo A (Aleatória) é feita a partir do desvio padrão do conjunto de dados das medições X_i . Portanto, aqui, o problema resume-se ao cálculo ou estimativa do desvio padrão. A estimativa da incerteza padrão, de caráter aleatório ou tipo A do ensaio como um todo, pode ser realizada de diversas maneiras, dentre as quais, pode-se citar a análise estatística (OLIVIERI, 2009).

3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

A disciplina de Metrologia do Curso de Engenharia de Automação Industrial do CEFET-MG CAMPUS ARAXÁ apresenta a seguinte ementa: "Metrologia no contexto da qualidade. Sistemas internacionais de medidas, instrumentos de medição; tolerâncias e ajustes, controle estatístico das medidas, determinação de incertezas de resultados experimentais, qualificação de instrumentos de medição e de padrões. Confiabilidade metrológica: características dos sistemas de medição. Instrumentos e técnicas de medição de grandezas mecânicas. Aplicação industrial da medição dimensional.

Por isso, A disciplina deverá possibilitar ao estudante:

- Aplicar a metrologia no contexto da qualidade.
- Desenvolver cálculos e conversões no sistema internacional de unidades.
- Executar medições com os principais instrumentos de medição e aplicar as normas de tolerância e ajustes.
- Calcular incertezas de medição.
- Qualificar instrumentos de medição.
- Identificar a aplicação da medição dimensional na indústria.



Nesta seção serão mostrados os equipamentos, as máquinas-ferramentas e instrumentos utilizados durante a pesquisa, bem como os testes de laboratórios que serviram de base para calcular a incerteza de medição Tipo A de peças usinadas por torneamento, fresamento e aplainamento.

Para esse fim foram feitos testes em fresadora, torno e plaina onde os alunos poderão avaliar a qualidade dos trabalhos através de medições utilizando relógios comparadores.

Como a metrologia se aplica em todos os ramos em que é necessário medir, na usinagem, mais especificamente, neste trabalho ela foi aplicada para mostrar aos alunos a importância do cálculo de incerteza de medição e da qualidade do trabalho fornecido por determinado tipo de equipamento.

3.1. Aplicação da metrologia no torneamento

De maneira geral, a qualidade de uma peça produzida por torneamento depende principalmente da máquina, da experiência do torneiro e do controle feita através das medições. Nesse sentido, a metrologia vai contribuir muito à medida que o torneiro obedece às especificações do desenho da peça e faz as medições corretas. A metrologia está presente nesse processo, principalmente, desde a centragem da peça até o acabamento final.

Logicamente, um estudante de engenharia não precisa ter conhecimentos práticos de torneamento, fresamento ou aplainamento, mas de princípios técnico-científicos desses processos, pois quando for executar algum projeto relativo a esses temas poderá discuti-los com a segurança necessária..

No caso das aulas práticas de metrologia no CEFET-MG-CAMPUS ARAXÁ, os alunos formavam grupos acompanhados do professor da disciplina de metrologia, juntamente com um laboratorista que executava o torneamento e explicava o processo de medição das peças. Os alunos anotavam as medidas para análises posteriores.

Nesse caso a interdisciplinaridade de conteúdos é importante porque o professor sendo engenheiro mecânico pode mostrar que o acabamento da peça está relacionado com vários fatores como: tipo de ferramenta, avanço, rigidez da máquina, entre outros.

Mais especificamente nesta etapa do trabalho, foi usinado um eixo de aço ABNT 1002, em balanço, em um torno convencional, conforme a Figura 1.



Fig. 1. Montagem para avaliar a superfície do torneamento.



Após a anotação das medidas do eixo, os alunos anotaram os resultados para analisar a incerteza de medição tipo A, cuja excentricidade do eixo foi medida com um relógio comparador de resolução 0,01 mm.

3.2. Aplicação da metrologia no Fresamento

No fresamento, procurou-se medir a qualidade do trabalho de usinagem pela uniformidade dimensional da superfície da peça pela sua planeza. A planeza da peça foi medida com um relógio comparador de resolução 0,01 mm. A Figura 2 mostra a montagem para medição da planeza da peça na fresadora.



Fig. 2. Montagem para avaliar a superfície do fresamento.

3.3. Aplicação da metrologia no Aplainamento

No teste de aplainamento foi utilizada a mesma metodologia do fresamento, porém o equipamento foi uma plaina limadora, conforme mostra a Figura 3.



Fig. 3. Montagem para avaliar a superfície do aplainamento.



3.4. Resultados Obtidos

Nos testes de laboratório, com cada equipamento foram feitas 10 (dez) medições em cada peça. As posições foram escolhidas aleatoriamente na superfície da peça. A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos no torneamento, fresamento e aplainamento. Conforme citado, a incerteza de medição é a indicação quantitativa da qualidade de um resultado. Ela dá uma resposta à questão: Quão bem o resultado obtido representa o valor da quantidade que está sendo medida? Ela permite que usuários do resultado avaliem sua confiabilidade, por exemplo, para propósitos de comparação de resultados de diferentes procedências ou com valores de referência. Confiança na comparação de resultados pode ajudar a reduzir erros. Para análise, inicialmente, foi utilizada a expressão 1 para calcular o desvio padrão e a expressão 2 para a incerteza padrão Tipo A (ABNT, 2003).

Tabela 1. Resultados obtidos nas variações das medidas (mm)

Testes	Torneamento	Fresamento	Aplainamento
1	0,03	0,49	0,39
2	0,39	0,31	0,78
3	0,16	0,45	0,51
4	0,20	0,05	0,16
5	0,45	0,89	0,90
6	0,23	0,35	0,40
7	0,26	0,09	0,77
8	0,58	0,05	0,29
9	0,37	0,98	0,56
10	0,40	0,67	0,27
Média	0,307	0,433	0,503
Desvio padrão (σ)	0,161	0,333	0,247

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (X_k - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (1)$$

Onde:

- σ é o desvio padrão;
- n é o número teste;
- \bar{X} é media aritmética;
- X_k variável de entrada.

$$u = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

Onde:

u : a incerteza padrão Tipo A



4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A incerteza de medição associada às estimativas de entrada é avaliada de acordo com os métodos de avaliação do Tipo A ou do Tipo B. A avaliação do Tipo A (aleatória) da incerteza padrão é o método de avaliação da incerteza pela análise estatística de uma série de observações. Neste caso, a incerteza padrão é o desvio padrão experimental da média que se obtêm de um procedimento de cálculo da média aritmética ou de uma análise de regressão adequada.

A avaliação do Tipo A da incerteza padrão pode ser aplicada quando tenham sido feitas várias observações independentes para uma das grandezas de entrada sob as mesmas condições de medição. Caso haja suficiente resolução no processo de medição haverá uma dispersão ou espalhamento observável nos valores obtidos.

Neste trabalho, aplicando as expressões 1 e 2 foram encontrados os seguintes resultados para a avaliação do Tipo A da incerteza padrão para o torneamento, fresamento e aplainamento, sendo $n = 10$ que corresponde a dez ensaios, cujos resultados estão mostrados na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados para a avaliação do Tipo A da incerteza padrão

Incerteza Tipo A	Torneamento	Fresamento	Aplainamento
<i>U</i>	$0,307 \pm 0,051$	$0,433 \pm 0,105$	$0,503 \pm 0,078$

Pelos resultados obtidos para a avaliação do Tipo A da incerteza padrão, verificou-se que o torneamento foi processo de usinagem que apresentou menor valor e o aplainamento apresentou o maior valor.

Como o torneamento é um processo de usinagem com remoção de cavaco, onde um sólido cilíndrico bruto é transformado retirando-se cavaco de sua periferia com a finalidade de se obter um objeto cilíndrico com formas definidas, esperava-se uma superfície com melhor precisão. Neste processo a peça gira em torno do eixo principal da máquina e a ferramenta desloca-se numa trajetória no mesmo plano do referido eixo. Esses movimentos podem ter contribuído para melhoria do acabamento

O fresamento consiste em remover cavaco de um material com a finalidade de construir superfícies planas retilíneas ou com uma determinada forma. Em função dos parâmetros de corte utilizados, podem ser encontrados resultados bons ou ruins. Mas neste trabalho não foi o propósito de se fazer a análise desses parâmetros e sim relacionar a metrologia com processos de fabricação. Os resultados mostraram que fresamento foi processo que apresentou maior incerteza, ou seja, houve maior dispersão dos resultados em relação à média. Como a superfície gerada pode apresentar um perfil irregular, durante as leituras com o relógio comparador estas variações bem perceptíveis.

Finalmente, foi observado que aplainamento foi processo de usinagem que apresentou a segunda maior incerteza. Apesar de ter apresentado maior média entre os processos, teve menor dispersão em relação à média. De certa forma esse resultado é bastante coerente com a evolução tecnológica desse equipamento que normalmente não apresenta bom acabamento superficial, quando comparado com o torneamento, por



exemplo. No aplainamento o movimento da ferramenta de corte é de translação enquanto a peça permanece estática, ou vice-versa.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho mostrou a importância da integração do ensino de metrologia com os processos de fabricação no CEFET-MG-CAMPUS ARAXÁ. Com este trabalho foi possível mostrar que a incerteza de medição pode ser utilizada para analisar o desempenho de processos de usinagem como torneamento, fresamento e aplainamento. Através de análise estatística de uma série de observações foi constatado que o torneamento apresentou menor incerteza entre os processos estudados. Com isso, os alunos tiveram oportunidade de conhecer a qualidade de uma medição, aplicando conceitos internacionalmente aceitos.

Conclui-se que a metrologia precisa dialogar tanto com o mundo acadêmico e como com o mundo industrial. Além disso, ela precisa informar ao grande público, que hoje vive numa era cada vez mais tecnológica, não apenas para protegê-lo e orientá-lo, mas para poder contar com seu auxílio na realização das importantes tarefas metrológicas impostas pela sociedade moderna.

A educação metrológica deve-se valer de todos os recursos modernos, dando ao aprendizado e à transmissão de informação uma roupagem também moderna, bastante adequada à sociedade tecnológica em que vivemos.

No caso das aulas práticas de metrologia no CEFET-MG-CAMPUS ARAXÁ, procurou-se aproximar os ensinamentos da metrologia com os processos de fabricação com o intuito de desenvolver práticas pedagógicas que facilitem a aprendizagem dos alunos.

A ampliação dos conhecimentos de metrologia no meio acadêmico deve ser prioridade nas instituições de ensino: técnico e tecnológico porque essa disciplina é o ponto chave para o desenvolvimento do país. Com um ensino de metrologia eficiente podem-se produzir bens e serviços de qualidade.

O diálogo da metrologia com o setor acadêmico, com o setor industrial e com o grande público, tão necessário para o desenvolvimento da metrologia e do País, deve aproveitar a base educacional já construída e valer-se de programas de formação e informação que primem pelo dinamismo e pela capacidade criativa.

Assim, adaptar cursos de formação acadêmica para que tratem de questões metrológicas, aproximar-se do setor industrial com treinamento e informação sobre metrologia, e abordar questões de interesse para o cidadão comum de maneira didática e esclarecedora devem fazer parte de um esforço nacional de educação em metrologia.

6 AGRADECIMENTOS

O autor agradece à Diretoria do CEFET-MG pela oportunidade de participar do COBENGE 2010.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, Guia para a Expressão da Incerteza de Medição, terceira edição brasileira em língua portuguesa- Rio de Janeiro, INMETRO, 2003.

CONEJERO, A. S.. “A importância da metrologia”. Disponível em: <http://www2.desenvolvimento.gov.br/arquivo/publicacoes/sti/indBraOpoDesafios/coleta/nea/Metrologia/Artigo3-AntonioConejero.pdf> . Acesso em: 05 abr. 2009.

FAROULO, L. B.; FERNANDES, J. L. Importância do ensino de metrologia com foco na incerteza de medição, na formação de incerteza. XXXII Congresso Brasileiro do Ensino de Engenharia-COBENGE 2005, Campina Grande, PB, 2005.

OLIVIERI, J. C. Fundamentos teóricos do cálculo de incertezas. Disponível em: <http://jcolivieri.sites.uol.com.br/calincnteoria.htm>. Acesso em: 12. Acesso em: 28 jun. 2009.

TEACHING METROLOGY IN THE COURSE OF INDUSTRIAL AUTOMATION ENGINEERING IN CEFET MG-CAMPUS ARAXÁ

Abstract: *The metrology is focused to provide reliability, credibility, universality and quality measures. As the measurements are present, directly or indirectly, in almost all processes of decision making, the scope of metrology is immense, involving education, research, industry, trade, health and environment, to name a few areas. It is estimated that approximately 4-6% of national PIB of the industrialized countries are dedicated to the measurement processes. This increasing importance of metrology has generated new needs, which now require substantial development of new areas, such as chemical metrology, metrology in health, the implementation of technical improvements in traditional areas like manufacturing processes. Furthermore, every measurement result is only an estimate of true value. This is due to the influence of several factors that interfere in the measurement process, such as variations associated with the measuring instrument, the operator, under ambient conditions, which may affect results. The main purpose of this study is the importance of integrating the teaching of metrology in manufacturing processes in CEFET-MG-CAMPUS ARAXÁ. The experimental results, was calculated measurement uncertainty Type A (random) of workpeace machined by turning, milling and plainning and was the analysis of equipment performance.*

Key-words: *Teaching Metrology, Manufacturing Processes, Measurement Uncertainty Type A.*