

## **Comparação metrológica de um sistema fotogramétrico com uma máquina de medição por coordenadas**

### **Metrological comparison of a photogrammetric measurement system with a coordinate measuring machine**

**C R G de Lima <sup>1</sup>, C R Baldo <sup>2</sup>, G D Donatelli <sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade de Fortaleza - UNIFOR, Fortaleza, CE, Brasil;

<sup>2</sup> Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas - CECS/UFABC, Santo André, SP, Brasil; <sup>3</sup> Centro de Metrologia e Instrumentação - CMI/CERTI, Florianópolis, SC, Brasil

E-mail: clidio.lima@unifor.br

**Resumo:** Com o avanço tecnológico, novas exigências têm sido impostas aos produtos em termos de desempenho, eficiência, qualidade e segurança, assim como às medições. Métodos de medição com e sem contato foram testados em peças usinadas buscando reduzir o tempo de inspeção e, assim, assegurar a qualidade de seus produtos através de processos de medição metrologicamente comprovados. Os resultados do uso de um sistema fotogramétrico apresentaram concordância satisfatória com uma máquina de medição por coordenadas, comumente empregada no controle dimensional de peças. A redução do tempo de inspeção pela metade com o sistema fotogramétrico denota um resultado significativo deste trabalho.

**Palavras-chave:** sistema fotogramétrico, peça usinada, avaliação experimental.

**Abstract:** Technology developments have imposed new requirements for products in terms of performance, efficiency, quality and safety, as well as measurements. Tactile and optical measuring methods were tested in machined parts focusing on inspection time reduction and on measurement process confirmation. The photogrammetry-based measurement system outcomes displayed satisfactory agreement with the coordinate measuring machine generally employed for the dimensional control of machined parts. The inspection time reduction by a factor of two when using the optical system was a significant finding of this work.

**Keywords:** photogrammetry-based system, machined part, experimental assessment.

#### **1. INTRODUÇÃO**

Nos processos de fabricação atual, peças com geometrias complexas podem ser produzidas e,

assim, o controle dimensional de peças usinadas está correlacionado com diversos parâmetros do próprio processo de fabricação. São através de medições de peças brutas (não usinadas) que se

determinam quais serão as referências para um posterior posicionamento dessas peças em uma máquina-ferramenta para que seja garantida uma usinagem confiável.

O enfoque deste trabalho está na comparação dos resultados de uma máquina de medição por coordenadas utilizada no controle dimensional de peças usinadas com os resultados obtidos por um sistema óptico baseado em fotogrametria.

## **2. SISTEMAS DE MEDIÇÃO**

Com os recentes avanços da metrologia óptica, há uma conquista cada vez mais significativa dessa área no meio industrial, principalmente na medição de grandezas no processo de fabricação, o que amplia as possibilidades de inspeção e controle da qualidade. Dessa forma, os métodos ópticos de medição estão se tornando soluções cada vez mais atraentes para controle geométrico de peças e componentes mecânicos [1].

### **2.1 Máquinas de medição por coordenadas**

As máquinas de medição por coordenadas (MMC) são extensamente usadas em indústrias de portes diferentes. Boa parte das peças e suas geometrias encontram em uma MMC a forma apropriada de medição, principalmente em função dos avanços nas diferentes tecnologias e sensores. Melhorias na flexibilidade, quantidade e exatidão dos dados concomitante com a diminuição de tempo e custo de medição explicam a aceitação da tecnologia na metrologia industrial.

A função básica da medição por coordenadas consiste em medir a forma real de uma peça em comparação com a forma nominal e fazer a avaliação de informações metrológicas como tamanho, forma, posição e orientação. Essa forma real da peça é obtida apalpando a superfície em pontos de medição discretos e cada ponto de medição é expresso pelas coordenadas medidas. Entretanto, não é possível avaliar os parâmetros da peça (por exemplo, diâmetro, distância, ângulo)

diretamente das coordenadas dos pontos medidos. Portanto, um modelo analítico da peça é usado para avaliar os parâmetros e tal modelo consiste geralmente em elementos geométricos ideais, também chamados de elementos substitutos. Tais elementos podem ser determinados aplicando um elemento geométrico apropriado através de um algoritmo de ajuste para um conjunto de dados medidos [2].

### **2.2 Sistemas de medição por fotogrametria**

A fotografia denota um processo de projeção do mundo tridimensional em imagens planas. A câmera é o dispositivo que faz esta transformação de dimensões 3D em 2D. Contudo, não é possível mapear completamente o mundo tridimensional a partir de imagens bidimensionais, pois se perde algum tipo de informação como, por exemplo, a profundidade [3].

A fotogrametria inverte o processo fotográfico descrito acima, ou seja, ela reconstrói a estrutura 3D a partir das imagens 2D. Entretanto, como informações foram perdidas na fotografia, não é possível reconstruir o objeto 3D com apenas uma fotografia. Com um mínimo de duas fotografias distintas (posições ou vistas diferentes) é possível a reconstrução do objeto submetido à medição.

Com mais de duas fotografias, é possível ser obtida informações extras, contidas nas imagens, melhorando o processo. As coordenadas medidas, produzidas de múltiplas fotografias, denotam o resultado final da técnica fotogramétrica [3].

Os pontos relevantes (superfície de interesse) do objeto são identificados com alvos codificados e não codificados e a imagem do objeto é captada por uma câmera fotogramétrica de alta resolução. Para reconstruir o objeto 3D, várias imagens são adquiridas em diferentes posições, sem qualquer interferência ou remoção dos alvos previamente colados na superfície.

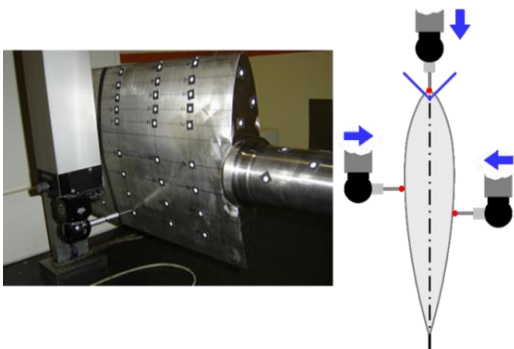
Os alvos codificados permitem a composição de uma única imagem 3D a partir de múltiplas

fotografias e os alvos não codificados definem a posição em que a informação sobre a geometria será gerada pelo sistema.

### 3. COMPARAÇÃO ENTRE SISTEMAS

De maneira a avaliar metrologicamente o sistema de medição por fotogrametria do fabricante GOM, modelo TRITOP, foi projetado um experimento no qual as condições de medição pudessem ser mais bem controladas. De fato, o ideal teria sido medir a peça-teste em um laboratório pertencente à Rede Brasileira de Calibração (RBC), para assim garantir a rastreabilidade da medição de referência. No entanto, isso não foi possível em virtude das dificuldades de deslocamento a peça. Assim, optou-se por:

- utilizar, como peça-teste, uma palheta diretriz fundida com as superfícies usinada,
- realizar a medição de referência em uma MMC do tipo portal, fabricante MITUTOYO, modelo BEYOND A1212, após verificar que os erros de escala e esquadro atendiam as especificações,
- realizar as medições no próprio laboratório de medição por coordenadas da empresa, num período caracterizado por condições estáveis no que diz respeito à temperatura e vibração.



**Figura 1.** Disposição da peça-teste e estratégia de apalpação adotada na medição com a MMC.

A peça foi montada com o eixo da seção no plano vertical, acessível por todos os lados (vide figura 1). Foram colados alvos (não codificados)

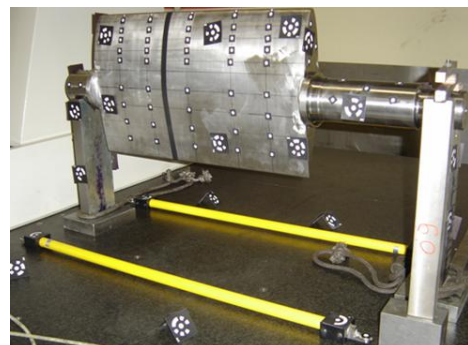
autoadesivos sobre o perfil hidráulico da palheta, conforme uma malha ortogonal, demarcando os pontos a serem medidos por ambos os sistemas de medição.

Primeiramente os alvos não codificados foram apalpados com a MMC. A apalpação foi feita em direção próxima ao vetor normal da superfície no local de maneira manual, aproximadamente no centro do alvo. As coordenadas dos pontos assim medidos na MMC foram exportadas em formato ASCII, para realizar o processamento no software do sistema fotogramétrico.

Em seguida, os mesmos alvos foram medidos usando o sistema óptico da seguinte maneira:

- mediu-se a peça na mesma posição usada para se obter os desvios de referência na MMC,
- utilizaram-se dois padrões de comprimento e vários alvos magnéticos codificados, colados na própria peça, na mesa da MMC e no suporte. Cabe ressaltar que na região de maior curvatura utilizaram-se alvos com menores dimensões. Estas barras de comprimento são colocadas próximas ou sobre a peça que se deseja medir e suas dimensões inseridas no software do sistema fotogramétrico para ser garantida a informação de escala.

A figura 2 mostra como a palheta diretriz foi montada juntamente com os alvos sobre a mesma e os padrões de comprimento.



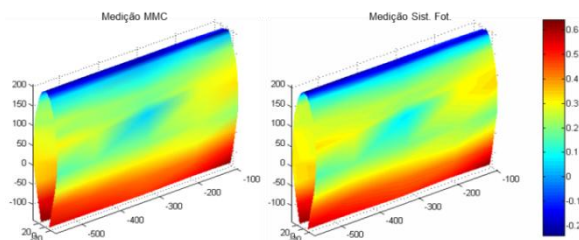
**Figura 2.** Palheta diretriz montada sobre a MMC, para ser medida com o sistema fotogramétrico, junto aos padrões de comprimento.

Na comparação foram utilizados somente os pontos situados no perfil hidráulico da peça-teste. Depois da harmonização dos pontos e filtragem dos pontos espúrios, sobraram 104 pontos para serem processados no software do sistema de medição por fotogrametria. O critério matemático dos mínimos quadrados foi utilizado para ajustar os pontos medidos ao modelo nominal da peça-teste por cada sistema de medição em separado.

#### 4. EXTRATO DOS RESULTADOS

Embora a posição dos pontos medidos por ambos os sistemas não seja exatamente a mesma (um erro posicional máximo de  $\varnothing$  2 mm é estimado), a curvatura da superfície nos locais de medição é suficientemente pequena como para que o erro do sistema óptico possa ser estimado pela diferença entre o desvio medido por ele e o desvio medido pela MMC. O desvio médio observado pelos dois sistemas é positivo (aprox. 0,25 mm), indicando excesso de material na maioria dos pontos.

A partir dos desvios computados, nuvens de pontos foram geradas e visualizadas através do software MATLAB. A figura 3 mostra os desvios das palhetas diretrizes observadas pelos sistemas de medição avaliados.



**Figura 3.** Mapas de cores gerados pela medição na MMC e no sistema de fotogrametria.

#### 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A figura 3 mostra que, em geral, os desvios informados pelo sistema fotogramétrico exibem boa concordância com os desvios obtidos pelo sistema de medição de referência. Os resultados obtidos permitem inferir que os erros atribuíveis

ao sistema óptico são pequenos se comparados com os desvios apresentados pela peça-teste com referência ao modelo CAD. Pode-se afirmar a partir dos resultados que o sistema de medição óptico é metrologicamente adequado para medir peças usinadas de formas livres, com tolerâncias de perfil iguais ou superiores a 0,5 mm. Outro fator relevante do sistema de medição óptico diz respeito à redução do tempo de medição pela metade.

Cabe destacar que os valores do erro foram baixos o suficiente como para tornar questionável a medição de referência. O estudo realizado pode ser caracterizado como aceitável para fins de validação do sistema óptico, mas em futuros estudos seria aconselhável calibrar a peça num laboratório acreditado que forneça resultados com menores incertezas de medição. Um experimento similar ao relatado, mas utilizando uma peça calibrada com menor incerteza, daria condições de estimar a incerteza da medição executada com o sistema fotogramétrico através da análise estatística dos erros. Outro teste válido seria aplicar a norma alemã VDI/VDE 2634 [4] que estabelece métodos / procedimentos para avaliar o desempenho metrológico de sistemas ópticos.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Albertazzi A G, Sousa A R and Pezzota C A Controle geométrico por meio da metrologia óptica 2003 *Metrologia & Instrumentação* **25** 38-42
- [2] Bosch JA Coordinate measuring machines and systems 1995 *Manufacturing Engineering and Materials Processing* CRC Press
- [3] Geodetic Systems, Inc. Disponível em: <<http://www.geodetic.com>>. Acesso em: 04 de ago. 2017
- [4] Association of German Engineers VDI/VDE 2634-1-2002 Optical 3D measuring systems - Imaging systems with point-to-point probing