



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

CENTRO DE INSTRUMENTAÇÃO CIENTÍFICA  
Núcleo de Qualidade Metrológica

Proc. 1104/11/17804

## PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO UNIDIMENSIONAL TRIMOS

Estudo realizado no âmbito do Projecto de Investigação  
“Desenvolvimento da Qualidade Metrológica de  
Instrumentação Científica Aplicada em Engenharia Civil”

Lisboa • Setembro de 2011

**I&D** INSTRUMENTAÇÃO CIENTÍFICA

RELATÓRIO 299/2011 – **NQM**



## **Procedimento de Calibração do Sistema de Medição Unidimensional Trimos**

### **Resumo**

O presente relatório apresenta um procedimento de calibração de um sistema de medição unidimensional Trimos desenvolvido no Centro de Instrumentação Científica do LNEC e realizado no Laboratório Central de Apoio Metroológico (LCAM/LNEC). Este equipamento constitui um padrão de transferência do laboratório aplicado na calibração de instrumentos de medição, nomeadamente, comparadores, transdutores de deslocamento e cabeças micrométricas.

## **Calibration Procedure of a Trimos Unidimensional Measuring Machine**

### **Abstract**

This report presents a calibration procedure of a Trimos unidimensional measuring machine developed at LNEC's Scientific Instrumentation Centre and performed at the Central Laboratory for Metrological Support (LCAM/LNEC). This equipment constitutes a laboratorial transfer standard used in the calibration of measuring instruments, such as, dial gauges, displacement transducers and micrometer heads.

## **Procédure d'Étalonnage du Système de Mesure Unidimensionnelle Trimos**

### **Résumé**

Ce rapport présente une procédure pour l'étalonnage du système de mesure unidimensionnelle Trimos développée au Centre d'Instrumentation Scientifique du LNEC et réalisée au Laboratoire Central de Soutien Métrologique (LCAM/LNEC). Cet équipement est un étalon de transfert du laboratoire appliqué sur l'étalonnage des instruments de mesure, à savoir, comparateurs, transducteurs de déplacement et des têtes micrométriques.



# ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. CONTEÚDO DO RELATÓRIO .....</b>	<b>3</b>
<b>Anexo 1</b> Procedimento de Calibração do Sistema de Medição	
Unidimensional Trimos Tuml .....	5



# PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO UNIDIMENSIONAL TRIMOS

## 1 INTRODUÇÃO

No âmbito do processo “Desenvolvimento da Qualidade Metrológica de Instrumentação Científica Aplicada em Engenharia Civil”, 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 metrológico de equipamentos laboratoriais.

Esta actividade foi inicialmente orientada para a satisfação das necessidades do Laboratório Central de Apoio Metrológico (LCAM/LNEC), inserido no NQM, dos laboratórios de ensaio acreditados do LNEC e, ainda, de clientes externos ao LNEC. No entanto, a vocação natural de serviço transversal do NQM tem conduzido a uma crescente solicitação deste tipo de actividade por parte de outros sectores do LNEC, bem como de entidades externas, que desenvolvem acções fora do ambiente laboratorial comum, nomeadamente, realizando a medição e monitorização de grandezas em ambiente industrial e em ensaios de campo.

No presente caso, trata-se da calibração interna de um padrão de transferência cuja importância decorre do facto de se encontrar numa segunda linha da cadeia de rastreabilidade dimensional de diversos instrumentos de medição calibrados no LCAM/LNEC, nomeadamente, comparadores, transdutores de deslocamento e cabeças micrométricas, sendo a sua rastreabilidade estabelecida com base em padrões de referência do laboratório, designadamente, colecções de blocos-padrão.

Os procedimentos de calibração e ensaio metrológico desenvolvidos no NQM são, regra geral, baseados em normas portuguesas ou, na ausência destas, em normas estrangeiras ou internacionais. Neste contexto, porém, dada a inexistência de normas aplicáveis, o LCAM/LNEC desenvolveu um procedimento interno que assegura a qualidade da sua função, suportada numa caracterização metrológica do equipamento em causa, considerada crítica para assegurar o bom desempenho instrumental, na identificação dos padrões de referência adequados, na selecção dos métodos de ensaio adequados à avaliação do nível de exactidão da escala e da descrição detalhada das etapas do procedimento de calibração.

Num contexto mais amplo refira-se que o procedimento que é objecto do presente relatório faz parte do acervo de mais de 60 procedimentos de calibração e de ensaio metrológico desenvolvidos pelo NQM, os quais contêm indicações pormenorizadas dos diferentes aspectos que suportam os serviços prestados pelo LCAM constituindo uma parte importante do Sistema de Gestão (da Qualidade) deste laboratório, que se encontra acreditado desde 1994.

A publicação deste tipo de documentos resulta da necessidade de consolidação e disseminação de conhecimento associado à introdução de novos procedimentos, bem como, da necessidade de introdução de revisões periódicas dos documentos previamente editados (situação que ocorre neste caso), ditada quer pela evolução dos processos operativos quer pela adopção de requisitos mais exigentes. Esta iniciativa serve também para divulgar informação relevante e actualizada, ainda que de uma forma reservada, aos clientes do LCAM/LNEC, que assim poderão interpretar melhor os resultados das calibrações ou dos ensaios metrológicos realizados e apresentados nos certificados emitidos pelo LCAM/LNEC.

## 2 CONTEÚDO DO RELATÓRIO

No presente relatório é divulgado, em Anexo, o Procedimento E2501 designado por “Procedimento de Calibração do Sistema de Medição Unidimensional Trimos Tulum”, o qual foi elaborado com base num procedimento interno visando efectuar a avaliação de um conjunto de requisitos metrológicos que pretendem assegurar a qualidade das medições neste padrão de transferência do laboratório.

O procedimento de calibração é constituído por quatro secções principais que incluem:

- a avaliação do nível de exactidão da escala;
- a avaliação da repetibilidade do ensaio;
- o método de avaliação das incertezas de medição tendo em conta as contribuições associadas aos padrões de referência, ao equipamento a ensaiar, ao método de calibração e à influência do operador (quando aplicável);
- e o conteúdo informativo do certificado de calibração.

A concretização destes ensaios é efectuada nas instalações do LCAM/LNEC com recurso a padrões de referência deste laboratório, rastreados aos padrões primários da grandeza comprimento.

**VISTOS**

O Director do CIC,



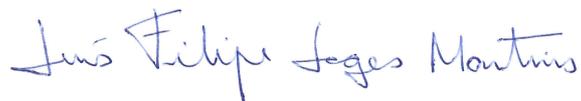
Carlos Oliveira Costa

**AUTORIA**



Álvaro Silva Ribeiro

Lic.º em Física Tecnológica, Doutor  
Investigador Auxiliar, Chefe do NQM



Luís Filipe Lages Martins

Lic.º em Engenharia Mecânica  
Bolsheiro de Doutoramento

## **ANEXO 1**

### **Procedimento de Calibração do Sistema de Medição Unidimensional Trimos Tulum**





**Laboratório Nacional de Engenharia Civil**  
Centro de Instrumentação Científica  
Laboratório Central de Apoio Metrológico

---

**PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO E2501 (VERS. 1)**

**Sistema de Medição Unidimensional Trimos Tulm**



**INDICE**

---

<b>1 - ÂMBITO E EQUIPAMENTO DE REFERÊNCIA .....</b>	<b>3</b>
<b>2 - PRINCÍPIO DE MEDIÇÃO .....</b>	<b>3</b>
<b>3 - MÉTODO DE CALIBRAÇÃO .....</b>	<b>3</b>
<b>4 - PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO .....</b>	<b>3</b>
4.1 - Introdução .....	3
4.2 - Inspeção visual e preparação da calibração .....	4
4.3 - Procedimento de calibração .....	8
4.4 - Determinação dos resultados e da incerteza de medição.....	12
4.5 - Certificado de calibração.....	12
<b>5 - DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA .....</b>	<b>12</b>
<b>Anexo 1 - Modelo matemático e componentes da avaliação de incertezas .....</b>	<b>13</b>



## **1 – ÂMBITO E EQUIPAMENTO DE REFERÊNCIA**

---

O Laboratório Central de Apoio Metrológico (LCAM/LNEC) executa a calibração do sistema de medição unidimensional Trimos Tulum 0210-450 com resolução de 0,1  $\mu\text{m}$  e intervalo de medição compreendido entre 0 mm e 210 mm, efectuando a referida calibração no intervalo de 0 mm a 200 mm. Para realizar esta calibração, o LCAM/LNEC dispõe do seguinte equipamento padrão:

- *Colecções de blocos-padrão de grau 0 (até 100 mm) e de grau 2 (entre 100 mm e 200 mm).*

## **2 - PRINCÍPIO DE MEDIÇÃO**

---

O princípio de medição consiste na aplicação directa de blocos-padrão que materializam a grandeza comprimento e a medição efectuada pelo equipamento a calibrar.

## **3 - MÉTODO DE CALIBRAÇÃO**

---

O método de calibração baseia-se na comparação entre a materialização dos comprimentos de referência e os valores indicados pelo equipamento a calibrar.

## **4 - PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO**

---

### **4.1 - Introdução**

Apresenta-se, a seguir, um procedimento interno de calibração de um sistema de medição unidimensional Trimos Tulum 0210-450 com alcance (de utilização) até 200 mm elaborado pelo LCAM/LNEC.

No equipamento identificam-se um conjunto de elementos constituintes que são descritos no decurso deste documento e, de modo a facilitar a sua identificação, são apontados nas Figuras 1 a 3 que se seguem.



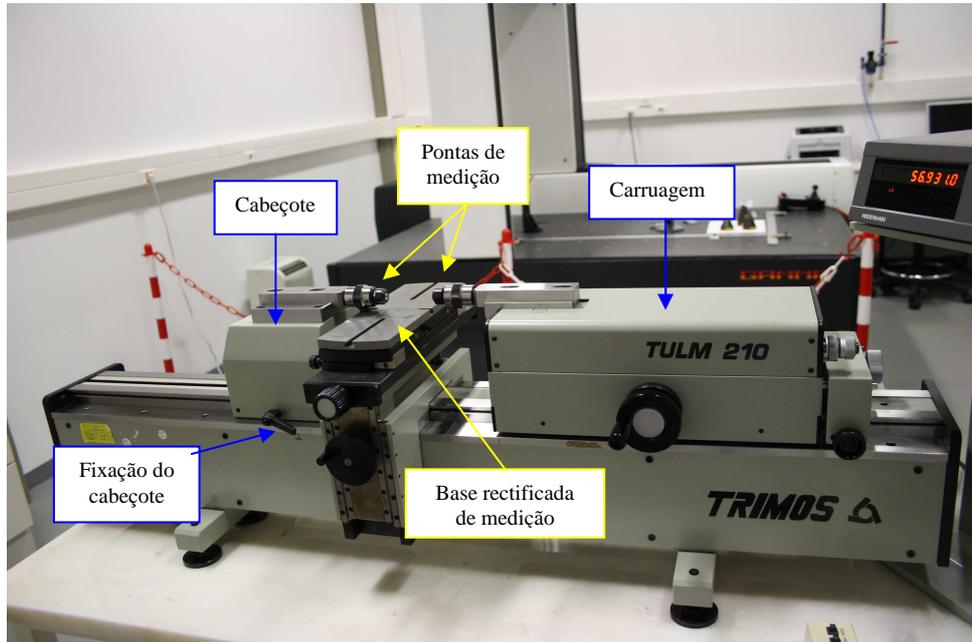
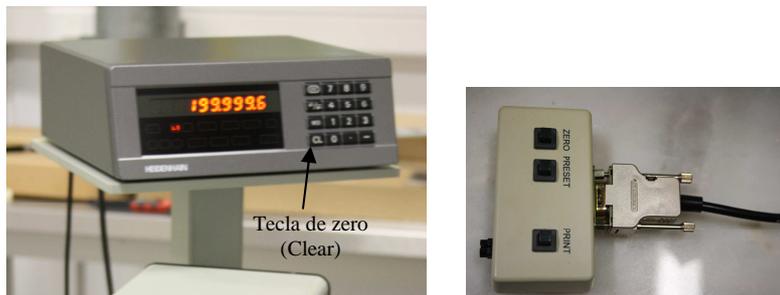


Figura 1 – Identificação de alguns dos elementos constituintes do sistema de medição



Figuras 2 e 3 – Indicador (à esquerda) e controlo remoto (à direita)

## 4.2 – Inspeção visual e preparação da calibração

Observar o aspecto do equipamento a calibrar e anotar eventuais sinais de degradação nos mecanismos de controlo do deslocamento, nas pontas de medição, no suporte de deslocamento da carruagem e no acabamento superficial da base rectificada de medição associada à carruagem do sistema.

Colocar os blocos-padrão na proximidade do equipamento (na sala laboratorial), pelo menos 24 horas antes de executar o ensaio de calibração.



Sistema de Medição Unidimensional Trimos Tulum

Verificar as ligações do banco do sistema de medição aos acessórios de ligação da alimentação de ar comprimido, indicador, controlo remoto e computador utilizado na aquisição de dados.

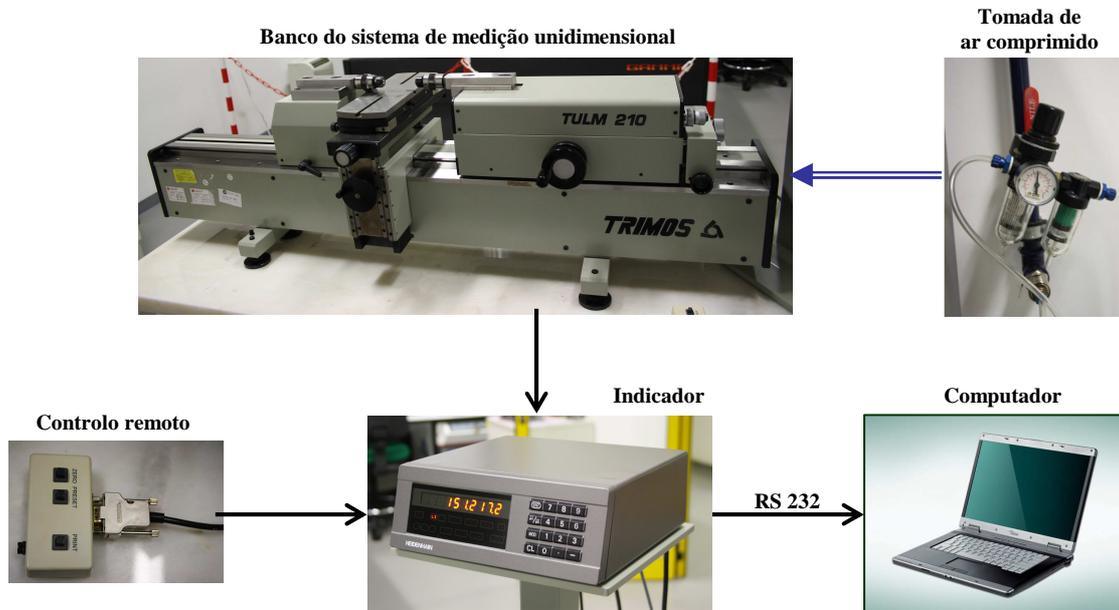


Figura 4 - Esquema de ligações entre elementos do sistema de medição



Figura 5 – Identificação das ligações de cabos ao indicador

Verificar se a alimentação de ar comprimido se encontra com uma pressão relativa compreendida entre 4 bar e 6 bar (Figura 6) e que a pressão fornecida à almofada da carruagem (Figura 7) se situa próxima de 1 bar (correspondente a uma força de aproximadamente 5 N).





Figuras 6 e 7 – Manômetros de indicação da pressão na tomada de fornecimento de ar comprimido (à esquerda) e na entrada do banco do sistema de medição unidimensional (à direita)

Proceder de acordo com as instruções da máquina, realizando as seguintes operações:

- alimentar o circuito pneumático com uma pressão relativa de 1 bar (equivalente a uma força de contacto entre as pontas de medição de cerca de 5 N);*
- encostar a carruagem do batente ao lado direito (Figura 8) no referencial da posição do operador;*
- fixar o cabeçote na posição de calibração “cal” (correspondente a uma distância entre a ponta de medição do cabeçote e a ponta de medição da carruagem na posição 1 superior a 200 mm) – vide Figura 8;*

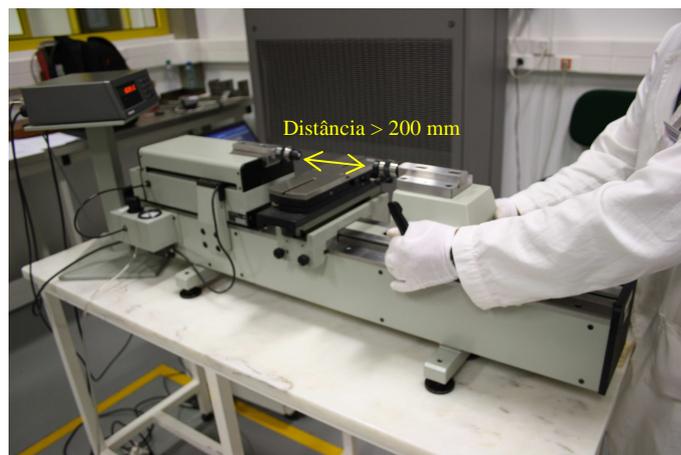


Figura 8 – Afastamento do cabeçote até se dispor de uma distância entre pontas superior a 200 mm



- d. aproximar a base rectificada do cabeçote fixo (Figura 9);

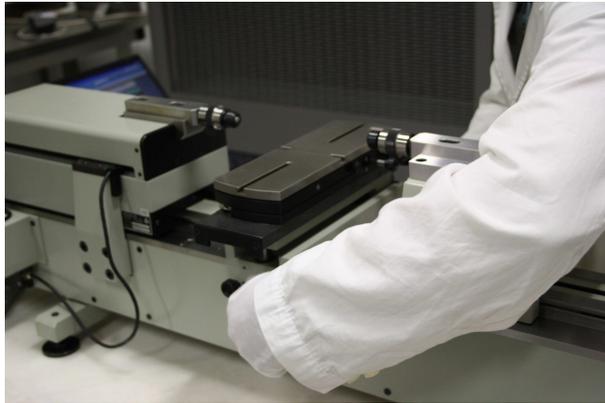


Figura 9 – Aproximação da base rectificada do cabeçote

- e. travar o cabeçote e deslocar a carruagem de modo que as pontas de medição fiquem encostadas (Figura 10);

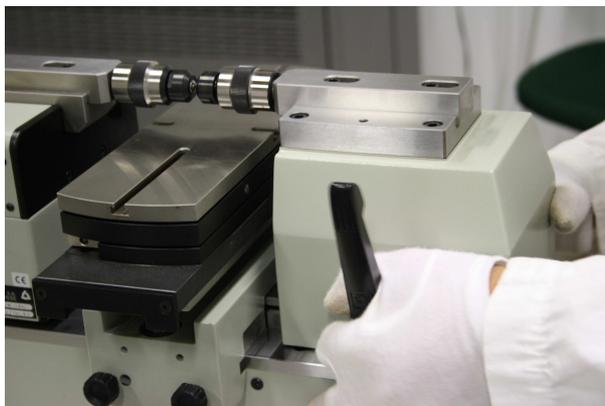


Figura 10 – Travamento do cabeçote e aproximação das pontas de medição

- f. inicializar a aplicação “WinWedge” no computador, usando as instruções do menu “File / Open / MS.ws1” seguindo-se a selecção das opções “Activate / Normal Mode”, acedendo ao modo de transferência de dados (Figura 11).

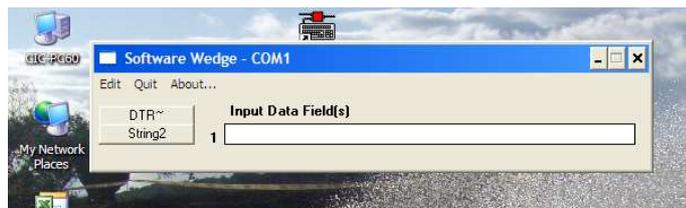




Figura 11 – Janela do software WinWedge em modo de aquisição

#### 4.3 - Procedimento de calibração

O ensaio de calibração consta de duas partes: a primeira visa a avaliação da exactidão da escala e a segunda visa a determinação da repetibilidade dos resultados.

##### *A - Ensaio para avaliação da exactidão da escala*

- a. deslocar a carruagem, mantendo as pontas encostadas, até que a ponta da carruagem atinja a posição 4 (Figura 12);

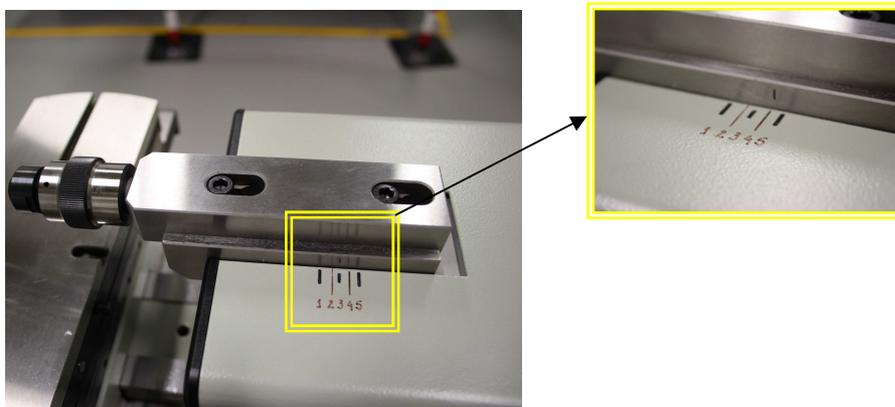


Figura 12 – Deslocação da carruagem até à ponta de medição se deslocar para a posição 4

- b. efectuar o zero do indicador carregando na tecla “CL” (Clear) – Figura 13;



Figura 13 – Realização do zero do indicador



- c. seleccionar um conjunto de blocos-padrão que realizem 11 patamares de ensaio desde 1 mm até 200 mm (tipicamente, os patamares de 1 mm, 2 mm, 5 mm, 10 mm, 20 mm, 50 mm e 100 mm com blocos-padrão de grau 0 e 125 mm, 150 mm, 175 mm e 200 mm com blocos-padrão de grau 2);
- d. seleccionar o bloco-padrão de menor comprimento;
- e. movimentar a carruagem de modo a afastar os pontos de medição de uma distância superior à do comprimento do bloco-padrão a utilizar;
- f. instalar o bloco-padrão em contacto com a ponta de medição do cabeçote fixo. No caso de blocos-padrão até 10 mm, em suspensão (usando uma camurça na base rectificada para evitar possíveis danos no bloco), e para blocos de dimensão superior, apoiados na base rectificada (Figuras 14 e 15);

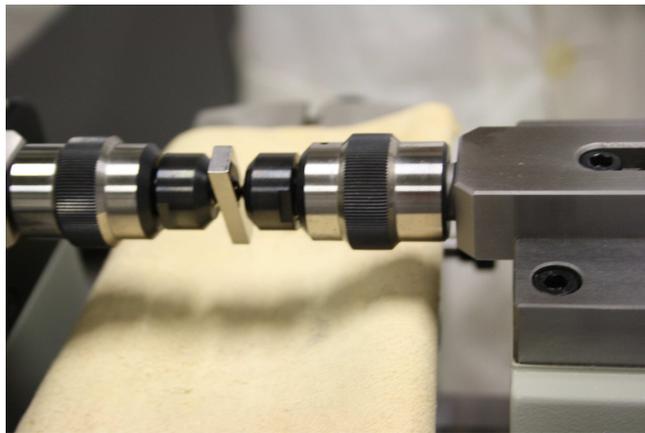


Figura 14 – Medição de bloco-padrão em suspensão

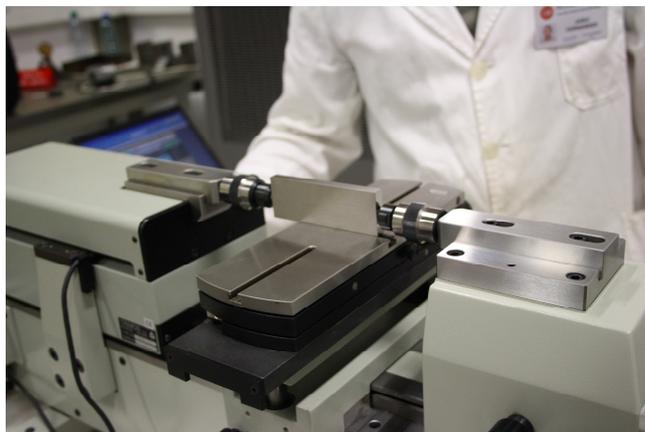


Figura 15 – Medição de bloco-padrão apoiado na base rectificada



- g. deslocar a base rectificada na sua vertical de modo que a medição dos blocos-padrão, quando apoiados nesta, seja efectuada a cerca de metade da altura destes (Figura 16);



Figura 16 – Posicionamento para medição do bloco-padrão apoiado na base rectificada

- h. movimentar a carruagem até que o bloco-padrão fique em contacto com as duas pontas de medição e que a ponta de medição da carruagem atinja novamente a posição 4;
- i. No caso da realização da medição com os blocos-padrão em apoio, procurar o melhor alinhamento correspondente ao menor valor de medição observado (Figura 17);

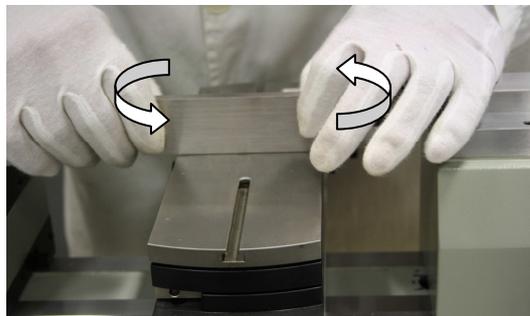


Figura 17 – Alinhamento do bloco-padrão com o eixo das pontas de medição

- j. transferir o valor medido para o boletim de ensaio usando a tecla “print” da unidade de controlo remoto (Figura 18);



Figura 18 – Teclas do controlo remoto



- k. *repetir duas vezes os passos do procedimento descritos de e. a j.;*
- l. *repetir os passos do procedimento descritos de e. a k. utilizando os restantes blocos-padrão seleccionados em c.*

**B - Ensaio para determinação da repetibilidade dos resultados**

- a. *seleccionar um bloco-padrão que materialize aproximadamente 25 % do alcance máximo útil (tipicamente, um bloco-padrão de valor nominal correspondente a 50 mm);*
- b. *encostar as pontas de medição até que a ponta da carruagem atinja a posição 4;*
- c. *efectuar o zero do indicador;*
- d. *movimentar a carruagem de modo a afastar as pontas de medição de uma distância superior à do comprimento do bloco-padrão a utilizar;*
- e. *instalar o bloco-padrão em contacto com a ponta de medição do cabeçote fixo;*
- f. *movimentar a carruagem até que o bloco-padrão fique em contacto com as duas pontas de medição e que a ponta de medição da carruagem atinja novamente a posição 4;*
- g. *transferir o valor medido para o boletim utilizando a tecla “print” da unidade de controlo remoto;*
- h. *repetir nove vezes os passos do procedimento descrito de b. a g.;*
- i. *repetir o procedimento descrito de b. a h. utilizando um bloco-padrão que materialize cerca de 75 % do alcance máximo útil (tipicamente, um bloco-padrão de valor nominal correspondente a 150 mm).*



#### 4.4 - Determinação dos resultados e da incerteza

a. Para cada patamar do ensaio de exactidão da escala calcular:

- O valor médio da amostra.

b. Para cada patamar do ensaio de repetibilidade calcular:

- O desvio-padrão experimental da amostra.

Exprimir a repetibilidade dos resultados da calibração como a máxima dispersão dos valores medidos nos dois patamares de ensaio, de acordo com [2].

c. Determinar a incerteza de medição expandida para um intervalo de confiança de 95% de acordo com [2-4].

#### 4.5 - Certificado de calibração

Preencher o certificado de calibração de acordo com [3] referindo:

- A identificação do equipamento a calibrar;
- A identificação dos padrões de referência utilizados;
- A temperatura e a humidade relativa ambientais;
- Os valores que compõem os quadros de resultados (valores de referência e valores médios e indicação da repetibilidade dos ensaios);
- A incerteza de medição expandida [2-4] para um intervalo de confiança de 95%;

### 5 - DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

---

- [1] “Vocabulário Internacional de Metrologia”, 3ª Edição, Instituto Português da Qualidade, 2008.
- [2] *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*. ISO, IEC, OIML e BIPM, 1995.
- [3] “Guia para a Expressão da Incerteza de Medição nos Laboratórios de Calibração” - Instituto Português da Qualidade, 1996.
- [4] “Avaliação da Incerteza Associada à Calibração de Equipamentos de Medição de Comprimento por Comparação Directa” – Relatório LNEC 274/01. LNEC, Lisboa, 2001.



**ANEXO 1 – Modelo matemático e componentes da avaliação de incertezas**

A calibração de equipamentos de medição dimensional visa a identificação e quantificação de desvios de calibração,  $\delta l_i$ , dados pelas diferenças entre os valores lidos (ou valores nominais, no caso de padrões que materializam uma grandeza dimensional),  $l_i$ , e os valores convencionais ou valores de referência,  $l_{s,i}$ , traduzindo-se esse modelo matemático na seguinte expressão:

$$\delta l_i = l_i - l_{s,i}. \quad (A1)$$

Os valores observados estão sujeitos ao efeito de dilatação térmica devido à variação de temperatura que habitualmente ocorre durante o processo de calibração, pelo que o modelo matemático anterior deverá ser complementado com a contribuição associada à correcção devido à diferença da temperatura dos equipamentos relativamente à temperatura de referência de 20 °C:

$$\delta l = l(1 + \alpha \cdot \delta\theta) - l_s(1 + \alpha_s \cdot \delta\theta_s), \quad (A2)$$

em que  $\delta\theta = (\theta - \theta_{ref}) = (\theta - 20^\circ\text{C})$  e  $\delta\theta_s = (\theta_s - \theta_{ref}) = (\theta_s - 20^\circ\text{C})$ .

A expressão (A2) pode ser reformulada da seguinte forma:

$$l = \frac{l_s(1 + \alpha_s \cdot \delta\theta_s) + \delta l}{(1 + \alpha \cdot \delta\theta)}, \quad (A3)$$

$$l = [l_s(1 + \alpha_s \cdot \delta\theta_s) + \delta l] \cdot \left[ \frac{1}{1 + \alpha \cdot \delta\theta} \right]. \quad (A4)$$

Considerando que o segundo termo do segundo membro é uma função do tipo  $(1 \pm x)^n$ , pode-se substituir esse termo pela seu desenvolvimento em série de Taylor (no caso, de terceira ordem), o qual possui a seguinte expressão genérica:

$$(1 \pm x)^n = 1 \pm n \cdot x + \frac{n(n-1)}{2!} \cdot x^2 \pm \frac{n(n-1)(n-2)}{3!} \cdot x^3 + R_3, \quad (A5)$$

onde  $R_3$  representa o termo residual de terceira ordem.

Aplicando (A5) ao segundo termo do segundo membro de (A4) desenvolvido na sua primeira ordem vem



$$(1 + \alpha \cdot \delta\theta)^{-1} = 1 - \alpha \cdot \delta\theta + R_1. \quad (\text{A6})$$

Usando esta aproximação em (A4) resulta

$$\begin{aligned} l &\approx [l_s(1 + \alpha_s \cdot \delta\theta_s) + \delta l] \cdot [1 - \alpha \cdot \delta\theta] \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow l &\approx l_s + \delta l + l_s \cdot \alpha_s \cdot \delta\theta_s - l_s \cdot \alpha \cdot \delta\theta - l_s \cdot \alpha_s \cdot \delta\theta_s \cdot \alpha \cdot \delta\theta - \delta l \cdot \alpha \cdot \delta\theta. \end{aligned} \quad (\text{A7})$$

assumindo que as relações de proporcionalidade seguintes são adequadas tendo em consideração as magnitudes das grandezas em causa,

$$l_s \cdot \alpha_s \cdot \delta\theta_s \cdot \alpha \cdot \delta\theta \ll l_s \cdot \alpha_s \cdot \delta\theta_s, \quad (\text{A8})$$

$$\delta l \cdot \alpha \cdot \delta\theta \ll \delta l. \quad (\text{A9})$$

Aplica-se uma simplificação à expressão (A7) que toma a seguinte forma:

$$l \approx l_s + \delta l + l_s \cdot \alpha_s \cdot \delta\theta_s - l_s \cdot \alpha \cdot \delta\theta \Leftrightarrow \quad (\text{A10})$$

$$\Leftrightarrow l \approx l_s + \delta l + l_s (\alpha_s \delta\theta_s - \alpha \cdot \delta\theta). \quad (\text{A11})$$

O passo final consiste em promover as mudanças de variáveis

$$\Delta\alpha = (\alpha - \alpha_s), \quad (\text{A12})$$

$$\Delta\theta = (\theta - \theta_s), \quad (\text{A13})$$

permitindo obter

$$\begin{aligned} l_s (\alpha_s \cdot \delta\theta_s - \alpha \cdot \delta\theta) &= -l_s (\alpha \cdot \delta\theta - \alpha_s \cdot \delta\theta_s) = \\ &= -l_s (\alpha \cdot \delta\theta - \alpha_s \cdot \delta\theta + \alpha_s \cdot \delta\theta - \alpha_s \cdot \delta\theta_s) = \\ &= -l_s (\delta\theta \cdot \Delta\alpha + \alpha_s \cdot \Delta\theta). \end{aligned} \quad (\text{A14})$$

e, conseqüentemente,

$$l \approx l_s + \delta l - l_s (\delta\theta \cdot \Delta\alpha + \alpha_s \cdot \Delta\theta). \quad (\text{A15})$$

Esta última expressão constitui o modelo matemático aplicável (de acordo com o GUM [2]) a este tipo de medição, de natureza dimensional, representando uma função das seguintes variáveis:



$$l = f(l_s, \delta l, \alpha_s, \delta\theta, \Delta\alpha, \Delta\theta). \tag{A16}$$

A determinação dos coeficientes de sensibilidade aplicada ao modelo matemático adoptado origina as seguintes parcelas:

$$c_{l_s} = \frac{\partial f}{\partial l_s} = 1 - (\delta\theta \cdot \Delta\alpha + \alpha_s \cdot \Delta\theta) \approx 1$$

$$c_{\delta l} = \frac{\partial f}{\partial(\delta l)} = 1$$

$$c_{\alpha_s} = \frac{\partial f}{\partial \alpha_s} = -l_s \cdot \Delta\theta \approx 0$$

$$c_{\delta\theta} = \frac{\partial f}{\partial(\delta\theta)} = -l_s \cdot \Delta\alpha \approx 0$$

$$c_{\Delta\alpha} = \frac{\partial f}{\partial(\Delta\alpha)} = -l_s \cdot \delta\theta$$

$$c_{\Delta\theta} = \frac{\partial f}{\partial(\Delta\theta)} = -l_s \cdot \alpha_s$$

Segue-se a identificação das fontes de incerteza que podem contribuir para a avaliação da incerteza de medição padrão, apontadas no diagrama que se segue e descritas na Tabela A1.1.

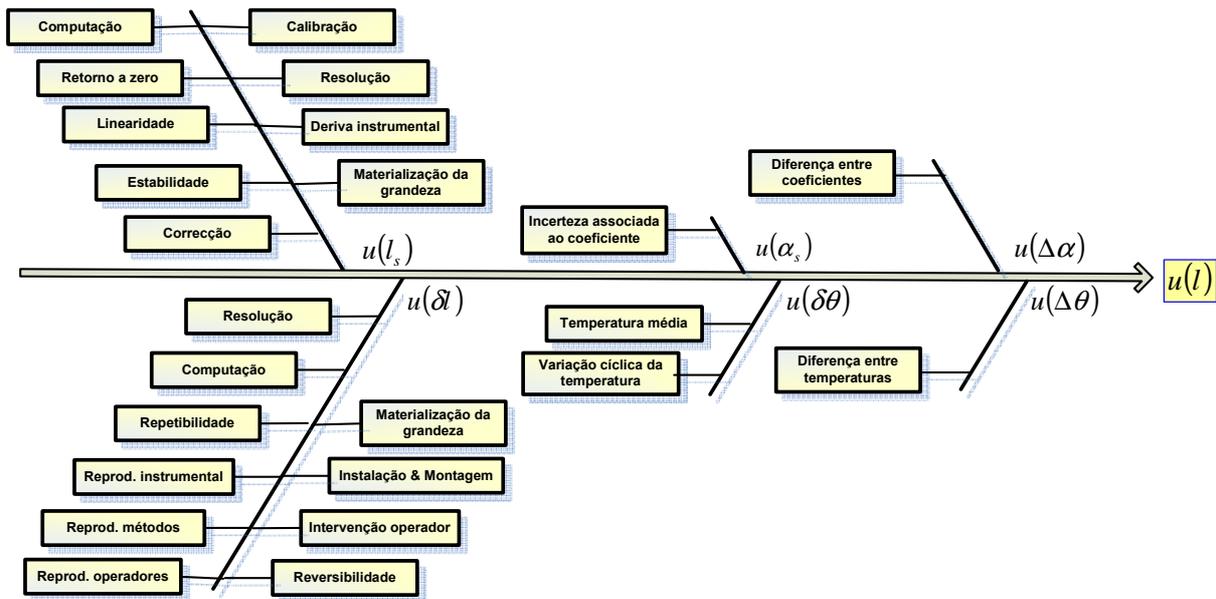


Figura A1.1 – Contribuições para a incerteza de medição do valor lido.

Nota: quando considerado aconselhável ou praticável pela Chefia do Laboratório, as contribuições associadas à calibração, correção dos valores de referência e deriva podem ser agrupadas no parâmetro designado por incerteza instrumental alvo aplicada no critério de confirmação metrológica.



Tabela A1.1 – Descrição de características das componentes de incerteza

Grandeza de entrada	Contribuição	PDF adoptada	Informação de quantificação	Coefficiente de sensibilidade	Graus de liberdade *
$l_s$	Calibração	Normal	Certificado de calibração (Tipo B)	1	$n_{cc}^{**}$
	Resolução	Rectangular	Caracterização metrológica (Tipo B)	1	50
	Deriva instrumental	Triangular	Certificado de calibração (Tipo B)	1	50
	Materialização da grandeza	Rectangular	Caracterização metrológica (Tipo B)	1	50
	Aritmética finita / computação	Rectangular	Caracterização metrológica (Tipo B)	1	50
	Retorno a zero	Rectangular	Caracterização metrológica (Tipo B)	1	50
	Linearidade	Rectangular	Caracterização metrológica (Tipo B)	1	50
	Estabilidade	Rectangular	Caracterização metrológica (Tipo B)	1	50
	Correcções dos valores de referência	Rectangular	Certificado calibração - regressão (Tipo B)	1	50
$\delta l$	Resolução do equipamento a calibrar	Rectangular	Caracterização metrológica (Tipo B)	1	50
	Aritmética finita / computação	Rectangular	Caracterização metrológica (Tipo B)	1	50
	Repetibilidade	Normal	Dados experimentais (Tipo A)	1	$(n - 1)^{***}$
	Reprodutibilidade (instrumental)	Normal	Dados experimentais (Tipo B)	1	$n_{pm}$
	Reprodutibilidade (métodos)	Normal	Dados experimentais (Tipo B)	1	$n_{pm}$
	Reprodutibilidade (operadores)	Normal	Dados experimentais (Tipo B)	1	$n_{po}$
	Materialização da grandeza	Rectangular	Caracterização metrológica (Tipo B)	1	50
	Instalação e montagem	Rectangular	Caracterização metrológica (Tipo B)	1	50
	Intervenção do operador	Rectangular	Caracterização metrológica (Tipo B)	1	50
	Reversibilidade	Rectangular	Caracterização metrológica (Tipo B)	1	50
$\alpha_s$	Valor nominal do coeficiente linear de expansão térmica do equipamento de referência	Rectangular	Bibliografia de referência (Tipo B)	$- 0,1 l_s \text{ m} \cdot ^\circ\text{C}$	50
$\delta\theta$	Diferença média da temperatura do eq. a calibrar relativamente à temperatura de referência.	Rectangular	Dados experimentais (Tipo B)	$- 5 \cdot 10^{-6} l_s \text{ m} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$	50
	Variação cíclica da temperatura no ambiente laboratorial	Arcoseno	Dados experimentais (Tipo B)	$- 5 \cdot 10^{-6} l_s \text{ m} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$	50
$\Delta\alpha$	Diferença entre coeficientes de expansão térmica (equipamentos a calibrar e de referência).	Rectangular	Bibliografia de referência (Tipo B)	$- 0,5 l_s \text{ m} \cdot ^\circ\text{C}$	50
$\Delta\theta$	Diferença de temperatura entre equip.s a calibrar e de referência.	Rectangular	Dados experimentais (Tipo B)	$- 1,15 \cdot 10^{-5} l_s \text{ m} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$	50

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

\*\* Graus de liberdade expressos no certificado de calibração

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

