

Método para estimar incertezas de medição na avaliação de superfícies de forma livre com uma MMC.

Method for estimating measurement uncertainties in evaluating free-form surfaces with a CMM.

Heriberto do Ouro Lopes Silva, Maria Célia de Oliveira, Paulo Henrique Pereira

Universidade Metodista de Piracicaba

E-mail: heribertolopes@hotmail.com

Resumo: O uso de Máquinas de Medir por Coordenadas (MMC) é predominante na indústria por sua flexibilidade em medir vários tipos de peças. Contudo, no que diz respeito a medições de superfícies de forma livre, a atividade metrológica se torna mais complexa. Este trabalho tem o objetivo de desenvolver um método que permita estimar valores de incertezas de medição para cada ponto medido em uma superfície livre avaliada por meio de uma MMC. Os resultados mostram que o método proposto é adequado e que quanto mais pontos forem coletados na calibração da MMC mais refinado será o valor da incerteza.

Palavras-chave: incerteza de medição, superfícies de forma livre, máquina de medir por coordenadas.

Abstract: The use of Coordinate Measuring Machines (CMM) is prevalent in the industry for their flexibility in measuring various types of parts. However, with regard to free-form surfaces measurements the metrology activity becomes more complex. This paper aims to develop a methodology for estimating measurement uncertainties values for each point measured on a free-form surface evaluated by means of a CMM. The results show that the proposed method is adequate and that the more points are collected in more refined CMM calibration will be the amount of uncertainty.

Keywords: measurement uncertainty; free-form surfaces; coordinate measuring machine.

1. INTRODUÇÃO

O sistema de medição, assim como todo processo, também está sujeito a fatores que influenciam e causam variabilidade nos resultados. Em uma medição qualquer, os resultados contêm erros e incertezas que dificultam a identificação das

variações geométricas da peça fabricada em relação à idealizada no projeto. Por esta razão, ao se avaliar qualquer medição deve-se necessariamente considerar as incertezas envolvidas. As técnicas mais comuns para avaliar incertezas e erros de medição são descritas pelo “Guia para Expressão de Incerteza” (2008),

contudo as propostas para estimar as incertezas de medição quer sejam normativas ou experimentais, quase nunca se aplicam às superfícies de forma livre, pois foram desenvolvidas para avaliar superfícies com geometrias convencionais tais como planos e esferas (FENG, SAAL e SALSBUURY, 2007; BARINI et al., 2010; ISO/TS 15530-3, 2011)

Este trabalho apresenta um método para estimar as incertezas de medição considerando os erros geométricos de uma MMC utilizando dados de uma calibração com base no método proposto por Oliveira (2012). Outras fontes de incerteza como interação do sistema apalpador com a peça ou deformação não foram consideradas (WILHELM, HOCKEN, SCHWENKE, 2001). O método aqui proposto é capaz de estimar valores de incertezas para cada ponto medido em uma superfície de forma livre avaliada por meio de uma MMC.

2. ERROS E INCERTEZAS NA MEDIÇÃO DE SUPERFÍCIES DE FORMA LIVRE POR MEIO DE UMA MMC

As superfícies de forma livre apresentam como característica comum formas geométricas complexas e o fato de não possuírem eixo de rotação e nem movimento de translação (JIANG; SCOTT; WHITEHOUSE, 2007).

As técnicas para estimativa da incerteza de medição que se aplicam a superfícies de forma livre por meio das máquinas de medir por coordenadas (MMC) envolvem aspectos que dependem do alinhamento correto entre o sistema de coordenadas das superfícies com o sistema de coordenadas do sistema de medição, padrões combinados para avaliar as incertezas de diversas características geométricas, modelagem computacional, e outros (LASEMI et al, 2012; KON et al, 2009)

3. DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO

O método proposto é dividido em três etapas.

3.1. Etapa 1- Desenvolvimento do experimento

Esta etapa consiste no experimento de calibração da MMC por meio de um sistema laser que captura as coordenadas da máquina em diferentes pontos. O volume calibrado está localizado no centro do volume de trabalho da MMC por este representar a posição onde frequentemente são medidas as peças. Este volume calibrado é formado por meio de três planos paralelos a seus eixos, XY, XZ e YZ. Cruzando esses planos é gerado uma malha cúbica de pontos conforme ilustra a figura 1.

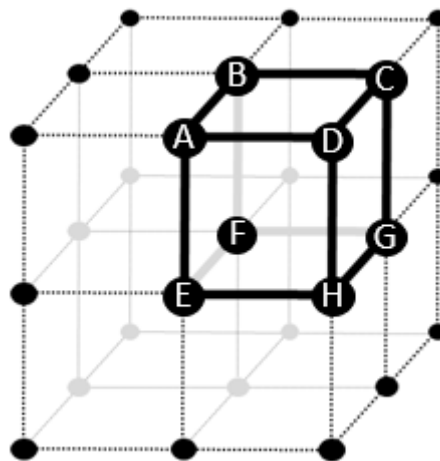


Figura 1- Malha cúbica dos pontos calibrados.

A figura 1 ilustra apenas 27 pontos, porém ao todo são 125 pontos espaçados igualmente por 60 mm cada. Os pontos calibrados, também podem ser interpretados como arestas de um cubo como destacado na figura 1.

Durante o experimento o ambiente de medição foi mantido com temperatura constante de $20 \pm 1^\circ\text{C}$. O tempo esperado para estabilizar esta condição foi de aproximadamente 12 horas. O sistema laser utilizado possui compensação das influências de pressão, temperatura e umidade. Para compensar os erros de reticidade causados por erros geométricos da máquina, foi realizado outro

experimento para estimar um fator de correção (SILVA, 2015).

3.2. Etapa 2 – Modelo matemático proposto para cálculo de incerteza

Os dados coletados no experimento da etapa 1 são utilizados no modelo matemático proposto nesta etapa. O modelo foi desenvolvido para ser válido independentemente dos parâmetros definidos no experimento como, por exemplo, o volume calibrado, quantidade de pontos e amostragem.

Já foi ilustrado que a nuvem de pontos calibrados pode ser representada por cubos e que os pontos calibrados são representados pelas arestas dos cubos. Ao todo, o volume calibrado da MMC soma 64 cubos. Os cálculos permitem estimar um valor de incerteza para cada cubo. Este valor é considerado válido para qualquer ponto dentro do cubo.

O modelo matemático proposto considera sempre os oito pontos da malha cúbica mais próximos do ponto medido (representados na figura 1 como vértices A-H) para estimar os erros e as incertezas. Nesse sentido, o ponto medido sempre estará dentro de um cubo de 60x60x60 mm conforme cubo destacado na figura 1. A expressão que representa a incerteza para um cubo qualquer será:

$$U_{\bar{\epsilon}} = \sqrt{U_{\bar{\epsilon}_X}^2 + U_{\bar{\epsilon}_Y}^2 + U_{\bar{\epsilon}_Z}^2}$$

A equação é uma função convencional usada para estimar a incerteza combinada. Neste caso, as incertezas foram calculadas para cada um dos sentidos preferenciais, X, Y e Z. Por exemplo, $U_{\bar{\epsilon}_X}$ representa a incerteza calculada para o eixo X. A incerteza $U_{\bar{\epsilon}}$ é o valor de incerteza válido para cada cubo formado pelos pontos calibrados.

3.3. Etapa 3 – Aplicação do método proposto

Para aplicar o modelo matemático proposto gerou-se uma rotina no software R que permite avaliar os pontos medidos e fornecer os valores de incerteza.

Primeiramente, a peça medida tem de estar dentro da malha cúbica. Para cada ponto medido é identificado em que cubo ele pertence e então considerando os vértices desse cubo é estimado o valor de incerteza.

4. RESULTADOS

Analisando os dados da calibração foi possível também constatar o comportamento diferente da máquina dependendo da região onde se trabalha conforme figura 3.

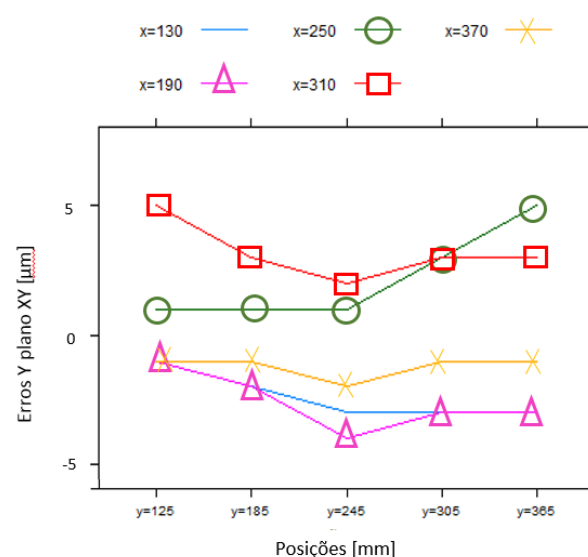


Figura 2 – Erros do eixo Y calibrados no plano XY.

A figura 3 ilustra a variação de 5 medições do eixo Y no plano XY. As medidas das extremidades são mais dispersas do que as medidas do centro. Essa característica de dispersão menor no centro da máquina foi confirmada em todas as medições.

Os valores de incerteza dos 64 cubos variaram entre 3,5 µm e 3,9 µm, indicando que o comportamento da máquina é diferente dependendo da região onde se trabalha.

Considerando que existem métodos desenvolvidos para avaliar e determinar a incerteza de medição em superfícies de forma livre por meio de MMC, o método proposto vem a contribuir para fornecer um valor de incerteza mais refinado, considerando o comportamento da MMC próximo ao ponto

desejado, ao invés de uma incerteza resultante de uma avaliação de todo o volume de medição. Desse modo foi possível obter valores diferentes de incerteza para cada região (para cada cubo) de trabalho dentro do subvolume da área de trabalho da MMC.

5. CONCLUSÃO

A aplicação do modelo proposto é mais indicado para medições de peças que exigem tolerâncias apertadas, onde é desejável maior confiança das medições. Em situações em que o valor medido se aproxima das tolerâncias, é vital conhecer o comportamento da máquina na região da medição realizada para saber a variação do valor medido. Por exemplo, uma medição com valor de 28 μm e tolerância máxima de 30 μm pode ser comprometedor se a incerteza for de 3,9 μm . Neste exemplo o valor medido pode chegar até 31,9 μm , resultando 1,9 μm além da tolerância.

Outra aplicação do método proposto é indicada para MMCs de grande porte, pois seu comportamento pode ser mais instável em determinadas regiões dentro do volume de trabalho do equipamento, principalmente nas extremidades da máquina.

REFERÊNCIAS

BARINI, E. M.; TOSELLO, G.; De CHIFFRE, L. Uncertainty Analysis of Point-by-Point Sampling Complex Surface Using Touch Probe CMMs: DOE for Complex Surfaces Verification with CMM. *Precision Engineering*. Vol. 34, pp. 16-21. 2010.

FENG, C. X. J.; SAAL, A. L.; SALSURY, J. G. Design and Analysis of Experiment in CMM Measurement Uncertainty Study. *Precision Engineering*. Vol. 31, pp. 94 – 101. 2007.

ISO DTS/15530-2:2011. Geometrical Product Specifications (GPS) Coordinate Measuring machines (CMMs). Techniques for Evaluation of

the Uncertainty of Measurement. Part 2: Use of Multiple Measurement Strategies. Geneva: International Organization for Standardization. p. 18. 2011.

JIANG, X.; SCOTT, P.; WHITEHOUSE, D. Freeform Surface Characterization - A Fresh Strategy. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, v. 56, n. 1, pp. 553–556. 2007.

KONG, L. B.; CHEUNG, C. F.; TO, S. et al. An Investigation into Surfaces Generation in Ultra-Precision Raster Milling. *Journal of Material Processing Technology*. Vol. 209, pp. 4178-4185. 2009.

LASEMI, ALI; XUE, DEYI; GU, PEIHUA. A Freeform Surface Manufacturing Approach by Integration of Inspection and Tool Path Generation. *International Journal of Production Research*. 2012.

OLIVEIRA, M. C. Modelo Decisório para Avaliar a Qualidade Geométrica e Dimensional de Superfícies de Forma Livre. Tese de Doutorado. Universidade Metodista de Piracicaba - UNIMEP, Santa Bárbara d'Oeste, 2012.

SILVA, Heriberto O. L. Proposta de um Método para Estimar a Incerteza de Medição na Avaliação de Superfícies de Forma Livre por meio de uma MMC. Dissertação de Mestrado. Universidade Metodista de Piracicaba - UNIMEP, Santa Bárbara d'Oeste, 2015.

WILHELM, R.G.; HOCKEN, R.; SCHWENKE, H. Task Specific Uncertainty in Coordinate Measurement, *Annals of CIRP*, p.553, Keynote Papers Volume 2, 2001.