



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

CENTRO DE INSTRUMENTAÇÃO CIENTÍFICA
Núcleo de Qualidade Metrológica

Proc. 1104/11/16134

PROCEDIMENTO PARA CALIBRAÇÃO DE CALIBRADORES DE EXTENSÓMETROS NO LCAM/LNEC (VERSÃO 1)

Estudo realizado no âmbito do Projecto de Investigação "Reforço das Capacidades Metrológicas nos Domínios das Grandezas Comprimento, Massa, Pressão e Temperatura"

Lisboa • Janeiro de 2008

I&D INSTRUMENTAÇÃO CIENTÍFICA

RELATÓRIO 6/2008 – NQM

Procedimento de Calibração de Calibradores de Extensómetros no LCAM/LNEC

Resumo

O presente relatório apresenta um procedimento para a calibração de calibradores de extensómetros elaborado no LCAM/LNEC.

Calibration Procedure of Strain Gage Calibrators at LCAM/LNEC

Abstract

This report presents a procedure for the calibration of strain gage calibrators developed at LCAM/LNEC.

Procédure d'Étalonnage d'Étalonneurs de Jauges de Déformation au LCAM/LNEC

Résumé

Ce rapport présente une procédure pour l'étalonnage d'étalonneurs de jauges de déformation élaborée au LCAM/LNEC.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
2. CONTEÚDO DO RELATÓRIO	2
Anexo 1 Procedimento para calibração de calibradores de extensómetros no LCAM/LNEC	5

PROCEDIMENTO PARA CALIBRAÇÃO DE CALIBRADORES DE EXTENSÓMETROS NO LCAM/LNEC (VERSÃO 1)

1 INTRODUÇÃO

No âmbito do processo “Reforço das Capacidades Metrológicas nos domínios das grandezas Comprimento, Massa, Pressão e Temperatura” o Núcleo de Qualidade Metrológica (NQM) do Centro de Instrumentação Científica tem promovido, entre outros estudos, a elaboração de procedimentos aplicáveis à calibração de instrumentos de medição e ao ensaio de equipamentos laboratoriais.

Esta actividade, considerada de significativo interesse para o Laboratório Central de Apoio Metrológico (LCAM/LNEC), inserido no NQM, está orientada, principalmente, para a satisfação das necessidades dos laboratórios de ensaio do LNEC ou de clientes externos.

Os referidos procedimentos, embora baseados, sempre que tal seja possível, em normas portuguesas, estrangeiras ou internacionais, têm, em regra, uma componente específica estudada em função das capacidades metrológicas do LCAM/LNEC e das tipologias dos instrumentos ou equipamentos a calibrar ou ensaiar.

Neste contexto, foram até agora preparados e revistos em versões melhoradas cerca de 40 procedimentos diferentes, contendo indicações pormenorizadas, tais como a descrição do equipamento de referência a utilizar, a descrição dos ensaios a realizar, a identificação dos resultados e dos desvios de calibração a quantificar e o conteúdo dos certificados a emitir.

O interesse da publicação periódica deste tipo de documentos resulta da introdução de novos procedimentos, situação que ocorre neste caso, ou da necessidade de introdução de revisões periódicas destes documentos ditada pela evolução dos processos operativos e pela adopção de normas mais exigentes, encontrando-se associados ao âmbito de acreditação do LCAM/LNEC no quadro do Sistema Português da Qualidade.

O objectivo desta iniciativa é divulgar a informação actualizada, ainda que de uma forma reservada, aos utentes do LCAM/LNEC, que assim poderão interpretar melhor os resultados das calibrações ou ensaios realizados.

2 CONTEÚDO DO RELATÓRIO

No presente relatório divulga-se, em anexo, o Procedimento E3401 designado por “Procedimento de Calibração de Calibradores de Extensómetros no LCAM/LNEC” (Versão 1), o qual constitui um procedimento interno por não ser conhecida nenhuma norma internacionalmente aceite aplicável a este tipo de calibração.

Este procedimento engloba um conjunto de ensaios que visam avaliar o grau de exactidão de um calibrador de extensómetros relativamente à indicação da grandeza mensurável: comprimento.

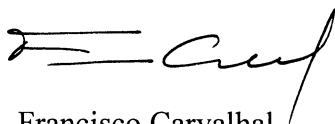
Como equipamento de referência para esta calibração, o LCAM/LNEC dispõe de comparadores que permitem estabelecer a rastreabilidade aos padrões primários da grandeza em causa em condições ambientais controladas (de temperatura e humidade relativa).

O processamento dos dados recolhidos é efectuado utilizando software dedicado desenvolvido no LCAM/LNEC o qual permite, também, a avaliação de incertezas de medição e a elaboração dos certificados de calibração.

O documento enumera as particularidades dos resultados obtidos nos ensaios e indica a informação a inserir nos certificados de calibração.

VISTOS

O Director do CIC

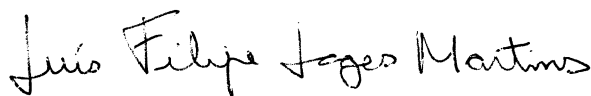


Francisco Carvalhal
Investigador Coordenador

AUTORIA



Álvaro Silva Ribeiro
Lic.º Física Tecnológica, Doutor
Investigador Auxiliar



Luís Filipe Lages Martins
Eng.º Mecânico
Bolsheiro de Iniciação à Investigação Científica



João Onofre Benevente
Eng.º Técnico
Técnico Especialista Principal

ANEXO 1

Procedimento para calibração de calibradores de extensómetros no LCAM/LNEC



Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Centro de Instrumentação Científica

Laboratório Central de Apoio Metrológico



Procedimento LCAM/LNEC E3401 – V.01

Calibrador de extensómetros

INDICE

1 - ÂMBITO E EQUIPAMENTO DE REFERÊNCIA.....	3
2 - PRINCÍPIO DE MEDIÇÃO.....	3
3 - MÉTODO DE CALIBRAÇÃO.....	3
4 - PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO.....	3
4.1 - Introdução.....	3
4.2 - Capacidade do LCAM para calibrar um calibrador de extensômetros.....	3
4.3 - Preparação da calibração.....	4
4.4 - Inspeção visual.....	4
4.5 - Montagem e preparação do equipamento a calibrar.....	4
4.6 - Ensaio de calibração.....	4
4.7 - Determinação dos resultados e da incerteza.....	5
4.8 - Certificado de calibração.....	5
5 - DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA.....	6
Anexo 1 - Modelo matemático e componentes de cálculo de incertezas.....	7

1 – ÂMBITO E EQUIPAMENTO DE REFERÊNCIA

O Laboratório Central de Apoio Metrológico executa a calibração de calibradores de extensómetros, cuja resolução não ultrapasse 0,001 mm e a gama de medição seja compreendida entre 0 mm e 25 mm.

Para realizar a calibração referida, o LCAM/LNEC dispõe do seguinte equipamento de referência:

- Grandeza comprimento: *comparadores digitais (e.g. equipamento com n.º inf. 297.01) com rastreabilidade ao padrão primário da grandeza comprimento.*

2 - PRINCÍPIO DE MEDIÇÃO

O princípio de medição consiste na aplicação directa de quantidades padrão da grandeza comprimento.

3 - MÉTODO DE CALIBRAÇÃO

O método de calibração baseia-se na comparação entre os comprimentos associados ao deslocamento imposto pelo calibrador de extensómetros e os valores indicados pelo equipamento de referência.

4 - PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO

4.1 - Introdução

Apresenta-se, a seguir, um procedimento de calibração de calibradores de extensómetros elaborado pelo LNEC.

4.2 - Capacidade do LCAM para calibrar um calibrador de extensómetros

Quando solicitado para calibrar um calibrador de extensómetros, o LCAM avaliará a sua capacidade para efectuar a operação tendo em conta o alcance e a resolução deste e a exactidão dos padrões de calibração.

A calibração só poderá efectuar-se quando os padrões de calibração possuírem uma exactidão pelo menos 3 vezes melhor do que o nível de exactidão requerida ao instrumento a calibrar (tipicamente, da ordem de 0,005 mm).

4.3 - Preparação da calibração

Colocar o calibrador de extensómetros e o comparador de referência no laboratório pelo menos 1 hora antes de executar o ensaio de calibração.

4.4 – Inspeção visual

Observar o aspecto exterior do calibrador de extensómetros e anotar eventuais sinais de degradação, designadamente nas pontas de contacto, no mecanismo de movimentação da ponta móvel e no contra-peso.

4.5 – Montagem e preparação do equipamento a calibrar

- a. *Instalar o calibrador de extensómetros no respectivo suporte e colocar o conjunto sobre a mesa de trabalho;*
- b. *Retirar a haste inferior (fixa) e instalar o adaptador na haste superior de modo a este ser utilizado como batente;*
- c. *Instalar o comparador no graminho e colocá-lo em contacto com a face inferior do adaptador;*
- d. *Seleccionar os patamares de calibração de modo a efectuar medidas com a face do parafuso micrométrico em diferentes posições. Para tal, dever-se-á seleccionar previamente um patamar com um comprimento de cerca de 20% da amplitude da gama de medição e outros 4 patamares de medição com comprimentos espaçados de 20% até se atingir o limite superior da escala.*

4.6 – Ensaio de calibração

O ensaio de calibração é descrito no procedimento seguinte.

A - Ensaio de exactidão da escala

- a. *Aplicar ao calibrador de extensómetros, sucessivamente e por ordem crescente, os deslocamentos anteriormente seleccionados, de modo a percorrer a gama de medição desde o limiar até ao limite superior e retorno a zero, tomando nota dos valores lidos no micrómetro do calibrador de extensómetros e das correspondentes leituras observadas no comparador de referência;*
- b. *Repetir o procedimento descrito em a.*

B - Ensaio de repetibilidade dos resultados

- a. *Seleccionar um patamar de ensaio correspondentes a cerca de 50% da gama de medição;*
- b. *Realizar o zero dos equipamentos de referência e a calibrar e promover o deslocamento selecionado usando o micrómetro do calibrador de extensômetros correspondente a cerca de 50 % da gama de medição;*
- c. *Anotar o valor lido no calibrador de extensômetros e no comparador de referência;*
- d. *Repetir 4 vezes o procedimento descrito em b. e c.;*
- e. *Calcular a repetibilidade dos resultados dada pelo maior dos desvios-padrão experimentais obtidos para os patamares de ensaio.*

4.7 - Determinação dos resultados e da incerteza

- a. *Para cada patamar de ensaio e, independentemente, para cada ciclo de deslocamento crescente ou decrescente calcular:*
 - *O valor médio da amostra;*
- b. *Exprimir a repetibilidade dos resultados da calibração como a máxima dispersão dos valores medidos nos diversos patamares, de acordo com [1];*
- c. *Determinar a incerteza de medição expandida para um intervalo de confiança de 95% de acordo com [1-3].*

4.8 - Certificado de calibração

Preencher o certificado de calibração de acordo com [4] referindo:

- *A identificação do instrumento a calibrar;*
- *A identificação do equipamento e padrões de calibração utilizados;*
- *A temperatura e a humidade relativa ambientais;*

Calibrador de extensómetros

- *Os valores que compõem o quadro de resultados (valores de referência, valores médios e desvios da medição calculados);*
- *A repetibilidade dos resultados do ensaio de calibração;*
- *A incerteza de medição expandida para um intervalo de confiança de 95%.*

5 - DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

- [1] ISO, IEC, OIML e BIPM: *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*, 1995.
- [2] *Guia para a Expressão da Incerteza de Medição nos Laboratórios de Calibração*. Instituto Português da Qualidade, Monte da Caparica, 1996.
- [3] Ribeiro, A. - *Avaliação da Incerteza Associada à Calibração de Equipamentos de Medição de Comprimento por Comparação Directa*. Relatório LNEC 274/01, LNEC, Lisboa, 2001.
- [4] *Vocabulário Internacional de Metrologia*, 3ª Edição, Instituto Português da Qualidade, Monte da Caparica, 1996.

ANEXO 1 – Modelo matemático e componentes de cálculo de incertezas

De acordo com o relatório LNEC [5] onde este modelo matemático (relação funcional) é descrito, a sua expressão geral é dada por:

$$E_l = l_x - l_s + L[\bar{\alpha} \cdot \delta t + \delta \alpha \cdot \Delta \bar{t}] + \sum_k \delta l_{x,k} - \sum_i \delta l_{s,i} + \delta l_M$$

sendo a descrição das suas componentes apresentada a seguir.

l_x representa a leitura do equipamento a calibrar, l_s o valor convencionalmente verdadeiro do equipamento de referência e E_l o valor do erro de medição (erro absoluto determinado pela calibração).

No que se refere à componente associada à leitura do equipamento, l_x , esta incorpora uma parcela relativa à *repetibilidade instrumental*, à *repetibilidade associada ao operador* e as *reprodutibilidades associadas a operadores* distintos, a *metodologias* distintas e a *equipamentos de referência* diferenciados, quando aplicável.

No presente caso, apenas se contabiliza a parcela relativa à *repetibilidade instrumental*, por não se observar a existência de condições que motivem a contabilização das parcelas relativas à *reprodutibilidade associada a operadores* distintos, a *métodos* distintos e a *instrumentação de referência* diferenciada. No que refere à *repetibilidade associada ao operador*, foram desenvolvidos estudos que evidenciam que esta parcela se pode considerar desprezável.

Das componentes de erro que são discriminadas como sendo associadas ao desempenho do equipamento a calibrar ($\sum_k \delta l_{x,k}$), considera-se como contabilizável no cálculo de incertezas:

- O erro associado à resolução finita do equipamento a calibrar, $\delta l_{x,R}$;

As componentes de erro associadas ao desempenho do equipamento de referência ($\sum_i \delta l_{s,i}$) são:

- A deriva média observada entre calibrações sucessivas, $\delta l_{s,D}$;
- O erro associado à não linearidade e ao erro de zero do equipamento de referência, $\delta l_{s,L}$;
- O erro de reversibilidade do equipamento de referência, $\delta l_{s,H}$;
- O erro associado à estabilidade da indicação do equipamento de referência, $\delta l_{s,E}$;
- O erro associado à resolução finita do padrão, $\delta l_{s,R_p}$;
- O erro associado à correcção dos valores lidos no equipamento de referência, $\delta l_{s,C}$;

Finalmente, δl_M representa a componente de erro relativo à metodologia aplicada.

Usando as componentes descritas, o modelo matemático genérico aplicável à calibração toma uma forma que permite a aplicação da LPI.

$$E_l = l_x - l_s + L[\bar{\alpha} \cdot \delta t + \delta\alpha \cdot \Delta\bar{t}] - \delta l_{s,D} - \delta l_{s,L} - \delta l_{s,H} - \delta l_{s,E} - \delta l_{s,R_p} - \delta l_{s,C} + \delta l_{x,R} + \delta l_M \quad (A1)$$

da qual resulta :

$$u^2(E_l) = \left(\frac{\partial E_l}{\partial l_x}\right)^2 u^2(l_x) + \left(\frac{\partial E_l}{\partial l_s}\right)^2 u^2(l_s) + \left(\frac{\partial E_l}{\partial \bar{\alpha}}\right)^2 u^2(\bar{\alpha}) + \left(\frac{\partial E_l}{\partial \delta t}\right)^2 u^2(\delta t) + u^2(\bar{\alpha}) \cdot u^2(\delta t) + \left(\frac{\partial E_l}{\partial \delta\alpha}\right)^2 u^2(\delta\alpha) + \left(\frac{\partial E_l}{\partial \Delta\bar{t}}\right)^2 u^2(\Delta\bar{t}) + u^2(\delta\alpha) \cdot u^2(\Delta\bar{t}) + \left(\frac{\partial E_l}{\partial \delta l_{s,D}}\right)^2 u^2(\delta l_{s,D}) + \left(\frac{\partial E_l}{\partial \delta l_{s,L}}\right)^2 u^2(\delta l_{s,L}) + \left(\frac{\partial E_l}{\partial \delta l_{s,H}}\right)^2 u^2(\delta l_{s,H}) + \left(\frac{\partial E_l}{\partial \delta l_{s,E}}\right)^2 u^2(\delta l_{s,E}) + \left(\frac{\partial E_l}{\partial \delta l_{s,R_p}}\right)^2 u^2(\delta l_{s,R_p}) + \left(\frac{\partial E_l}{\partial \delta l_{s,C}}\right)^2 u^2(\delta l_{s,C}) + \left(\frac{\partial E_l}{\partial \delta l_{x,R}}\right)^2 u^2(\delta l_{x,R}) + \left(\frac{\partial E_l}{\partial \delta l_M}\right)^2 u^2(\delta l_M) \quad (A2)$$

Os dados de referência e de teste que são incorporados nas tabelas de cálculo de incertezas de medição são os que constam da tabela que a seguir se apresenta.

Tabela A1 – Descrição de características das componentes de incerteza

Componente do cálculo	Parcela(s) incorporada(s) na componente / sua origem	PDF adoptada	Coefficiente de sensibilidade	Graus de liberdade *
l_x	Repetibilidade Instrumental	Normal	1	$(n - 1)$ **
l_s	Parcelas indicadas no certificado de calibração.	Normal	1	50
$[\bar{\alpha} \delta t]$	$L \cdot \bar{\alpha}^2 \text{var}[\delta t]$	Rectangular	$1.15 \cdot 10^{-5} L \text{ mm.K}^{-1}$	
	$L \cdot \delta t^2 \text{var}[\bar{\alpha}]$	Triangular	0	50
	$L \cdot \text{var}[\bar{\alpha}] \text{var}[\delta t]$	Normal	1	
$[\delta\alpha \Delta\bar{t}]$	$L \cdot \delta\alpha^2 \text{var}[\Delta\bar{t}]$	Normal	0	
	$L \cdot \Delta\bar{t}^2 \text{var}[\delta\alpha]$	Rectangular	0	50
	$L \cdot \text{var}[\delta\alpha] \text{var}[\Delta\bar{t}]$	Normal	1	
$\delta l_{s,D}$	Estimativa de limites de var.	Rectangular	- 1	50
$\delta l_{s,L}$	Estimativa de limites de var.	Rectangular	- 1	50
$\delta l_{s,H}$	Estimativa de limites de var.	Rectangular	- 1	50
$\delta l_{s,E}$	Estimativa de limites de var.	Rectangular	- 1	50
$\delta l_{s,R_p}$	Não aplicável			
$\delta l_{s,C}$	Parcelas indicadas no certificado de calibração ***.	Rectangular	- 1	50
$\delta l_{x,R}$	Observação	Rectangular	1	50
δl_M	Estimativa de limites de var.	Rectangular	1	50

* Os graus de liberdade indicados são aqueles geralmente adoptados, podendo ser modificados quando justificados pelas condições específicas de execução das calibrações.

** n representa a dimensão da amostra experimental utilizada na determinação da repetibilidade (estimada com base no desvio-padrão experimental da média).

*** Desvio de paralelismo entre as faces do equipamento de referência.

