



CALIBRAÇÃO DE ESQUADROS EM MÁQUINAS DE MEDIR POR COORDENADAS

José Leonardo Noronha, M. Eng. Mec.

Escola Federal de Engenharia de Itajubá – EFEI
Instituto de Engenharia Mecânica, Departamento de Produção
Cx. Postal 50, Itajubá-MG, CEP 37500-903, E-mail: jln@iem.efei.br

Carlos Alberto Schneider, Dr. Ing.

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC
Departamento de Engenharia Mecânica, Campus Universitário – Trindade
Cx. Postal 5053, Florianópolis – SC CEP 88040-970, E-mail: cas@certi.org.br

Luiz Fernando Barca, M.Sc.

Escola Federal de Engenharia de Itajubá - EFEI
Instituto de Engenharia Mecânica, Departamento de Produção
E-mail barca@iem.efei.br

Resumo: *A Máquina de Medir por Coordenadas (Coordinate Measuring Machines – CMM) é um versátil sistema de medição utilizado desde a inspeção individual de produtos até o controle na produção em larga escala em um amplo espectro de indústrias. A viabilidade do uso da CMM na calibração de instrumentos e medidas materializadas depende principalmente da sua incerteza de medição e tempo de execução. Neste trabalho é apresentado a metodologia de calibração de esquadro na CMM utilizando o método do rebatimento. Os resultados da calibração de um esquadro de granito mostraram a viabilidade técnica e econômica da calibração em CMM em substituição aos métodos convencionais.*

Palavras-chave: *calibração, máquina de medir por coordenadas, esquadro.*

1. INTRODUÇÃO

Atualmente fabricantes e usuários referem-se dentro das normas que tratam de requisitos de sistemas da qualidade (NBR 9000-2, 1994, QS-9000, 1998) que o controle de sistemas de medição é um importante elemento do sistema de garantia da qualidade. É fundamental verificar não somente a qualidade das peças, mas também supervisionar e calibrar regularmente os sistemas de medição que são usados para verificação. Somente dentro destas condições a medição e os resultados de ensaios são dignos de confiança. Várias empresas especialmente as de produção de automóveis, aviões, máquinas ferramentas e indústrias elétricas e eletrônicas exigem por esta razão de seus fornecedores um controle dos sistemas de medição (VDI/VDE/DSQ 2618-1, 1991). Com o controle pode-se garantir a rastreabilidade dos sistemas de medição aos padrões nacionais e internacionais e escolher sistemas de medição com melhor desempenho e menor incerteza de medição para garantir a qualidade das peças.

Em um levantamento das necessidades metrológicas das indústrias, chegou-se ao resultado que há uma demanda expressiva na calibração de esquadros. Os esquadros são calibrados por diferentes métodos com o objetivo de se conhecer os erros (desvios) efetivos e utilizá-los na calibração de outros esquadros e controle de perpendicularidade de peças. Estes métodos de calibração

apresentam limitações em relação aos procedimentos, tempos de execução e custos. Em função destas limitações e da quantidade de esquadros encontrados nas indústrias, no trabalho será apresentado um procedimento que utiliza o método do rebatimento para a calibração de esquadros na Máquina de Medir por Coordenadas, que é um sistema de medição automatizado, informatizado, flexível, capaz de verificar toda geometria de um esquadro com incerteza de medição compatível.

2. MEDIÇÃO DE PERPENDICULARIDADE PELO MÉTODO DO REBATIMENTO

No método do rebatimento, os erros dos sistemas de medição aparecem rebatidos para cada ponto medido (Schwenke, H., 1997, Trapet, E., 1997, Evans, J., 1996). Este método pode ser aplicado na calibração de réguas, esquadros de aço e granito, esquadros cilíndricos e placas de esferas e furos.

A calibração de um esquadro pelo método do rebatimento é mostrada esquematicamente na Fig. (1) e através das Eq. (1), Eq. (2), Eq. (3) e Eq. (4). Na figura, α é o desvio de perpendicularidade do eixo da máquina e β é o desvio de perpendicularidade do esquadro, e as indicações nas duas posições são:

$$I_1 = a + b \quad (1)$$

$$I_2 = a - b \quad (2)$$

Então:

$$a = (I_1 + I_2)/2 \quad (3)$$

$$b = (I_1 - I_2)/2 \quad (4)$$

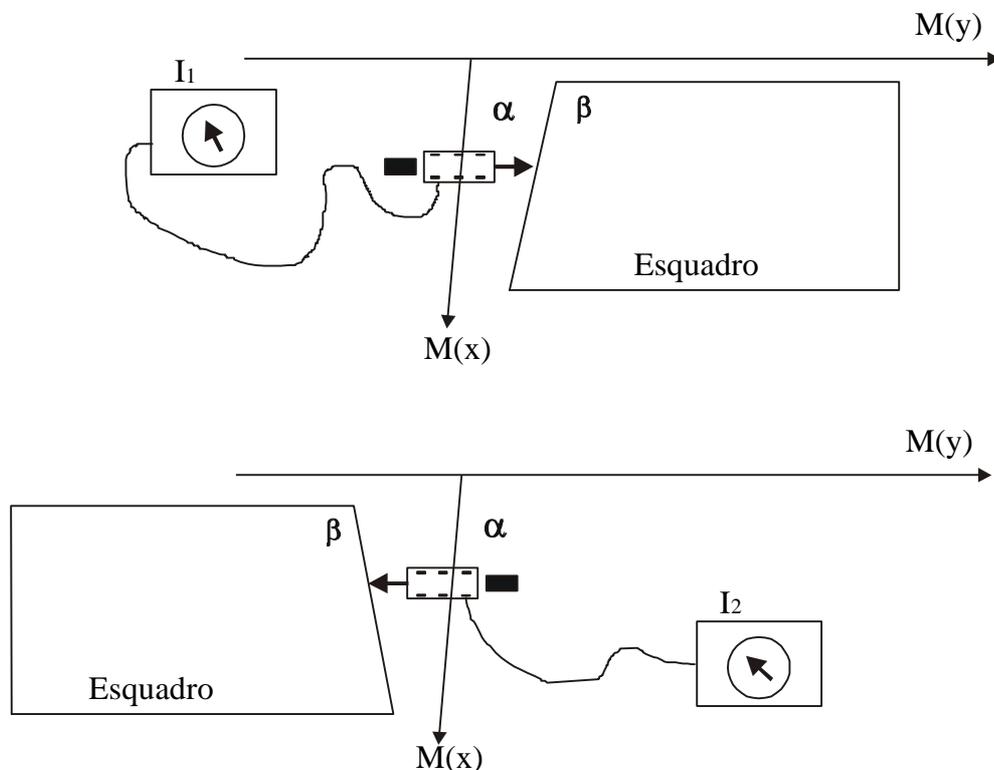


Figura 1. Método do rebatimento – Medição de esquadro (Evans, J., 1996).

3. CALIBRAÇÃO DE ESQUADROS – MÉTODOS CONVENCIONAIS

Na calibração de esquadros deve-se determinar o desvio de perpendicularidade, o desvio de planeza ou retilidade e o desvio de paralelismo das superfícies. As tolerâncias de perpendicularidade, planeza ou retilidade (Tab.1) para esquadros de diferentes classes de exatidão são normalizadas (DIN 875, 1981, NBR 9972, 1993, JIS B 7526, 1993, JIS B 7539, 1993).

Tabela 1. Tolerâncias para esquadros de aço, de granito e cilíndrico

ESQUADROS DE AÇO		
Classe de exatidão	Tolerância de perpendicularidade (µm)	Tolerância de Planeza (µm)
00	2 + 1/100	2 + 1/250
0	5 + 1/50	2 + 1/100
1	10 + 1/10	4 + 1/50
2	20 + 1/10	8 + 1/25
ESQUADRO DE GRANITO		ESQUADRO CILÍNDRICO
Tolerância de perpendicularidade (µm) 2 + 1/100 (1 em mm)		Tolerância de perpendicularidade (µm) 2 + 1/200 (1 em mm)
		Tolerância de cilindridade (µm) 2 + 1/200

3.1. Métodos de calibração de esquadros de aço (JIS B 7526, 1993)

3.1.1 Método do esquadro padrão e blocos padrão

O desvio de perpendicularidade – DP é determinado sobre um despeno, com auxílio de um esquadro de referência de tamanho adequado e de blocos padrão (Fig. 2).

Assim, quando o lado menor do esquadro está na base:

$$DP = \frac{\text{Diferença do comprimento dos blocos} \times \text{comprimento total do lado maior}}{\text{Comprimento total da base}}$$

Se o lado maior está na base:

$$DP = \text{Diferença do tamanho dos blocos padrão}$$

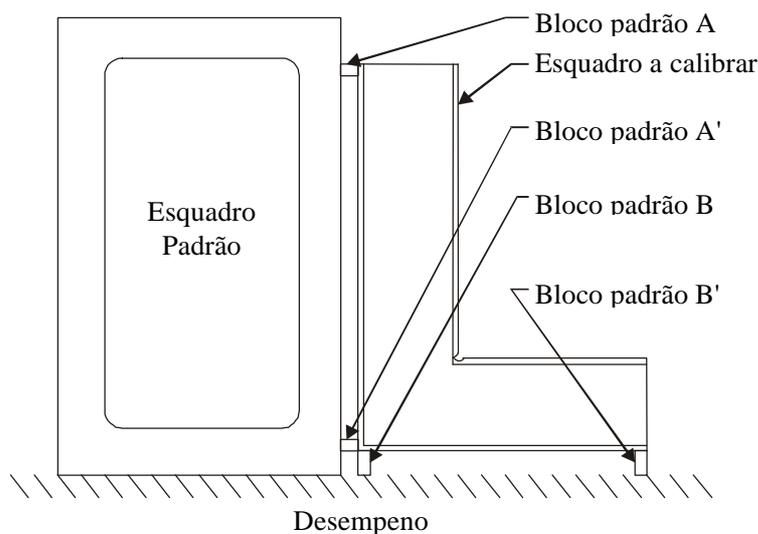


Figura 2. Calibração de esquadro - Método do esquadro padrão e blocos padrão.

3.1.2 Método do esquadro padrão e medidor de deslocamento

O desvio de perpendicularidade é obtido comparando-se os resultados obtidos na medição do esquadro padrão e no esquadro a calibrar com um medidor de deslocamento (Fig. 3).

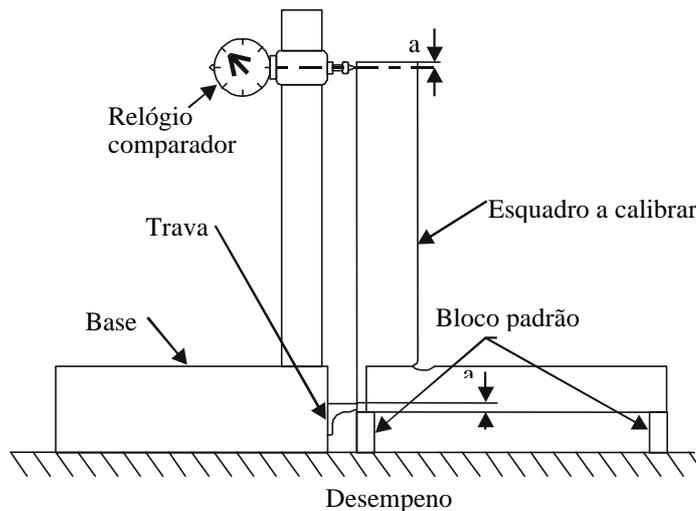


Figura 3. Calibração de esquadro - Método do esquadro padrão e medidor de deslocamento.

3.2. Métodos de calibração de esquadros cilíndricos (JIS B 7539, 1993)

3.2.1 Método por comparação com esquadro de referência

Comparando-se os resultados de medição na parte superior, central e inferior de um esquadro de referência e um esquadro a calibrar com um medidor de deslocamento, com a máxima diferença em cada geratriz, obtém-se o desvio de perpendicularidade (Fig. 4).

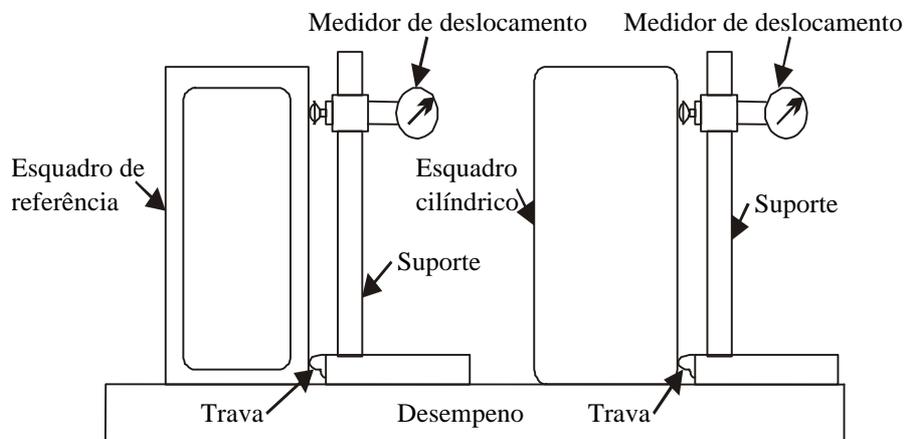


Figura 4. Calibração de esquadro cilíndrico- Método da comparação.

3.2.2 Método de determinação sem esquadro de referência

A determinação do desvio de perpendicularidade é feita utilizando-se medidores de deslocamento sobre um desempeno (Fig. 5). Na primeira geratriz A, determina-se a diferença das indicações dos medidores de deslocamento (Δa), em seguida rotacionando o esquadro de 180 graus, próximo a geratriz C determina-se a diferença das indicações (Δc). Além disto, determina-se os diâmetros D_1 e D_2 sobre a geratriz A-C em suas respectivas alturas, utiliza-se as Eq. (5) e Eq. (6) para obter o desvio de perpendicularidade – DP.

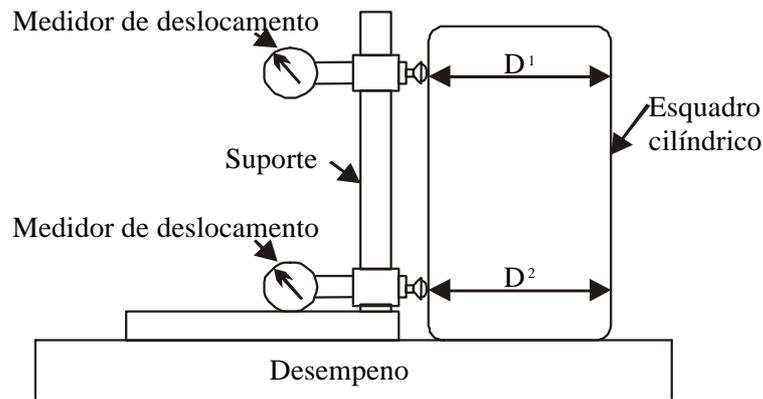


Figura 5. Calibração de esquadro cilíndrico - Método sem esquadro de referência.

$$DPA = \frac{1}{2}(DA - DC) + (D1 - D2) \quad (5)$$

$$DPC = \frac{1}{2}(DC - DA) + (D1 - D2) \quad (6)$$

Deve-se também fazer as medições na parte inferior e central e determinar a máxima diferença para cada geratriz. Do mesmo modo, determinar a máxima diferença para as geratrizes B e D. A maior diferença é o desvio de perpendicularidade.

3.3. Limitações nos métodos de calibração

As principais limitações dos métodos de calibração convencionais são:

- calibração normalmente envolve diferentes sistemas de medição;
- calibração é realizada manualmente;
- para esquadros com comprimentos nominais maiores que 500 mm, tem-se dificuldade para conseguir esquadros de referência;
- existe a necessidade de um esquadro de referência, nos métodos apresentados, exceto no método do esquadro cilíndrico.

4. CALIBRAÇÃO DE ESQUADROS NA MÁQUINA DE MEDIR POR COORDENADAS

O método do rebatimento foi utilizado para calibração de um esquadro de granito na CMM e para avaliação da incerteza de medição utilizou-se a metodologia do Guia para a Expressão da Incerteza de Medição (ISO, 1993).

4.1. Procedimento de calibração

São realizados quatro ciclos de medição com o esquadro apoiado na posição horizontal, sendo dois ciclos com o esquadro rebatido em relação aos demais (Fig. 6). Obtém-se os seguintes resultados através das medições:

- a superfície da face menor, sobre a qual definiu-se um plano geométrico médio;
- a superfície da face maior;
- uma reta na seção média de cada uma das faces de medição do esquadro.

Com estes resultados são avaliados a perpendicularidade das retas da face maior, em relação à superfície da face menor e entre as superfícies.

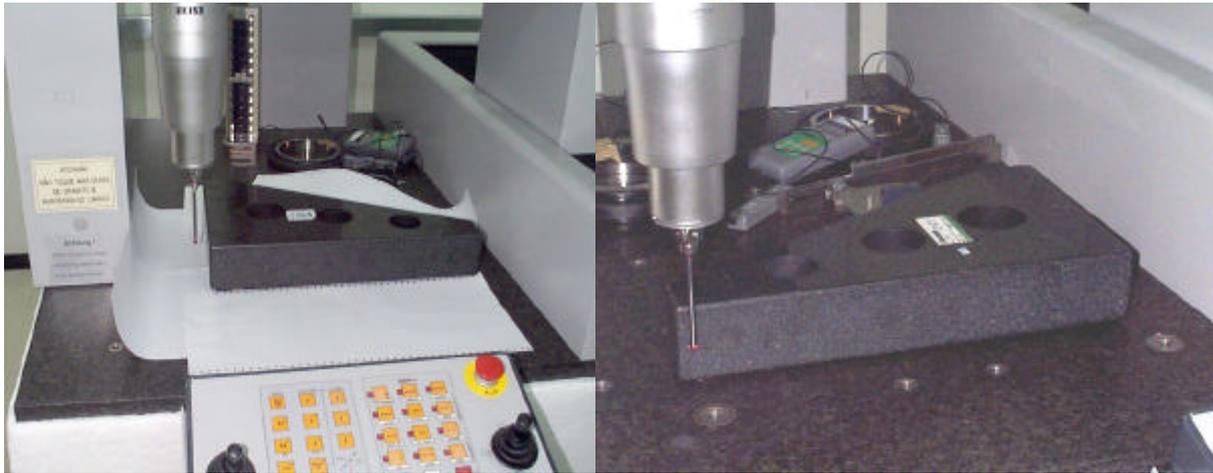


Figura 6. Calibração esquadro de granito na CMM.

- Erro de perpendicularidade – E_{perp}

$$E_{perp} = \frac{|MI(\text{Rebatido}) + MI(\text{Original})|}{2} \quad (7)$$

Onde:

MI (Rebatido) = Média das indicações do esquadro posição - rebatido

MI (Original) = Média das indicações do esquadro posição - original

- a retilidade de cada face (seção média);
- a planeza das faces.

A calibração deve ser realizada com condições ambientais controladas, principalmente temperatura.

4.2. Incerteza de medição

Para a avaliação da incerteza da medição na calibração do esquadro de granito foram considerados as seguintes fontes de incerteza para:

a) Medição do desvio de perpendicularidade

- Incerteza CMM para medição de perpendicularidade – $U_{CMM} = 0,0029$ mm
- Incerteza do processo de rebatimento (Estimado) – $U_{Reb} = 0,0003$ mm
- Incerteza padrão – Tipo A - $U_A = 0,0004$ mm
- Estabilidade de fixação do esquadro- - desprezível
- Estabilidade CMM no tempo- desprezível
- Variações de Temperaturas - desprezível

b) Medição de desvio de planeza das faces de medição

- Incerteza CMM para medição de planeza – $U_{CMM} = 0,0028$ mm
- Incerteza padrão – Tipo A – $U_A = 0,0001$ mm
- Estabilidade de fixação - desprezível
- Estabilidade CMM no tempo - desprezível
- Variações de Temperaturas - desprezível

c) Medição de desvio de retilidade das faces de medição

- Incerteza CMM para medição de retilidade – $U_{CMM} = 0,002$ mm
- U_{Reb} – Incerteza do processo de rebatimento (Estimado)- $U_{Reb} = 0,0003$ mm
- Incerteza padrão – Tipo A – $U_A = 0,0001$ mm
- Estabilidade de fixação- desprezível
- Estabilidade CMM no tempo- desprezível
- Variações de Temperaturas - desprezível

4.3. Resultados

Na tabela 2 tem-se os resultados dos desvios de planeza, retilineidade e perpendicularidade e suas respectivas incertezas de medição para a calibração do esquadro de granito na CMM.

Tabela 2. Tabela de dados processados

Parâmetros avaliados	Média Indicações [mm]	Incerteza de Medição [mm]	Fator de Abrangência
Planeza			
Face Menor	0,002	0,003	2,05
Face Maior	0,002	0,003	2,05
Retilineidade			
Face Menor	0,001	0,002	2,05
Face Maior	0,001	0,002	2,05
Perpendicularidade			
Entre retas	0,002	0,003	2,00
Entre Superfícies	0,003	0,003	2,00

5. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados mostram que, com o método do rebatimento, a CMM pode ser utilizada com viabilidade técnica para a calibração de esquadros, pois obtém-se os resultados de referência e as incertezas de medição coerentes com suas tolerâncias admissíveis para os desvios de planeza, retilineidade e perpendicularidade.

Com a CMM a medição é automatizada, substituindo a calibração realizada manualmente, gastando-se um menor tempo de calibração em relação aos métodos convencionais. A CMM possui ainda flexibilidade para medir diferentes tipos e tamanhos de esquadros sem a necessidade de trocar os dispositivos auxiliares.

6. REFERÊNCIAS

- DIN 875, 1981, "Stahlwinkel 90" - Deutsches Institut für Normung.
- Evans, J., 1996 - "Self-Calibration: Reversal, Redundancy, Error Separation and "Absolute Testing"" - Annals of the CIRP, vol. 45/2, p. 617-634.
- ISO, 1993 - "Guide to the expression of uncertainty in measurement" - First Edition; International Organization for Standardization, Switzerland, 101 pages.
- JIS B 7526, 1993, "Squares" - JIS Handbook - Mechanical Instrumentation, pp. 861-873.
- JIS B 7539, 1993, "Cylindrical Squares" - JIS Handbook - Mechanical, pp. 802-808.
- NBR 9000-2, 1994 - "Normas de gestão da qualidade e garantia da qualidade" - Parte 2: Diretrizes para aplicação da NBR19001, NBR 19002 e NBR 19003.
- NBR 9972, 1993, "Esquadros de Aço 90°" - ABNT.
- QS - 9000, 1998 - "Requisitos do Sistema da qualidade" - Segunda Edição Brasileira, ANFAVEA.
- Schwenke, H.; Trapet, E.; Wäldele, F., 1997 - "Coordinate Measuring Machines - How to make best use their accuracy?" - Advanced School of Mechanical Metrology, Canela, RS/Brazil
- Trapet, E.; Schwenke, H.; Wäldele, F., 1997 - "Pushing the Limits of Accuracy of Coordinate Measurements" - Proceeding of the 9th International Precision Engineering Seminar, 4th International Conference on Ultraprecision in Manufacturing Engineering, Braunschweig, Germany, vol. 1, p. 331-335.
- VDI/VDE/DGQ 2618 - Part 1, 1991 - "Testing Instructions for Checking Gauges and Measuring Tools" - Introduction; Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

7. DIREITOS AUTORAIS

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

COORDINATE MEASURING MACHINES FOR SQUARES CALIBRATION

José Leonardo Noronha, M. Eng. Mec.

Escola Federal de Engenharia de Itajubá – EFEI
Instituto de Engenharia Mecânica, Departamento de Produção
Cx. Postal 50, Itajubá-MG, CEP 37500-903, E-mail: jln@iem.efei.br

Carlos Alberto Schneider, Dr. Ing.

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC
Departamento de Engenharia Mecânica, Campus Universitário – Trindade
Cx. Postal 5053, Florianópolis – SC CEP 88040-970, E-mail: cas@certi.org.br

Luiz Fernando Barca, M.Sc.

Escola Federal de Engenharia de Itajubá - EFEI
Instituto de Engenharia Mecânica, Departamento de Produção
E-mail barca@iem.efei.br

***Abstract.** The Coordinate Measuring Machines - CMMs are widely used in the dimensional control workpieces in industry. Some CMMs with low uncertainties can also be used for calibration of gauges and measuring instruments. The squares calibration is usually accomplished through conventional methods, not always flexible and fast. Alternatively in CMMs this calibration can be accomplished in a flexible way and with a smaller cost, though the reversal method and CMM. In this article is presented the calibration of squares through the reversal method in CMM. The results show that the uncertainty obtained in the calibration is acceptable for this type of square.*

***Keywords.** coordinate measuring machine, calibration, squares.*