

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/317619966>

CONTROLO DE QUALIDADE DE DISTANCIÓMETROS ELECTROMAGNÉTICOS

Conference Paper · May 2009

CITATIONS

0

READS

69

3 authors, including:



Maria J. Henriques

National Laboratory for Civil Engineering

92 PUBLICATIONS 134 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



UASystems [View project](#)



Structures monitoring [View project](#)

CONTROLO DE QUALIDADE DE DISTANCIÓMETROS ELECTROMAGNÉTICOS

Maria João Henriques; Henrique Candeias; Fernando Catrau

Laboratório Nacional de Engenharia Civil – Núcleo de Geodesia Aplicada – Av. Brasil 101, 1700-066 Lisboa

(mjoao@lnec.pt; hcandeias@lnec.pt; fcatrau@lnec.pt)

RESUMO

Os distanciómetros electromagnéticos são, dos instrumentos utilizados em Geodesia e em Topografia, os que, em condições normais de utilização, apresentam uma maior variação do grau de incerteza. Com efeito, a natural degradação de alguns dos componentes destes instrumentos leva a que ocorra uma lenta redução da qualidade das medições. A estes factos podem, ainda, juntar-se outros, imprevistos, que podem originar uma degradação muito mais rápida da qualidade de medição.

Há, pois, necessidade de efectuar o controlo da qualidade dos valores obtidos, controlo este que pode ser efectuado em bases de teste. Estas bases de teste podem, também, ser utilizadas para calibrar os DEM, daí poderem ser denominadas, nestas condições, por “bases de calibragem”.

Havendo necessidade de controlar os distanciómetros electromagnéticos do Núcleo de Geodesia Aplicada (NGA) do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) foi instalada, no *campus* do LNEC, uma base de teste. Na presente comunicação é efectuada a descrição desta base e dos procedimentos aplicados durante o controlo de qualidade dos distanciómetros electromagnéticos do NGA, procedimentos estes que se encontram em conformidade com os descritos na norma ISO 17123-4.

1. Introdução

Os distanciómetros electromagnéticos (DEM), um dos instrumentos de medição convencionais utilizados em Geodesia e Topografia, apresentam, em condições normais de utilização, de armazenagem e de transporte, uma redução da qualidade de medição com o tempo (envelhecimento). As principais causas de envelhecimento são devidas às componentes electrónicas, sendo de salientar em especial as que ocorrem no oscilador, decorrentes das tensões produzidas num cristal de quartzo sintético, tensões estas resultantes da estrutura onde este está montado, das alterações nos circuitos e também nas características do quartzo. O envelhecimento obriga a que, regularmente, se deva verificar a incerteza de medição dos DEM, nomeadamente para comprovar se este cumpre as especificações necessárias.

De alguma informação existente na *internet* sobre a verificação das especificações de instrumentos e acessórios, constata-se que é sobre os DEM que se encontram mais referências, exactamente por ser o equipamento de medição geodésico/topográfico que mais alterações sofre. A descrição mais clara e completa dos procedimentos de controlo encontrada está disponibilizada em textos editados por diversos organismos australianos, nomeadamente o DSE (2008) e a ACT (2008). Todos os organismos consultados referem que os testes devem ser efectuados a intervalos de tempo que não ultrapassem 12 meses.

Alguns destes acrescentam que os testes devem também ser realizados quando ocorre uma reparação total ou parcial do instrumento, quando este opera em condições adversas, sempre que for alvo de uma pancada forte ou sofrer um acidente ou, ou ainda, se vier a ser utilizado em trabalhos de maior precisão do que aqueles em que é correntemente empregado.

Existindo a necessidade de, regularmente, testar os seus DEM, o Núcleo de Geodesia Aplicada (NGA) do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) promoveu a instalação, no seu *campus*, de uma base de teste. Na presente comunicação é efectuada a descrição desta e dos procedimentos operativos utilizados para verificar se os DEM apresentam os valores de incerteza esperados, procedimentos estes que cumprem o preconizado nas normas ISO. A presente comunicação inclui uma indicação das normas ISO relacionadas com equipamento de medição (em Fevereiro de 2008), a descrição da base de teste e dos procedimentos operativos que o NGA utiliza para testar o equipamento.

2. Normas ISO

A norma ISO 17123 “Óptica e instrumentos ópticos – Procedimentos de campo para testar instrumentos geodésicos e topográficos” destina-se a ser utilizada para verificar se determinado equipamento apresenta uma incerteza de medição em conformidade com um valor pré-estabelecido. Este pode ser o valor do fabricante do DEM e pretende-se, neste caso, verificar se o equipamento continua a possuir as características de medição iniciais. Pode ser ainda o valor estabelecido como o valor imprescindível para a execução de um trabalho de acordo com a exactidão estabelecida por contratador de um trabalho onde o equipamento seria utilizado. A norma ISO 17123 encontra-se dividida em diversas partes:

Parte 1 - Teoria: apresenta a teoria relacionada com os testes que são utilizados nas restantes partes da norma, nomeadamente as expressões empregadas para avaliar a incerteza de medição e os testes de hipóteses;

Parte 2 – Níveis;

Parte 3 – Teodolitos;

Parte 4 – Distanciómetros electromagnéticos;

Parte 5 – Taqueómetros Electrónicos;

Parte 6 – Lasers Rotativos;

Parte 7 – Prumos Ópticos;

Parte 8 – Sistemas de medição GNSS em modo cinemático e em tempo-real (RTK).

Relativamente aos acessórios também foram publicadas normas pela ISO – ISO 12858 “Óptica e instrumentos ópticos – Acessórios para instrumentos geodésicos” – também ela dividida em:

Parte 1 – Miras em invar;

Parte 2 – Tripés;

Parte 3 – Bases.

É necessário ter em conta que, quando está a ser aplicada uma norma ISO na verificação de instrumentos geodésicos e topográficos, se está a aplicar ao conjunto {"instrumento", "acessórios", "equipa de observação", "condições ambientais"}. No desenvolvimento das normas referidas houve a preocupação da ISO em tornar as regras de procedimento simples de serem seguidas e rápidas de serem executadas (ISO, 2001), sendo adequadas para serem utilizadas em campo, nas condições reais de trabalho onde o equipamento é utilizado.

3. Base de teste de DEM do LNEC

A base de teste está situada no *campus* do LNEC e é composta por cinco pilares de estacionamento, alinhados num terreno aproximadamente plano e horizontal (Figuras 1 e 2). Os pilares possuem peças de centragem forçada do tipo Wild, encontrando-se protegidos da incidência directa dos raios solares. O comprimento total da base é de 275 m.

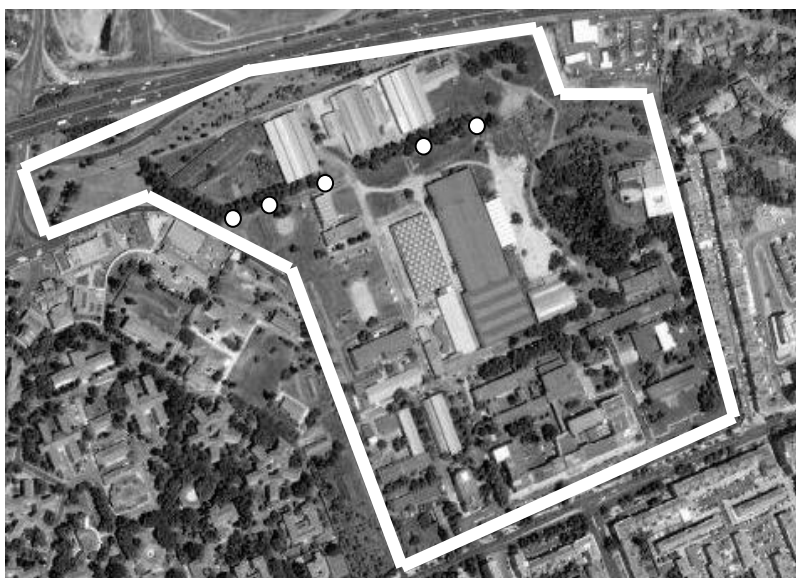


Figura 1 – *Campus* do LNEC: localização dos cinco pilares da base de teste

A base de teste do LNEC foi estabelecida para controlo dos DEM que o NGA utiliza na observação geodésica e topográfica de obras de engenharia para efeito do controlo de segurança das obras. Tendo em conta que, nos sistemas de observação onde o NGA realiza campanhas de observação, as distâncias habitualmente medidas são curtas ou médias, não existe necessidade da base ter uma grande extensão. Uma recolha de dados relativos aos sistemas de observação, existentes em arquivo no NGA, permitiu verificar que cerca de 90% das distâncias medidas têm comprimento inferior ao comprimento total da base (275m).



Figura 2 – Primeiros pilares da base de teste

4. Procedimentos de medição

Antes do início da medição, e à semelhança de todo o equipamento geodésico e topográfico, o DEM tem que ser ambientado. Uma regra empírica é a de esperar dois minutos por cada grau Celsius de diferença entre a temperatura no local de armazenagem do equipamento e a temperatura ambiente. No caso específico dos DEM é ainda necessário aquecer os osciladores pelo que devem ser efectuadas medições para um alvo durante alguns minutos. De modo a reduzir a influência dos erros dos acessórios deve ser utilizado um único prisma retro-reflector, com o respectivo suporte e base de centragem com rótula. O instrumento deve também utilizar sempre a mesma base de centragem com rótula.

Durante as campanhas de medição realizadas pelo NGA nas redes de observação geodésica, há a preocupação de realizar as medições angulares lineares nos períodos do dia em que não há turbulência do ar. Do mesmo modo, as medições na base devem ser realizadas em períodos, tanto quanto possível, termicamente estáveis. De um modo semelhante ao que acontece durante as campanhas, sempre que o Sol incide sobre o DEM e sobre o prisma, estes devem permanecer à sombra de guarda-sóis.

É fundamental medir as grandezas atmosféricas temperatura, pressão e humidade, tanto junto do DEM como do prisma. Pelo facto da base de teste ter um comprimento pouco extenso e de, em condições normais, a pressão e humidades atmosféricas serem grandezas que pouco variam, as medições destas poderão ser efectuadas com uma frequência menor e unicamente junto do DEM.

Em cada estacionamento a distância para cada prisma é medida quatro vezes, devendo-se adoptar procedimentos de medição que reduzam o tempo gasto. Assim, sempre que possível, deve-se recorrer ao registo automático dos valores das distâncias (para simplificar

o trabalho de gabinete deve-se optar pelo registo das distâncias horizontais) e, caso se esteja a medir as grandezas atmosféricas com um equipamento dotado de um sistema de registo interno, das grandezas atmosféricas. Em cada registo deve ainda constar a hora de medição.

De cada pilar devem ser medidas as distâncias para os pilares que se encontram “para a frente”, como se pode deduzir da leitura do Quadro 1. As distâncias apresentadas são horizontais e aproximadas ao decímetro. Durante as medições o operador deve controlar os valores medidos, eventualmente registando-os. Se surgir uma anomalia num valor deve ser aumentado o número de medições efectuadas. Se a dispersão dos valores for considerada não aceitável devem-se interromper as medições até serem apuradas e anuladas as causas de erro. As causas mais frequentes são resultantes da instabilidade das condições atmosféricas e da ocultação temporária do prisma.

Quadro 1 – Distâncias a medir na base de teste

Estação	Ponto Visado (distância)	Estação	Ponto Visado (distância m)
P1	P2 (025.0m)	P3	P4 (124.9m) P5 (174.6m)
	P3 (100.6m)		
	P4 (225.5m)		
	P5 (275.2m)		
P2	P3 (075.6m)	P4	P5 (049.7m)
	P4 (200.5m)		
	P5 (250.2m)		

5. Ajustamento e teste das medições

Em gabinete, a primeira etapa do tratamento dos dados destina-se a efectuar as médias das medições entre pilares, a corrigir as distâncias do efeito das condições atmosféricas (Casaca, 2000) e, se necessário, a reduzi-las ao plano horizontal. O valor da temperatura utilizado para corrigir cada distância deve ser a média das temperaturas medida junto aos pilares “estação” e “ponto visado”.

A etapa seguinte destina-se ao ajustamento das medições, já corrigidas e reduzidas. Na base de teste do LNEC podem ser medidas um total de dez distâncias, sendo que as incógnitas são as quatro distâncias horizontais entre o pilar 1 e os restantes quatro pilares – Ω_{12} , Ω_{13} , Ω_{14} , Ω_{15} – e o erro de índice, A_{00} . Entre as incógnitas e as distâncias horizontais medidas podem ser estabelecidas relações lineares indicadas em (1):

$$\begin{cases} D_{12} = \Omega_{12} + A_{00} \\ D_{13} = \Omega_{13} + A_{00} \\ D_{14} = \Omega_{14} + A_{00} \\ D_{15} = \Omega_{15} + A_{00} \\ D_{23} = \Omega_{13} - \Omega_{12} + A_{00} \end{cases} \quad \begin{cases} D_{24} = \Omega_{14} - \Omega_{12} + A_{00} \\ D_{25} = \Omega_{15} - \Omega_{12} + A_{00} \\ D_{34} = \Omega_{14} - \Omega_{13} + A_{00} \\ D_{35} = \Omega_{15} - \Omega_{13} + A_{00} \\ D_{45} = \Omega_{15} - \Omega_{14} + A_{00} \end{cases} \quad (1)$$

onde D_{ev} representa a distâncias horizontal medida entre a estação (e) e o ponto visado (v), já corrigida do efeito das condições atmosféricas. Recorrendo à representação matricial, este sistema de equações apresenta-se na forma

$$A X = Y \quad (2)$$

onde X representa o vector das incógnitas, composto por

$$X^T = [\Omega_{12} \quad \Omega_{13} \quad \Omega_{14} \quad \Omega_{15} \quad A_{00}] \quad (3)$$

Y representa o vector das distâncias horizontais corrigidas e A a matriz dos coeficientes:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

A solução habitualmente escolhida,

$$\bar{X} = (A^T A)^{-1} A^T Y \quad (5)$$

é a que minimiza a norma do vector dos resíduos. Estimado o vector \bar{X} pode-se, com base na equação (5), estimar o vector \bar{Y} e, conseqüentemente, o vector dos resíduos $V(m,1)$:

$$V = Y - \bar{Y} = Y - A\bar{X} \quad (6)$$

e o escalar q^2 , associado à soma dos quadrados dos resíduos:

$$q = \sqrt{V^T V} \quad (7)$$

Com base em q , incerteza de medição *a posteriori*, é possível efectuar testes de hipóteses e verificar se o instrumento respeita a incerteza de medição (σ), estabelecida *a priori*. Os testes apresentados na norma ISO 17123-4 são os indicados no Quadro 2.

Quadro 2 – Testes estatísticos incluídos em ISO 17123-4

	Questão	Hipótese nula	Hipótese alternativa
1	A incerteza de medição (q) é menor ou igual à incerteza de medição estabelecida <i>a priori</i> σ	$q \leq \sigma$	$q > \sigma$
2	Considerando dois instrumentos, A e B, ou o mesmo instrumento testado em duas épocas distintas, A e B, as duas amostras de medições pertencem à mesma população	$\sigma_A = \sigma_B$	$\sigma_A \neq \sigma_B$
3	O erro de índice é igual ao valor de referência	$A_{00} = A_{00,r}$	$A_{00} \neq A_{00,r}$

No Quadro 3 apresentam-se as variáveis de teste e regiões de aceitação para as três questões indicadas no Quadro 2.

Quadro 3 – Regiões de aceitação dos testes estatísticos

	Variável de teste	Região de aceitação
1	q	$\left[0, \sigma \sqrt{\frac{\chi_{1-\alpha}^2(f)}{f}} \right]$
2	$\frac{q_A^2}{q_B^2}$	$\left[\frac{1}{F_{1-\alpha/2}(f, f)}, F_{1-\alpha/2}(f, f) \right]$
3	$ A_{00} - A_{00,ref} $	$\left[0, s_{A_{00}} T_{1-\alpha/2}(f) \right]$

representando $f (=m-n)$ os graus de liberdade, α o nível de significância do teste, enquanto χ^2 , F e T representam os valores assumidos pelas distribuições χ^2 , F e T . O valor atribuído a este nível é arbitrado, sendo mais frequente utilizar os valores 0.05, quando se pretende um teste significativo, ou 0.01, quando se pretende um teste altamente significativo (Henriques *et al.*,

2000). Quanto à variável s_{A00} (questão 3 do Quadro 2), esta representa o desvio padrão do erro de índice, o qual é determinado com base no desvio padrão de uma medição (s)

$$s_{A00} = \frac{s}{\sqrt{n-1}} \quad (8)$$

sendo s calculado por

$$s = \sqrt{\frac{q^2}{f}} \quad (9)$$

6. Exemplo

O exemplo que se apresenta envolve o teste de três DEM Leica (entre parêntesis indica-se o ano em que foram adquiridos) – DI2002 (1996); TCA2003 (2001) e TC2003 (2008). O DI2002 é um DEM que é acoplado a um teodolito T2002, os restantes dois são DEM integrados em taqueómetros electrónicos. De acordo com o fabricante a incerteza de medição destes DEM é 1 mm + 1 ppm e o erro de índice tem o valor 0 mm.

Em Dezembro de 2008 foram efectuadas medições na base de teste. Os valores medidos (distâncias inclinadas) foram corrigidos do efeito das condições atmosféricas e reduzidos ao horizonte. Na Figura 3 apresentam-se as diferenças entre as distâncias medidas pelo DI2002 e pelo TCA2003 em relação ao DEM mais recente (o do TC2003). Pode-se verificar que as distâncias quando medidas com o TC2003, o equipamento mais recente, apresentam valores um pouco menores que quando medidas com os outros dois DEM (uma única excepção, a distância de 275m medida com o TCA2003).

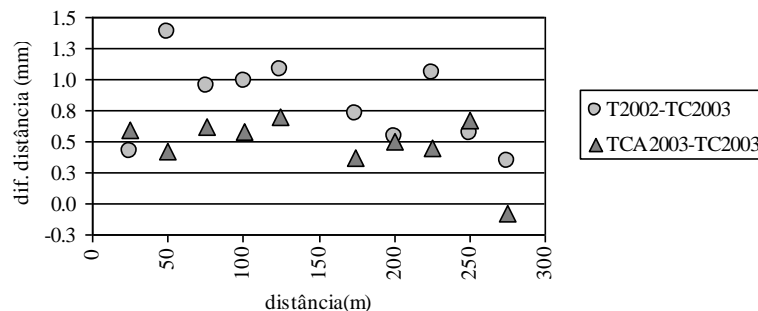


Figura 3 – Diferença das distâncias relativamente ao TC2003

Na Figura 4 apresentam-se as razões, em partes por milhão (ppm), entre os módulos das diferenças das distâncias e o comprimento das respectivas distâncias. A análise da Figura 4 permite verificar que, com excepção de uma situação, o erro é proporcionalmente menor quando as distâncias são mais longas. Esta situação poderá indicar a influência de um erro que pode ser resultante do sistema de centragem, intrínseco ao equipamento (DEM e/ou prisma) ou da incorrecta verticalização do equipamento (causa provável do erro que afectou a distância de 50m medida pelo DI2002).

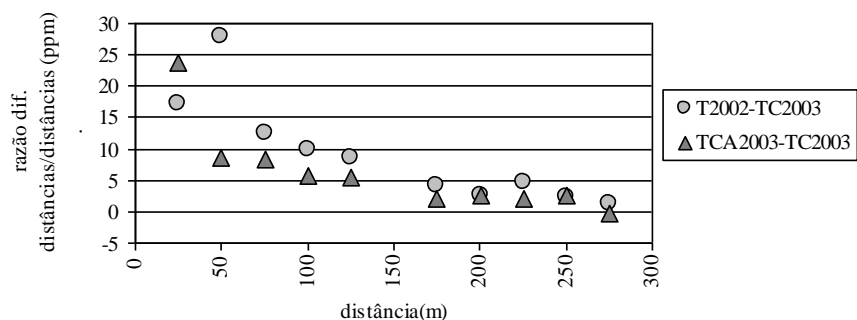


Figura 4 – Razão entre a diferença das distâncias e as distâncias medidas

No Quadro 4 apresenta-se o resumo do resultado dos testes descritos nos Quadros 2 e 3, assim como o valor das variáveis envolvidas. O valor do nível de significância utilizado foi 0.05; o dos graus de liberdade 5. À incerteza de medição *a priori* foi atribuído o valor 1 mm. A análise do Quadro permite verificar que, nos vários testes realizados, ocorre uma única rejeição, que, no entanto, pelo que foi referido, poderá ser resultado de um estacionamento incorrecto do equipamento (teodolito e/ou prisma). Pode também concluir-se que os três DEM, mesmo o mais antigo, têm incertezas de medição inferiores a 1 mm, valor do fabricante.

Quadro 4 – Testes envolvendo três DEM

Variáveis	DI2002	TCA2003	TC2003
q^2	0.46	0.29	0.26
s	0.30	0.24	0.23
s do erro de índice	0.17	0.14	0.13
A incerteza de medição, q, é menor ou igual à incerteza de medição, σ, estabelecida <i>a priori</i> ?			
	DI2002	TCA2003	TC2003
Variável de teste	0.68	0.51	0.54
Região aceitação: [0,1.49]	A	A	A
Considerando dois instrumentos, A e B, será que as duas amostras de medições pertencem à mesma população?			
	T2002/TC2003	TCA2003/TC2003	T2002/TCA2003
Variável de teste	1.73	1.10	1.57
Região aceitação: [0.14,7.15]	A	A	A
O erro de índice é igual ao valor de referência ?			
	DI2002	TCA2003	TC2003
Variável de teste	0.69	0.34	0.42
Região aceitação limite inferior	0.00	0.00	0.00
Região aceitação limite superior	0.55	0.44	0.42
	R	A	A

7. Conclusões Finais

A base de teste de DEM do LNEC permite verificar a incerteza de medição destes equipamentos e pode, também, ser utilizada para a sua calibragem. Na calibragem de DEM (Henriques, 2002) procuram-se obter grandezas que permitam corrigir as distâncias medidas, obtendo-se assim distâncias mais próximas das “verdadeiras”. Refira-se que, para efectuar a calibragem de DEM numa base de calibragem, é necessário comparar as distâncias medidas com as obtidas ou por um DEM que apresente uma incerteza de medição inferior (por exemplo de uma gama mais elevada ou um da mesma gama mas calibrado mais recentemente) ou por um método de medição que assegure medições mais exactas e precisas. As distâncias resultantes são consideradas como distâncias de referência.

A base de teste de DEM do LNEC possui ainda condições para avaliar a incerteza de medição de ângulos horizontais obtidos por teodolitos e taqueómetros (norma ISO 17123 parte 3) e a incerteza de medição de desníveis medidos por níveis (norma ISO 17123 parte 2).

Referências Bibliográficas

ACT (2008): “ACT Planning & Land Authority: EDM Calibration”, <http://www.actpla.act.gov.au>, Survey, place names, data & maps > EDM Calibration, consultado em Janeiro de 2008.

Casaca, J.M. (2000) – A Correção Instrumental e Ambiental dos Distanciómetros Electrónicos. LNEC, Informação Científica e Técnica ITB 20, Lisboa.

DSE (2008): “Department of Sustainability and Environment: Survey Equipment Calibration - EDMs, Staves, Tapes and Bands”, <http://www.dse.vic.gov.au> > Property, Titles and Maps > Surveying > Government surveying services > Survey Equipment Calibration, consultado em Janeiro de 2008.

Henriques, M. J. et Casaca, J. (2000): “O Controlo de Qualidade em Redes Locais para a Observação de Grandes Barragens”. II Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia, Luso.

Henriques, M.J. (2002): “Estratégia para a Calibragem de Distanciómetros Electromagnéticos Utilizados na Observação Geodésica de Barragens”, LNEC, Informação Científica e Técnica ITB 26, Lisboa.

ISO (2001): “Optics and Optical Instruments – Field Procedures for Testing Geodetic and Surveying Instruments – Part 4: Electro-Optical Distance Meters (EDM Instruments). ISO 17123-4:2001(E).