

Avaliação experimental do desempenho volumétrico de braços articulados de medição

Experimental assessment of the volumetric performance of articulated arm coordinate measuring machines

C R G de Lima¹, **C R Baldo**², **G D Donatelli**³

¹ Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade de Fortaleza - UNIFOR, Fortaleza, CE, Brasil;

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

E-mail: clidio.lima@unifor.br

Resumo: No ambiente competitivo atual, a sustentabilidade de uma empresa envolve, necessariamente, ações de garantia da qualidade do produto e processo de fabricação. Dentre os sistemas de medição industriais, os braços articulados de medição merecem destaque na inspeção de peças do setor metalomecânico. A norma ASME B89.4.22 descreve uma sistemática para avaliação do desempenho dos braços articulados, a qual foi testada num ambiente fabril. Os resultados experimentais puderam ser analisados convenientemente com o auxílio de ferramentas gráficas e identificaram-se fatores de influência que exigem atenção, como a rigidez do suporte do artefato e a fixação do equipamento.

Palavras-chave: braço de medição, desempenho volumétrico, avaliação experimental.

Abstract: In today's competitive environment, the industrial business sustainability requires quality assurance actions on products and manufacturing processes. Several measurement devices assist those actions, and the articulated measuring arms may be the right choice for inspecting some mechanical parts. The standard ASME B89.4.22 describes procedures for testing the performance of articulate measuring arms, which was experimented on the factory floor. The experimental results could be conveniently analyzed by using graphical tools and important influencing factors could be identified such as the artifact stand stiffness and the articulate measuring arm clamping.

Keywords: articulated measuring arm, volumetric performance, experimental tests.

1. INTRODUÇÃO

Apesar de hoje ser uma técnica de medição bem consolidada, os braços articulados de medição

por vários anos careceram de um método comum de análise do desempenho metrológico. Existiam, sim, métodos derivados dos usados na avaliação de máquinas de medição por coordenadas (MMC)

cartesianas, praticados e aceitos pelos fabricantes de braços. Somente em agosto de 2005, a ASME publicou a norma B89.4.22-2004 [1], específica para avaliação de braços articulados de medição com volume de medição esférico.

Dada a importância dos braços articulados na inspeção dimensional e geométrica de peças do setor metalomecânico, este artigo se concentra na avaliação do desempenho volumétrico de braços articulados de medição usando a norma acima.

2. BRAÇO ARTICULADO DE MEDIÇÃO

Os braços articulados de medição usam uma série de articulações que compõem cinco, seis ou sete graus de liberdade e medidores angulares de precisão para determinar a posição no espaço tridimensional de um sensor (apalpador). O seu posicionamento na superfície de interesse da peça é feito manualmente, e constitui-se um volume de medição esférico.

A figura 1 traz as transformações necessárias para, a partir de um sistema fixo de coordenadas, chegar-se ao sistema de coordenadas associado ao apalpador, assim como um esboço do volume de trabalho esférico criado pelo braço de medição.

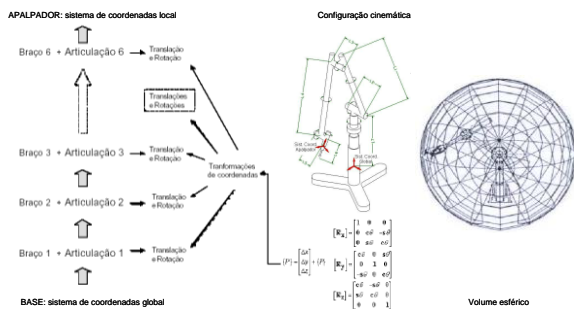


Figura 1. Mudanças do sistema de coordenadas e volume de trabalho de um braço articulado de medição [2].

Em função da configuração e características construtivas, os braços articulados de medição possuem algumas características vantajosas que podem ser decisivas em determinadas aplicações

[2]: grande portabilidade, relação vantajosa entre volume de medição e tamanho do equipamento, menor custo em relação às máquinas de medição por coordenadas clássicas. Assim, medições em campo e de geometrias de difícil acessibilidade tornam-se possíveis do ponto de vista operacional, com relativa facilidade para o usuário. Entretanto, como qualquer outro sistema metrológico, os braços de medição estão sujeitos a limitações metrológicas.

Em geral as incertezas de medição associadas aos resultados obtidos com braços articulados de medição são maiores que as incertezas obtidas com MMC clássicas. Fatores de influência como a habilidade do operador e a rigidez da fixação do braço com relação à peça são críticos e podem degradar fortemente o desempenho metrológico do sistema de medição. Valores de repetibilidade entre 0,1 mm e 0,6 mm são comuns para volumes de medição de aprox. 2 m (diâmetro da esfera).

Por causa dessas características operacionais e metrológicas, os braços articulados de medição são mais indicados para o controle dimensional de peças com tolerâncias mais abertas, tais como peças plásticas rígidas, peças estampadas e peças fundidas não acabadas.

2.1 Verificação de braços articulados

A norma ASME B89.4.22 especifica três tipos de testes de avaliação do desempenho:

- teste do diâmetro efetivo,
- teste da articulação de um único ponto,
- teste de desempenho volumétrico.

Aborda-se neste artigo o teste de desempenho volumétrico, que estabelece como mensurando a distância entre os centros medidos/extraídos de duas esferas posicionadas nas extremidades de uma barra, determinada em vinte posições dentro do volume de trabalho do braço articulado de medição.

Cada posição requer a definição dos seguintes parâmetros: (a) comprimento da barra, que pode ser curta ou longa em relação ao comprimento radial do braço; (b) octante, pois o volume de trabalho do braço de medição é dividido em oito partes; (c) orientação da barra, ou seja, horizontal, vertical ou a 45°; (d) distância ao centro do braço de medição, i.e., o quanto a barra de esferas dista do centro do braço de medição (perto ou longe); (e) direção, ou seja, em que direção se posiciona a barra de esferas (radial ou tangencial). A tabela 1 lista as vinte posições para a barra de esferas descritas pela norma. Outras posições podem ser aceitas, desde que ocupem adequadamente o volume de trabalho do braço de medição [1].

Tabela 1. Posições da barra de esferas conforme a norma ASME B89.4.22 (Legenda: P - posição, L - comprimento, O - octante, I - inclinação, D1 - distância, D2 - direção).

P	L	O	I	D1	D2
1	curta	8	horizontal	perto	radial
2	curta	5	horizontal	perto	radial
3	curta	1&2	horizontal	longe	tangencial
4	curta	4&7	45°	longe	tangencial
5	curta	7&3	vertical	longe	tangencial
6	curta	1&5	vertical	longe	tangencial
7	curta	2	horizontal	perto	radial
8	longa	2&8	45°	perto	tangencial
9	curta	3	horizontal	perto	radial
10	longa	1&7	45°	perto	tangencial
11	curta	1&6	45°	longe	tangencial
12	curta	6&3	45°	longe	tangencial
13	curta	5&4	45°	longe	tangencial
14	curta	3&8	45°	longe	tangencial
15	curta	5&2	45°	longe	tangencial
16	curta	1&8	45°	longe	tangencial
17	curta	2&7	45°	longe	tangencial
18	longa	3&4	horizontal	perto	tangencial
19	longa	2&6	vertical	longe	tangencial
20	longa	4&8	vertical	perto	tangencial

Para o teste volumétrico, o padrão empregado é uma barra de esferas com a distância entre os centros calibrada. A norma recomenda usar duas barras calibradas com os seguintes comprimentos:

curta, entre 50% e 75% do comprimento radial do braço articulado; e longa, entre 120% e 150% do comprimento radial do braço articulado.

No teste, o volume de uma esfera é dividido em oito partes, conforme ilustrado na figura 2. O plano equatorial é dividido em quatro quadrantes que criam oito volumes idênticos: quatro deles no hemisfério superior (octantes de 1 a 4) e outros quatro no hemisfério inferior (octantes de 5 a 8). O raio da esfera é definido pelo comprimento do braço articulado e centrado na articulação do primeiro medidor angular.

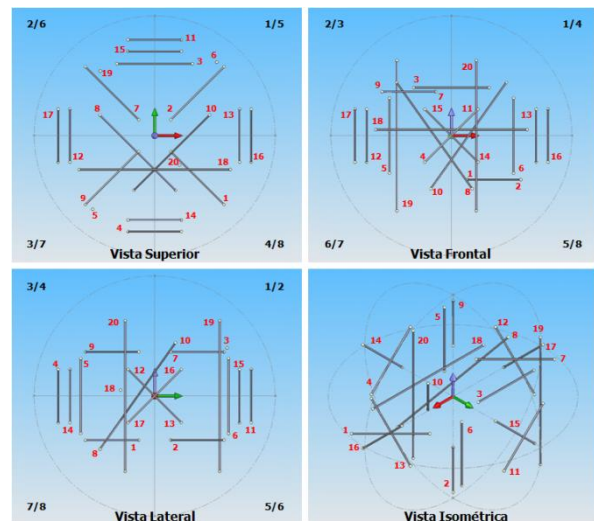


Figura 2. Posições das barras de esfera e divisão do volume esférico em octantes.

O erro máximo encontrado para medições de comprimento é então informado, pois ele tem uma interpretação física simples e um cálculo matemático simples. O erro de medição assim determinado define um intervalo admissível de valores do erro para medições de comprimento que se pode esperar de um modelo específico de braço articulado de medição.

3. PLANO EXPERIMENTAL

Um case de aplicação do procedimento descrito na norma foi planejado com um braço articulado de medição do fabricante FARO Technologies, modelo PLATINUM de 2,4 m de comprimento

(diâmetro da esfera), operado por um profissional capacitado. Neste estudo, utilizou-se uma única barra de esferas com comprimento aproximado de 1050 mm, feita em invar, com coeficiente de expansão térmica de $1,5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} \pm 10\%$, em substituição às duas barras de esferas referidas na norma.

A calibração da barra de esferas foi realizada em uma MMC do fabricante MITUTOYO, modelo BEYOND-A916, por comparação com um bloco padrão de comprimento nominal de 1000 mm. O valor encontrado para a distância entre os centros foi de $(1054,093 \pm 0,005)$ mm. A barra de esferas calibrada foi montada em um suporte construído com elementos modulares de fixação ALUFIX. O suporte foi projetado para fixar a barra em todas as posições requeridas pela norma, indicadas na figura 2. O suporte com a barra posicionada nas quatro posições básicas é mostrado na figura 3.

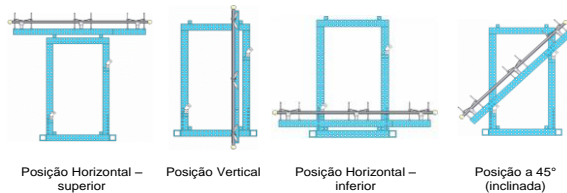


Figura 3. Suporte da barra de esferas nas quatro disposições básicas.

4. EXTRATO DOS RESULTADOS

A distância entre os centros das esferas da barra foi medida nas vinte posições indicadas na figura 2 e os valores assim medidos foram comparados com o valor calibrado da barra, como descrito no procedimento da norma. Os desvios encontrados são indicados no gráfico exibido na figura 4.

A partir dos desvios encontrados nas várias posições da barra, foram determinados: o desvio médio quadrático (RMS), igual a 0,059 mm, que posiciona as linhas tracejadas e simétricas no gráfico; a amplitude dos desvios de 0,170 mm; o desvio máximo de 0,096 mm. Cabe ressaltar que

a consistência das distâncias entre os centros foi analisada por meio de gráficos de controle.

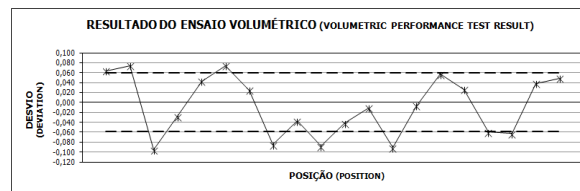


Figura 4. Gráfico com os erros encontrados para a diferentes posições da barra de esfera.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Findo o case de aplicação, pôde-se observar que a metodologia proposta pela ASME é de execução fácil. Tanto que, depois da montagem de todo o aparato experimental, a execução do teste de desempenho volumétrico durou aprox. 1 h.

Para uma aplicação eficaz do método descrito na norma é necessário garantir que o braço de medição e a barra estejam rigidamente fixados a uma base comum. Isso foi levado em conta neste case de aplicação, mas os resultados mostraram que a rigidez do suporte e da fixação do braço precisaria ser melhorada. O ideal seria dispor de uma instalação permanente para esse tipo de teste.

Outro ponto importante é efetuar a análise dos dados imediatamente após a aquisição deles. Isso permitiria identificar os pontos atípicos de forma imediata, produzindo as necessárias repetições sem causar atrasos e retrabalhos onerosos.

REFERÊNCIAS

- [1] American Society of Mechanical Engineers ASME B89.4.22-2004 Methods for performance evaluation of articulated arm coordinate measuring machines (CMM)
- [2] Sousa A R, Orosco D B and Giammusso S Avaliação da incerteza volumétrica de braços de medição por coordenadas 2003 *III Congresso Brasileiro de Metrologia Recife/PE, Brasil*