



21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

MEDIÇÃO SEM CONTATO: EXEMPLO DE APLICAÇÃO DE UMA MAQUINA DE MEDIÇÃO POR COORDENADAS COM SENSOR DE CÂMERA

Joab Sobreira de Andrade, joab.andrade@ifpb.edu.br^{1,2}

Marlio Antônio da Silva, marlio.antonio@live.com²

José Carlos de Lima Júnior, limajr@ct.ufpb.br²

João Bosco de Aquino Silva, jbosco@ct.ufpb.br²

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Rua José Antônio da Silva, 300, Jardim Oásis Cajazeiras – PB, CEP: 58900-000,

²Universidade Federal da Paraíba, Laboratório de Engenharia de Precisão (LEP), Cidade Universitária - João Pessoa - PB – Brasil, CEP: 58051-900,

Resumo: Os sistemas de medição desempenham um importante papel nos processos produtivos atuais, principalmente nas indústrias que utilizam os processos de manufatura. O controle metrológico satisfatório contribui para uma produção mais eficiente, economizando recursos e tornando a empresa mais competitiva, todavia, as exigências atuais quanto ao tempo de fabricação e a qualidade dos produtos necessitam de sistemas de medição mais confiáveis, rápidos e seguros, o que motiva o estudo e desenvolvimento de sistemas de medição que atendam essa crescente demanda. Neste contexto, este artigo versa sobre o estudo e pesquisa na área de metrologia óptico-eletrônica, utilizando sensor de câmera, explorando sua capacidade. Para tanto, exibe-se um exemplo prático da utilização da medição sem contato, utilizando máquina de medição por coordenadas multisensor em conjunto com um sensor de câmera para determinar os diâmetros de microfuros presentes em bicos injetores de combustível.

Palavras-chave: medição sem contato, máquina de medição por coordenadas, sensor de câmera

1. INTRODUÇÃO

Técnicas de sensoriamento óptico aplicado à metrologia tem sido investigadas durante as últimas décadas, sendo utilizadas em diferentes aplicações tanto em laboratórios como na indústria (Takesa et. al, 1984; Huser-Teuchert et. al, 1994). As técnicas ópticas são caracterizadas por apresentarem maior velocidade de medição comparada às medições de contato e são extremamente indicados para o uso em aplicações industriais, de forma integrada à produção.

Segundo De Chiffre e Hansen (1995), muitos parâmetros influenciam os resultados de medição quando se utiliza um sistema de medição óptico. Dentre estes parâmetros merecem atenção especial: o sensor, o sistema óptico, iluminação, peça a ser mensurada, plano de fundo e sistema mecânico.

Recentemente, com o aumento da demanda por metrologia por coordenadas utilizando medição sem contato, sensores de câmera têm ganhado popularidade em relação ao convencional sensor de contato com esfera, utilizado desde os primórdios do advento das Máquinas de Medição por Coordenadas (MMC's). Sensores que captam imagens são de fato uma combinação optico-eletrônico de microscópio com visão de computador capaz de prover diversas vantagens: múltiplos pontos dentro de um determinado campo de visão podem ser reunidos rapidamente e objetos de pequeno porte, apresentando formas complicadas, podem ser tratadas de forma eficiente. No entanto, trabalhos suficientes ainda não foram realizados para compreender as capacidades de medição de sensores de câmera, assim, uma grande quantidade de erros de interpretação surge na avaliação de suas performances de medição (Seung-Woo, 1996).

Mersmann (2011) implementou um sistema de visão de máquina para controle do processo de produção de estruturas têxteis, contribuindo para uma produção industrializada, aumentando a capacidade do processo, com custos mais baixos e por último mas não menos importante, fornecendo variáveis de controle para a automação viável. O benefício da integração de um sistema de sensoriamento com base no processamento de imagem em relação à redução de custos pode ser calculado combinando o "valor da informação" que se pode conseguir através de imagens, e uma abordagem de engenharia de controle. A descrição quantitativa permite cálculos de investimento de uso da metrologia como um benefício para a industrialização da produção de compósitos e diversos outros materiais da indústria de manufatura.

Yamanaka *et al.* (2013), trataram da tarefa de medição de geometrias complexas em bicos injetores de combustível de multiponto usando máquinas de medir por coordenadas multisensor. Em seu trabalho foi discutido acerca das necessidades dimensionais de engenharia relacionadas a tais geometrias, a dificuldade na medição e inspeção dimensional, e os resultados experimentais encontrados foram discutidos sob o ponto de vista metroológico. Atenção especial foi dada ao setup da medição e sua rastreabilidade ao Sistema Internacional (SI).

Este artigo não visa esgotar todo o assunto acerca de visão de máquina, mas sim, apresentar um exemplo prático de sua utilização, enfatizando sua importância para a metrologia.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste artigo, será mostrado um exemplo prático da utilização de uma máquina de medição por coordenadas (MMC) em conjunto com sensor de câmera denominado QVP (*Quick Vision Probe*). Este sistema de medição será utilizado para medir os diâmetros característicos de um bico injetor utilizado em motores de combustão interna.

2.1. Máquina de Medir por Coordenadas CNC

A CRYSTA-Apex S é uma máquina de medir por coordenadas (MMC) CNC de alta exatidão que garante um erro máximo igual a $1,7+3L/1000 \mu\text{m}$, onde L representa o maior comprimento da mesa de desempenho. Esta máquina oferece velocidade e aceleração máximas, resultando em um aumento de quase 100 mm da distância de percurso em um segundo, quando comparada a máquinas de medir por coordenadas CNC para uso geral. Com isso, é possível produzir medições muito mais rápidas. Combinando alta velocidade e alta aceleração, a CRYSTA-Apex S reduz consideravelmente o tempo de medição. E isto se torna mais relevante ainda a medida que se aumenta o número de pontos de medição (MITUTOYO, 2016).

A CRYSTA-Apex S apresenta um sistema de compensação de temperatura, garantindo exatidão nas medições em condições de temperatura que variam de 16°C a 26°C. Várias estruturas são empregadas nesta máquina de modo a aumentar sua estabilidade, minimizar os efeitos de vibração e desgaste, mesmo nas condições máximas de funcionamento (MITUTOYO, 2016).

2.2. Sensor QVP

O sensor QVP (*Quick Vision Probe*) é um sensor baseado em câmera do tipo CCD (*Charge-Coupled Device*) com o qual é possível coletar imagens de peças e objetos manufaturados e ampliá-las. E através desta imagem ampliada é possível realizar a detecção de bordas e consequente medição por tratamento de imagem. Este equipamento é muito útil para medir produtos que apresentam componentes fabricados na escala micrométrica, impossíveis de serem medidos por sensores de contato ou para a inspeção de peças ou componentes sensíveis e leves, que não podem ser submetidos a grandes esforços de medição (MITUTOYO, 2016).

2.3. Bico Injetor

Os bicos de injeção de combustível e resfriadores de turbinas a gás são exemplos de peças que requerem novas abordagens para que sejam medidas suas características e avaliados seus parâmetros funcionais uma vez que estes equipamentos apresentam partes de dimensões micrométricas, como é o caso de microfuros existentes em sua estrutura. A combinação da medição óptica com a medição tátil em uma mesma máquina ou em um mesmo sensor tem sido estudado na literatura (Muralikrishnan et al., 2010; Schwenke et al., 2001).

O objeto de estudo ou mensurando trata-se de um bico de injeção de combustível utilizado em motores de combustão interna. Este equipamento é dotado de pequenos furos, responsáveis pelo fluxo de combustível para o interior da câmara de combustão dos motores, os quais apresentam dimensões em escala micrométrica. Todavia, a medição do diâmetro de tais furos é impraticável através do sensoramento por contato. Portanto, a medição por câmera torna-se crucial e indispensável neste tipo de inspeção.

Estudos recentes mostram que é necessário ou o seccionamento da peça a ser analisada ao longo de seu eixo, ou moldando as geometrias dos bicos para posteriores medições ópticas para avaliar quantitativamente as geometrias de injetores de combustível (Jung et al., 2008; Diver et al., 2004). Nestes casos, no entanto, as informações conseguidas são limitadas acerca das condições de forma e dimensional da peça. No caso de microfuros de injetores de combustível, pesquisas têm considerado o uso de micros sensores tátil-ópticos para sua avaliação dimensional (Kao et al., 2007).

A Fig. 1 exibe o bico injetor utilizado para mensuração do diâmetro de seus furos. É possível observar através desta figura os quatro microfuros do bico injetor a serem medidos.



Figura 1. Bico injetor submetido à medição.

2.4. Procedimento de Medição

O bico injetor foi devidamente posicionado na máquina de medir por coordenadas CNC multisensor. Inicialmente, o sensor de contato (*Touch Trigger*) foi utilizado para determinar o plano de referência para as medições dos diâmetros dos furos do bico injetor. Para tal, quatro pontos foram medidos sobre uma superfície qualquer do bico injetor, medidas estas tomadas a uma altura fixa, configurando que os pontos foram medidos em um determinado plano. Feito isso, o sensor QVP é então selecionado e posicionado semiautomaticamente sobre a peça a ser medida. Realiza-se então um ajuste da distância focal, inicialmente semiautomaticamente através de um *joystick* e posteriormente, realiza-se o *auto-focus*, função do sistema de medição responsável pelo ajuste do foco da imagem de forma automática. É possível ainda, posteriori, ajustar o brilho e a iluminação a fim de ter melhores resultados de imagem.

A Fig.2 mostra o bico injetor sendo inspecionado utilizando a máquina de medição por coordenadas em conjunto com o sensor QVP.

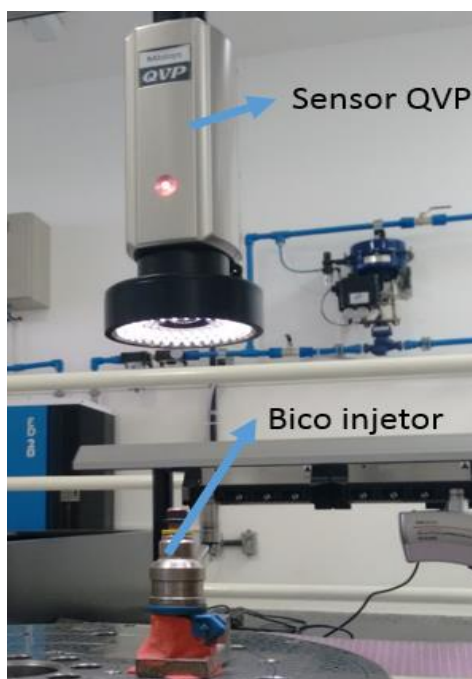


Figura 2. Conjunto MMC e sensor QVP sendo utilizados para medir o diâmetro dos microfuros do bico injetor.

A Figura. 3 mostra a imagem ampliada pela câmera ou sensor QVP dos furos do bico injetor que foram mostrados na Fig. 1. É através desta imagem que é possível reconhecer as bordas dos microfuros e conseqüentemente determinar seus diâmetros. O *Vision Pack* é o software responsável pelo processamento e análise de dados. O mesmo reconhece pontos sobre as bordas reconhecidas e realiza uma interpolação pela qual é possível estimar, com grande exatidão, a dimensão pretendida.

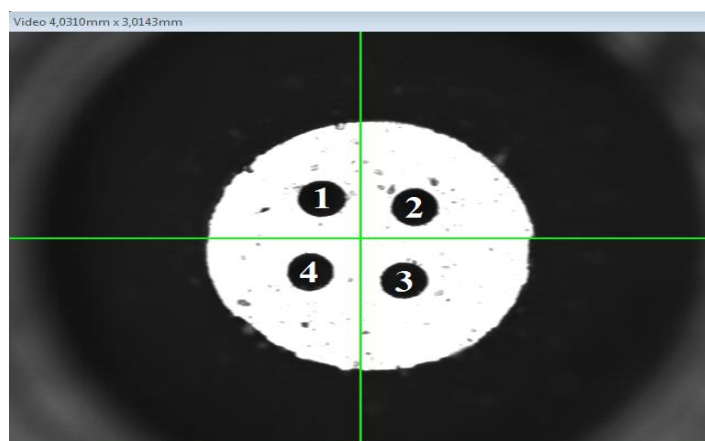


Figura 3. Imagem dos microfuros ampliada pelo sensor QVP.

3. RESULTADOSE DISCUSSÃO

Os microfuros de um bico injetor de combustível utilizado em motores de combustão interna foram submetidos a análise metrológica a fim de determinar seus diâmetros. A Fig. 3 mostrada na seção anterior mostra tais microfuros enumerados, de 1 a 4, para facilitar a exibição dos resultados. Cada microfuro foi medido separadamente e na sequência de 1 para 4. Os resultados para os diâmetros destes furos constam na Tab. 1, mostrada logo a seguir.

Tabela 1. Resultados experimentais para os diâmetros dos microfuros do bico injetor.

Microfuro	Coordenada-X	Coordenada-Y	Coordenada-Z	Diâmetro (mm)	Variância (mm)
1	302.3914	241.9713	0.0000	0.2698	0.0157
2	302.9240	241.9014	0.0000	0.2707	0.0092
3	302.8534	241.3659	0.0000	0.2677	0.0264
4	302.3161	241.4360	0.0000	0.2694	0.0117

Devido magnitude da geometria estudada, percebe-se que os microfuros são impossibilitados de serem inspecionados pelo sensor de contato, visto que seus diâmetros são menores que o diâmetro da esfera do sensor. Além disso, a medição com o sensor de câmera efetua uma coleta de muitos pontos rapidamente, o que justifica também o uso deste tipo de sensor no controle de qualidade no setor industrial. Entretanto, parâmetros como iluminação, sistema ótico, plano de fundo, sensor, sistema mecânico e a própria peça a ser mensurada, precisam ser observados por afetarem os resultados apresentados pelo sensor de câmera.

4. CONCLUSÕES

A utilização da medição sem contato vem se tornando cada vez mais intensa por parte da indústria. Tal característica se dá devido à crescente demanda por tolerâncias cada vez mais apertadas e pela miniaturização de peças e componentes manufaturados, na chamada engenharia de precisão.

Componentes como os bicos injetores de combustível apresentam dimensões em escala micrométrica, cuja inspeção dimensional e de forma demandam o uso da medição sem contato. Neste trabalho, o diâmetro de microfuros de quatro bicos injetores foram determinados utilizando um sensor de câmera acoplado a uma MMC de alta exatidão. Os resultados foram conseguidos de forma rápida e relativamente fácil, enfatizando o seu poder de utilidade prática. Vale ressaltar que as dimensões pretendidas eram de escala micrométrica, situação esta que impossibilitava o uso da medição com sensor de contato.

5. REFERÊNCIAS

- De Chiffre, L., Hansen, H. N.; 1995, Metrologica I Limitations of Optica I Probing Techniques for Dimensional Measurements L. Institute of Manufacturing Engineering, Technincal University of Denmark, received on January 10.
- Diver, C., Atkinson, J., Helm, H. J., Li, L., “Micro-EDM drilling of tapered holes for industrial applications”, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 149, Nos. 1-3, pp. 296–303, 2004.
- Jung , D., Wang, W. L., Knafl, A., Jacobs, T. J., Jack Hu, S., Assanis, D. N. “Experimental investigation of the abrasive flow machining effects on injector nozzle geometries, engine performance, and emissions in a DI diesel engine”, International Journal of Automotive Technology, Vol. 9, No. 1, pp 9-15, 2008.

- Kao, C-C., Shih, A. J., "Form measurements of micro-holes", Measurement Science and Technology, Vol. 18, pp. 3603-3611, 2007.
- Mersmann, C.; 2011, Industrializing metrology—Machine vision integration in composites production. CIRP Annals - Manufacturing Technology. vol. 60, pp 511–514.
- Mitutoyo, 2016 "Máquinas de medir por coordenadas. Série CRYSTA-Apex S" <http://www.mitutoyo.com.br/site/download/02folhetos/01%20Coordenadas/E16004_CRYSTA_APEXS_ATUALIZADO.pdf>.
- Muralikrishnan, B., Stone, J., Stoup, J., Sahay, C., "Micro-feature dimensional and form measurements with the NIST fiber probe on a CMM", Cal Lab: International Journal of Metrology, pp. 25-30, July/Aug/Sept, 2010.
- Schwenke, H., Härtig, F., Wendt, K., Wäldele, F., "Future challenges in co-ordinate metrology: addressing metrological problems for very small and very large parts", Proceedings of the IDW, pp 1-12, Knoxville, USA, 2001.
- Seung-Woo, K.; 1996, Measurement Uncertainty Limit of a Video Probe in Coordinate Metrology. Department of Mechanical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, received on January 9
- Takesa, K., Sato, H., Tani, y., 1984, Measurement of Diameter Using Charge Coupled Device (CCD). Annals of the CIRP, Vol. 33/1, p.377- 381.
- Yamanaka, D. M., Silva, D. C. B., Baldo, C. R., 2013. "Medição de Geometrias Complexas Usando Microsensores em Máquinas de Medição Por Coordenadas". ENQUALAB-2013 - Congresso da Qualidade em Metrologia.

6. RESPONSABILIDADE AUTURAL

"Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho".

NON-CONTACT MEASUREMENT: APPLICATION EXAMPLE OF A COORDINATE MEASURING MACHINE WITH A CAMERA SENSOR

Joab Sobreira de Andrade, joab.andrade@ifpb.edu.br^{1,2}

Marlio Antônio da Silva, marlio.antonio@live.com²

José Carlos de Lima Júnior, limajr@ct.ufpb.br²

João Bosco de Aquino Silva, jbosco@ct.ufpb.br²

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Rua José Antônio da Silva, 300, Jardim Oásis Cajazeiras – PB, CEP: 58900-000,

²Universidade Federal da Paraíba, Laboratório de Engenharia de Precisão (LEP), Cidade Universitária - João Pessoa - PB – Brasil, CEP: 58051-900,

Abstract. *The measuring systems play an important role in production processes in current days, especially in industries that use manufacturing processes. The satisfactory metrological control system contributes to a more efficient production, saving resources and making the company more competitive, however, the current demand on manufacturing time and product quality requires more reliable measuring systems, fast and safe, which motivates the study and development of measuring systems that fulfill the growing demand. In this context, this paper focuses about the study and research in optic-electronic metrology area, using the camera sensor, exploiting its capacity. To do so, it is shown a practical example of using non-contact measurement, using the multisensor coordinate measuring machine in conjunction with a camera sensor to determine the microholes' diameters present in fuel injection nozzle.*

Keywords: *non-contact measurement, coordinate measuring machine, camera sensor*