

APLICAÇÃO DA VISÃO DE MÁQUINA: UMA ABORDAGEM EM BICOS INJETORES DE COMBUSTÍVEL COM O USO DE UMA MÁQUINA DE MEDIÇÃO POR COORDENADAS

Marlio Antonio da Silva, marlio.antonio@live.com¹

Joab Sobreira de Andrade, engjoab@hotmail.com¹

Manoel Fideles Filho, fidelesjp@hotmail.com¹

José Carlos Lima Júnior, limajrcarlos@hotmail.com¹

João Bosco deAquino Silva, jbosco@ct.ufpb.br¹

¹Universidade Federal da Paraíba – CT – UFPB – Campus I, CEP:58059-900 – João Pessoa.

Resumo: É evidente que com o crescente avanço da indústria manufatureira exista a necessidade de um controle de qualidade eficiente, que atenda essa demanda produzida dentro de um espaço de tempo cada vez mais curto. Em função disto, as Máquinas de Medição por Coordenadas (MMC) são amplamente empregadas para inspeção de diversos componentes na indústria atual, pois além de contarem com o Comando Numérico Computacional (CNC) - o que torna o processo de medição muito mais rápido do que os métodos convencionais - podem ainda medir inúmeras geometrias, uma vez que dispõem de diversos sensores que são adequados para várias situações, por conseguinte, dificilmente haverá uma configuração que a MMC não possa medir. As medições efetuadas por uma MMC podem ser divididas em dois grandes grupos: as medições por contato e as medições sem contato. As medições por contato utilizam o sensor de toque, conhecido como apalpador, que coleta pontos coordenados na peça medida com a deflexão do sensor quando houver o toque. As medições sem contato podem ser realizadas com o sensor laser ou uma câmera digital. O presente artigo tem como objetivo apresentar algumas aplicações de medições sem contato com a utilização de uma MMC, que incorpora uma câmera CCD (Charge-Coupled Device), em bicos injetores de combustível, pois estes componentes apresentam microfuros que não poderiam ser medido com um sensor de toque convencional.

Palavras-chave: medição sem contato, máquina de medição por coordenadas, bico injetor de combustível

1. INTRODUÇÃO

As Máquinas de Medição por Coordenadas (MMC) se tornaram essenciais para inspeção geométrica na indústria atual, devido a sua versatilidade e eficiência em diversas aplicações. Esses equipamentos são capazes de detectar pontos no espaço tridimensional, o que confere maior velocidade de medição, em comparação com a utilização de instrumentos convencionais, além da realização de tarefas complexas. As MMCs podem comportar diversos sensores com os quais as medições são realizadas, sendo classificados em sensores para medição com contato e sensores para medição sem contato.

Os sensores para medição com contato geralmente são constituídos de uma ou mais hastes, em que a sua extremidade livre é coberta por um material de alta rigidez e resistência ao desgaste – por exemplo, esferas de rubi -, que por sua vez, é a região em que ocorre o contato do sensor com o objeto de trabalho. Na ocorrência do toque entre o sensor e o objeto, uma força denominada Força de Contato, promove a deflexão da haste do sensor, que faz com que seja gerado um sinal elétrico (devido as seus componentes internos), que é então enviado ao *software* da MMC e registrado como uma coordenada. Esses sensores são recomendados para medições tridimensionais de peças prismáticas e de geometrias bem definidas, como mostrado por Giniotis e Hope (2014), porém encontram algumas limitações na medição de componentes de geometrias complexas ou características de pequena magnitude, tais que sejam suficientes para impedir o acesso da extremidade do sensor, ou ainda em componentes que possam ser deformados com a aplicação da força de contato (Silva, 2017).

Com o propósito de atender as limitações que os sensores para medição com contato apresentam, os sensores para medição sem contato foram criados. Os mais comuns utilizados atualmente são os sensores *laser* e o sensor câmera. O sensor *laser* é indicado para medição de superfícies complexas, onde diversos pontos são captados sobre um plano do objeto de trabalho e então sua superfície é reproduzida através do *software* da MMC. Já o sensor câmera consiste na instalação de uma câmera de exatidão em um dos eixos da MMC, que captura a imagem e os seus dados são processados através do *software* de medição, podendo assim realizar as inspeções das características de interesse (Hocken; Pereira, 2012).

O emprego do sensor câmera em medições tridimensionais se justifica na inspeção de componentes de pequenas geometrias e complexas (Seung-Woo, 1996). Atualmente, os sensores de processamento de imagens mais utilizados em câmeras digitais são os sensores CCD (Charge-Coupled Device) e os sensores CMOS (Complementary Metal Oxide

Semiconductor), que segundo De Chiffre e Hansen (1995), estão sujeitos a influências exercidas pela iluminação ambiente, pelo sistema óptico que compreende esses sensores, o objeto de trabalho, o plano de fundo e pelo sistema de mecânico do dispositivo de medição. No entanto, Hocken e Pereira destaca que a principal vantagem do uso do sensor CCD em relação ao CMOS é devido a sua alta qualidade metrológica, visto que os sensores CCD são mais sensíveis à iluminação, e essa relação linear entre o sinal luminoso de entrada e o sinal digital de saída é de grande importância para realização de medições de forma satisfatória.

Vale destacar ainda a importância do *software* de medição, onde através dos quais são estabelecidas algumas funções da MMC, como rotinas de medição, promovendo diversas repetições de forma automática, como também o ajuste das configurações desses equipamentos, tais como condições de iluminação e focalização para medições com uso da câmera CCD, juntamente com o registro e os cálculos das tarefas realizadas.

Diante disso, o presente artigo oferece a exposição da utilização de um sistema de medição por imagem, com a utilização de uma câmera CCD para medição de geometrias na escala micrométrica.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Com a utilização a MMC disposta de uma câmera de vídeo, foram realizadas as medições dos diâmetros dos furos de um bico injetor de combustível utilizado em carro de passeio. A descrição de seus parâmetros técnicos, assim como o do sensor utilizado e o componente medido são apresentados a seguir.

2.1. A Máquina de Medição por Coordenadas

Classificado como um modelo de alto desempenho, a MITUTYO Crysta-Apex S 7106, que foi utilizado para a medição no corrente artigo, dispõe de três eixos coordenados de medição, que movem-se ao longo da mesa metrológica, sobre um colchão de ar providos pelas guias aerostáticas. O alcance máximo de seus eixos são 700 mm para o eixo X, 1000 mm para eixo Y e 600 mm para o eixo Z, o que possibilita a medição de peças de diversos tamanhos, além de apresentar resolução de 0,0001 mm e máxima velocidade de medição de 8 mm/s, conferindo rápida execução das tarefas metrológicas com alta exatidão em seus resultados. O modelo da MMC utilizada é apresentado na Fig (1):

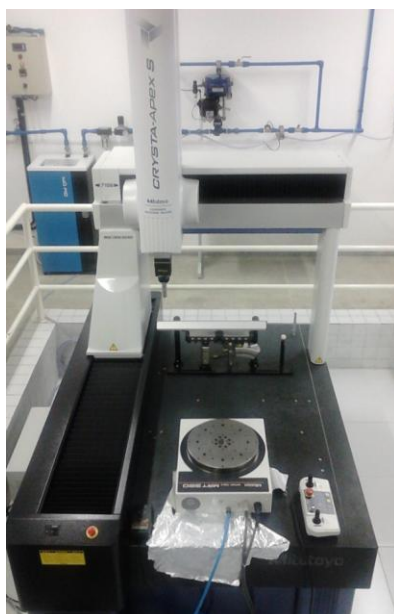


Figura 1. Máquina de Medição por Coordenadas

A MMC Crysta-Apex S 7106 opera por CNC, o que implica que todos os movimentos realizados por esse equipamento podem ser controlados por um computador, realizando rotinas de medição. Os ciclos de medição seguem um programa que os torna como padrões, podendo ser repetidos por inúmeras vezes, e a criação dessas rotinas de medições programadas, torna a MMC um equipamento muito poderoso na inspeção de peças em larga escala, pois consegue fazer com que sua operação seja muito mais rápida do que quando movimentada manualmente por um operador (Walker *et al* 2012).

2.2. A câmera CCD (*Quick Vision Probe*)

O cabeçote de medição MITUTOYO QVP (*Quick Vision Probe*) é um modelo especificamente projetado para operação em máquinas de medição por coordenadas. Consiste de uma câmera de vídeo CCD, que dispõe de duas fontes de iluminação compostas de lâmpadas LED, a saber, a iluminação por anel e coaxial, que são distribuídas na estrutura da câmera. A iluminação por anel proporciona um feixe de luz em ângulo sobre a superfície da peça a ser medida, de modo que características como pequenas fissuras e áreas com alta rugosidade sejam atenuadas, diminuindo o ruído excessivo sobre a imagem projetada. Já a iluminação coaxial consiste na emissão de um feixe de luz diretamente incidido sobre a superfície do objeto de trabalho através das lentes da câmera de vídeo, evidenciando características superficiais da peça. O sensor QVP pode ser visto na Fig (2):

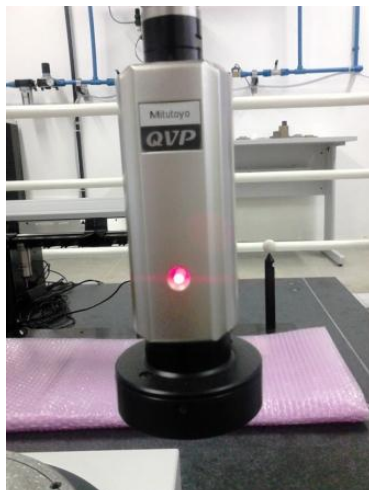


Figura 2. Câmera CCD *Quick Vision Probe*

A utilização do QVP com as lentes de ampliação ML3× (*Magnification Lens*) que foram empregadas neste artigo proporcionam um campo de visão que compreende uma área de 3,2×4,3 mm sobre a superfície do objeto de estudo. O controle do nível de iluminação e focalização das medições com a utilização do QVP são realizados através do *software* VISIONPAK, a qual a MMC dispõe.

2.3. O *software* VISIONPAK

O programa computacional VISIONPAK dispõe de uma vasta variedade de funções, que compreendem as ferramentas de medição, as ferramentas de ajuste de iluminação e focalização. As arestas presentes na imagem são detectadas pelo *software* através da brusca variação da intensidade de luz entre a característica medida e a superfície adjacente.

As ferramentas de medição são selecionadas pelo operador de acordo com a geometria a que se deseja medir, onde em cada delas é gerada uma ou mais linhas de varredura, que quando interceptam uma aresta, um ponto é capturado e registrado pelo *software* que o define como uma coordenada. Vários tipos de bordas podem ser determinados com a ferramenta de medição adequada, como determinação de um único ponto, de uma linha reta, de círculo ou ainda de uma forma de linha qualquer, utilizada para medição de geometrias complexas.

De acordo com Cho (2005), o controle da iluminação é crucial para medição por imagem, pois o ajuste adequado promove uma melhoria na exatidão e confiabilidade dos seus resultados, além de conferir menores intervalos de tempo para processamento da imagem. Diante disso, o ajuste correto da iluminação deve ser feito através do VISIONPAK, com a movimentação do cursor correspondente à fonte de iluminação, com incrementos de 1%, como pode ser observado na Fig (3):

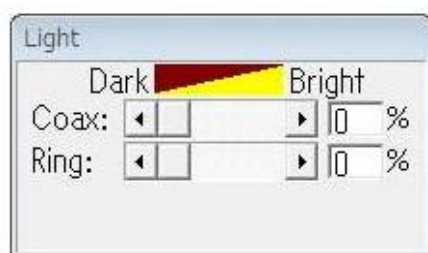


Figura 3. Janela de iluminação do VISIONPAK. Fonte: Mitutoyo (2010)

As imagens capturadas pelo QVP podem ser focalizadas através das ferramentas de foco pelo nível de contraste ou pelo foco automático. Essa última merece destaque, pois faz com que a imagem seja rapidamente focalizada através dos parâmetros configurados no VISIONPAK, eliminando a influência do operador sobre essa tarefa.

2.4. O bico injetor de combustível

Amplamente utilizados em motores de automóveis, os bicos injetores desempenham a importante função de promover a pulverização do combustível na câmara de combustão de um motor. Segundo Peiner *et al* (2009), o consumo do combustível e a emissão dos gases de exaustão são fortemente dependentes da geometria dos furos de um bico injetor de *Diesel*. e portanto, quanto melhor a pulverização do combustível, maior será a eficiência do motor. Ainda segundo o autor, os furos desses componentes são usinados através do processo de eletroerosão ou corte a *laser*, podendo conferir diâmetros de 100-200 μm .

O bico injetor de combustível usado nas medições do corrente artigo pode é mostrado na Fig (4):



Figura 4. Bico injetor de combustível

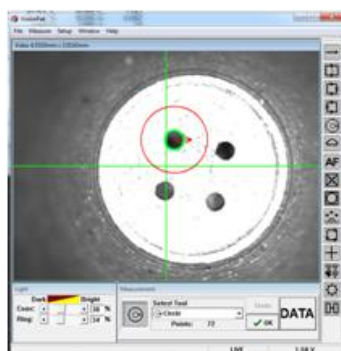
2.5. Procedimento de medição

O bico injetor de combustível é colocado sobre a mesa metrológica da MMC, e com a movimentação do eixo coordenado Z, onde o QVP está montado, posiciona-se o sensor sobre a superfície onde os furos do bico injetor estão localizados, sendo então, realizados os ajustes de iluminação como também o procedimento de focalização automática, a fim de conferir melhor qualidade à imagem capturada pelo sensor, como mostrado na Fig (5):

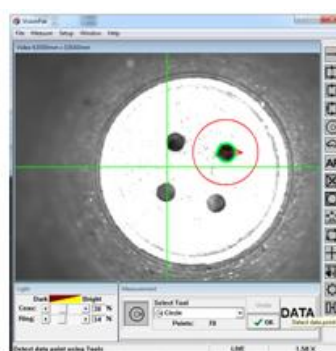


Figura 5. Medição do bico injetor de combustível

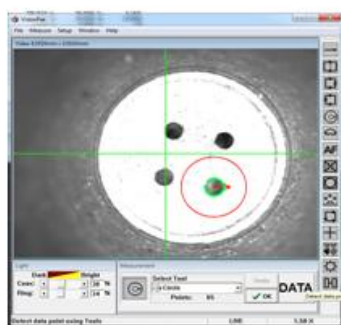
Com a utilização da ferramenta de medição do VISIONPAK, foram medidos os diâmetros de cada furo do bico injetor de combustível. Para isso, foi utilizada a ferramenta de círculo, em que são geradas linhas de varreduras radiais sobre uma região selecionada pelo operador, sendo esse recurso particularmente indicado para medição de furos circulares e geometrias semelhantes, que estejam devidamente compreendidos pelo campo de visão do QVP. A Figura (6) apresenta a janela de vídeo do VISIONPAK durante a medição de cada furo do componente estudado.



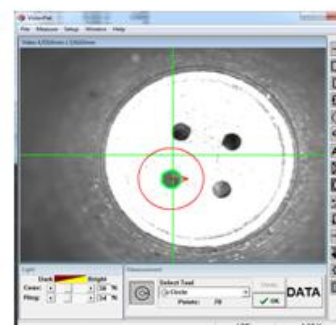
a) Medição do Furo 1



b) Medição do Furo 2



c) Medição do Furo 3



d) Medição do Furo 4

Figura 6. Procedimento de medição do bico injetor de combustível

Os furos do bico injetor de combustível foram numerados para que possa ser feito a sua respectiva identificação nos resultados.

3. RESULTADOS

Cada furo do bico injetor de combustível foi medido cinco vezes, no intuito de realizar a determinação de parâmetros metrológicos como a incerteza-padrão e repetibilidade. Segundo Albertazzi e De Sousa (2008), tais parâmetros são importantes para quantificar a intensidade do erro aleatório das medições.

A incerteza-padrão pode ser estimada através da equação:

$$u = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n-1}}$$

$$\nu = n - 1$$
(1)

Onde u = incerteza-padrão obtida a partir da amostra, I_i = i -ésima indicação, $\bar{I}$ = média das indicações, n = número de medições realizadas, ν = número de graus de liberdade. Porém, a incerteza-padrão da média é utilizada quando o mensurando é invariável, como é o caso, sendo calculada a partir da divisão da incerteza-padrão e a raiz quadrada do número de medições repetidas (Albertazzi; De Sousa, 2008).

Já a repetibilidade é calculada a partir da equação:

$$Re = \pm t \times u$$
(2)

Em que: Re = Repetibilidade, t = Coeficiente t de Student com 95,45% de probabilidade e $n-1$ graus de liberdade, u = Incerteza-padrão. Esse parâmetro indica a faixa em que o erro aleatório será esperado, e assim como o cálculo da incerteza-padrão para um mensurando invariável, a repetibilidade da média é obtida pela razão entre a repetibilidade Re e o número de medições repetidas efetuadas.

Com isso, foram obtidos os resultados das medições do bico injetor de combustível, que pode ser observados na Tab (1):

Tabela 1. Resultados experimentais para a determinação do diâmetro do bico injetor de combustível. Valores em milímetros.

Bico injetor de Combustível	Furo 1	Furo 2	Furo 3	Furo 4
Diâmetro	0,2487	0,2441	0,2455	0,2488
	0,2488	0,2449	0,2454	0,2491
	0,2487	0,2433	0,2456	0,2495
	0,2486	0,2438	0,2454	0,2494
	0,2486	0,2442	0,2454	0,2494
Média	0,2487	0,2441	0,2455	0,2492
Incerteza- padrão	0,000084	0,00059	0,000089	0,00029
t de Student (95,45%)	2,869			
Repetibilidade	0,00024	0,0017	0,00026	0,00083

De acordo com os resultados apresentados, a dispersão dos diâmetros medidos é muito pequena, chegando a apresentar valores de incerteza - padrão entre 0,084 μm e 0,59 μm , como pode ser observado para o Furo 1 e o Furo 2, respectivamente, na Tab (1). De mesmo modo, a repetibilidade segue a mesma tendência, apresentando faixas estreitas em que os erros aleatórios do sistema de medição são esperados, como $\pm 0,24 \mu\text{m}$ para o Furo 1 e $\pm 1,7 \mu\text{m}$ para o Furo 2.

4. CONCLUSÃO

Com isso, o objetivo do corrente trabalho foi aplicar uma MMC que possui um sensor câmera CCD para realizar medições de diâmetros de bicos injetores de combustível. Os resultados apresentados contribuem para consolidação dessa técnica na execução de inspeções em bicos injetores de combustível, em seus processos de controle de qualidade. Em adição a isso, ressalta-se a magnitude das dimensões dos furos do bico injetor de combustível, que apresentam

valores próximos a 200 μm , impossibilitando a determinação de seus respectivos diâmetros com o uso de um instrumento de medição convencional, tal como paquímetro. É importante destacar que o bico injetor de combustível utilizado neste artigo já havia sido usado e substituído por ter atingido sua vida útil, sendo assim, não foi possível fazer a análise da exatidão. No entanto, em trabalhos futuros serão utilizados bicos injetores de combustível novos, e então usados os dados dimensionais e as tolerâncias dos furos especificadas pelo fabricante.

5. REFERÊNCIAS

- Albertazzi, A.; De Sousa, A. R. **Fundamentos da Metrologia científica e industrial**. 1. ed. Barueri, SP: Manole, 2008.
- CHO, H. **Optomechatronics: Fusion of optical and mechatronic engineering**. 1. ed.: CRC Press, 2005.
- De Chiffre, L.; Hansen, H. N. Metrological Limitation of Optical Probing Techniques for Dimensional Measurements. **Institute of Manufacturing Engineering, Technincal University of Denmark**, 10 Janeiro 1995.
- Giniotis, V.; Hope, A. **Measurement and Monitoring**. 1. ed. New York: Momentum Press, 2014.
- Hocken, R. J.; Pereira, P. H. (Eds.). **Coordinate Measuring Machine and Systems**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2012.
- Mitutoyo. VISIONPAK user's guide, n. 2, p. 120, 2010.
- Peiner, E.; Balke, M.; Doering, L. Form measurement inside fuel injector nozzle spray holes. **Microelectronic Engineering**, v. 86, n. 4, p. 984-986, 2009.
- Seung-Woo, K. Measurement Uncertainty Limit of a Video Probe in Coordinate Metrology. **Departament of Mechanical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology**, 9 Janeiro 1996.
- Silva, M. A. **Estudo e Aplicação de Medição com Câmera de Vídeo em Máquinas de Medição por Coordenadas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa. 2017.
- VIM – Vocabulário Internacional de Metrologia: Conceitos fundamentais e gerais e termos associados. Duque de Caxias, RJ: INMETRO, 2012.
- Walker, H. F.; Bendow, D. W.; Elshennawy, A. K. **The Certified Quality Technician Handbook**. 2. ed. Milwaukee: ASQ Quality Press, 2012

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluídos no seu trabalho.

APPLICATION OF MACHINE VISION: A APPROACH IN FUEL INJECTOR NOZZLES USING A COORDINATE MEASURING MACHINE

Marlio Antonio da Silva, marlio.antonio@live.com¹
Joab Sobreira de Andrade, engjoab@hotmail.com¹
Manoel Fideles Filho, fidelesjp@hotmail.com¹
José Carlos Lima Junior, limajrcarlos@hotmail.com¹
João Bosco deAquino Silva, jbosco@ct.ufpb.br¹

¹Universidade Federal da Paraíba – CT – UFPB – Campus I, CEP:58059-900 – João Pessoa.

Abstract: *It is evident that with the increasing advance of the manufacturing industry there is a need for an efficient quality control that meets this demand produced within an increasingly shorter period of time. As a result, the Coordinate Measuring Machines (CMMs) are widely used for inspection of various components in today's industry, in addition to the Computational Numerical Command (CNC) - which makes the measurement process much faster than Conventional methods - can also measure numerous geometries, since they have several sensors that are suitable for various situations, therefore, there is hardly a configuration that the CMM can not measure. The measurements made by a CMM can be divided into two large groups: as contact measurements and non-contact measurements. The contact measurements using the touch sensor, such as a touch probe, it collects coordinate points on a measurement piece with a sensor deflection when touching. The non-contact measurements can be performed with the laser sensor or a digital camera. The present paper aims to present some applications of non-contact measurements with an CMM, which incorporates a Charge-Coupled Device (CCD) camera, into fuel injector nozzles, because these micro-hole components could not be measured with a conventional touch sensor.*

Keywords: *non-contact measurement, coordinate measuring machine, fuel injector nozzle*