



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

CENTRO DE INSTRUMENTAÇÃO CIENTÍFICA
Núcleo de Qualidade Metrológica

Proc. 1104/11/17804

PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DE UM CALIBRADOR DE DEFÓRMETROS UNIDIMENSIONAIS

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

Lisboa • Novembro de 2009

I&D INSTRUMENTAÇÃO CIENTÍFICA

RELATÓRIO 382/2009 – NQM

Procedimento de Calibração de um Calibrador de Defómetros Unidimensionais

Resumo

O presente relatório apresenta um procedimento para a calibração de um calibrador de defómetros unidimensionais desenvolvido no Centro de Instrumentação Científica do LNEC, notando que estes defómetros integram as cadeias de medição de almofadas planas de grande área (LFJ – *Large Flat Jack*) aplicadas, pelo Departamento de Barragens de Betão do LNEC, em ensaios *in situ* visando a caracterização da deformabilidade de maciços rochosos, por exemplo, em fundações de barragens.

Calibration Procedure of a Unidimensional Deformeters Calibrator

Abstract

This report presents a procedure for the calibration of a unidimensional deformeters calibrator developed at LNEC's Scientific Instrumentation Centre. These deformeters integrate the measuring chains of large flat jacks (LFJ) applied, by LNEC's Concrete Dams Department, to *in situ* testing for the characterization of rock mass deformability, e. g., on dam foundations.

Procédure d'Étalonnage d'un Calibrateur des Jauges de Déformation Unidimensionnelle

Résumé

Ce rapport présente une procédure pour l'étalonnage d'un calibrateur des jauges de déformation uni-dimensionnelle développée au Centre d'Instrumentation Scientifique du LNEC. Ces jauges de déformation intègrent les chaînes de mesure des vérins plans de grand surface (LFJ – *Large Flat Jack*) appliqués, par le Département des Barrages en Béton du LNEC, aux essais *in situ* visant la caractérisation de la déformabilité des massifs rocheux, par exemple, aux fondations des barrages.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
2. CONTEÚDO DO RELATÓRIO	3
Anexo 1 Procedimento de Calibração de um Calibrador de Defómetros Unidimensionais	5

PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DE UM CALIBRADOR DE DEFÓRMETROS UNIDIMENSIONAIS

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 de equipamentos laboratoriais.

Esta actividade, considerada de significativo interesse para o Laboratório Central de Apoio Metrológico (LCAM/LNEC), inserido no NQM, foi inicialmente orientada para a satisfação das necessidades dos laboratórios de ensaio acreditados do LNEC ou de clientes externos. No entanto, a sua natural vocação transversal de serviço tem conduzido a uma crescente solicitação por parte de outros sectores do LNEC que desenvolvem a sua acção primordialmente fora do ambiente laboratorial, nomeadamente, realizando ensaios em campo.

Alguns destes ensaios realizam-se num enquadramento particularmente relevante para a actividade regular do LNEC sendo este o caso da aplicação, no Departamento de Barragens de Betão, das almofadas planas de grande área (LFJ – *Large Flat Jack*), as quais permitem uma avaliação da deformabilidade de maciços rochosos visando assegurar requisitos técnicos associados a fundações de barragens. As condições que influenciam estes ensaios em campo determinam a qualidade dos resultados das medições obtidas, pelo que se procura que estas possuam o maior rigor. Neste processo de garantia da qualidade, a calibração da instrumentação científica desempenha um papel importante ao contribuir para o estabelecimento da necessária rastreabilidade das medições e, simultaneamente, para promover uma obtenção de estimativas adequadamente corrigidas de factores perturbadores das medições e das respectivas incertezas de medição.

Os procedimentos de calibração desenvolvidos no NQM são, em regra, baseados em normas portuguesas, estrangeiras ou internacionais. Contudo, em casos como o presente, em que a instrumentação desenvolvida “*in-house*” para uma finalidade particular, é verificada a inexistência de suportes normativos desenvolvidos especificamente para a componente

metrológica. Nestes casos, o NQM desenvolve processos dedicados de calibração por analogia com a tipologia da instrumentação em causa, procurando estabelecer um procedimento interno suportado em regras que permitam atingir os aspectos fundamentais de garantia da qualidade das medições, nomeadamente, a caracterização metrológica considerada crítica para assegurar o seu bom desempenho, a identificação dos padrões de referência adequados, o método aplicável e as etapas do procedimento experimental, as contribuições para a avaliação da incerteza de medição associada aos resultados da calibração e a informação relevante para a elaboração do certificado de calibração.

Num contexto mais amplo refira-se que este procedimento faz parte do acervo de cerca de 60 procedimentos de calibração e ensaio metrológico desenvolvidos pelo NQM ao longo da sua existência, os quais contém indicações pormenorizadas dos diferentes aspectos que suportam os serviços prestados pelo LCAM/LNEC constituindo uma parte importante do Sistema de Gestão (da Qualidade) deste laboratório, acreditado no quadro do Sistema Português da Qualidade.

Refira-se, também, que o interesse da publicação periódica deste tipo de documentos resulta da necessidade de disseminação de conhecimento associado à introdução de novos procedimentos, situação que ocorre neste caso, bem como, da necessidade de introdução de revisões periódicas destes documentos ditada quer pela evolução dos processos operativos, quer pela adopção de requisitos mais exigentes. Esta iniciativa tem como objectivo colateral 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.

2 CONTEÚDO DO RELATÓRIO

No presente relatório é divulgado, em Anexo, o Procedimento E3701 designado por “Procedimento de Calibração de Calibradores de Defómetros Unidimensionais” (Versão 01), o qual foi elaborado visando a verificação de um conjunto de requisitos metrológicos que pretendem assegurar a qualidade da processo de rastreabilidade de defómetros unidimensionais e, conseqüentemente, das medições efectuadas pelas cadeias de medição onde estes se integram.

Este procedimento engloba um conjunto de fases dedicadas à inspecção visual e preparação da calibração, à montagem do calibrador na instalação de calibração, as etapas do procedimento de avaliação da escala de medição associada ao defómetro, a avaliação das incertezas de medição tendo em conta as contribuições consideradas relevantes e o conteúdo informativo a incluir no certificado de calibração.

A concretização destes ensaios é desenvolvida nas instalações do LCAM/LNEC com recurso a padrões de referência do laboratório rastreados aos padrões primários das grandezas mensuráveis em causa, garantindo a necessária rastreabilidade e assegurando o cumprimento de requisitos normativos aplicáveis.

LNEC, Lisboa, Novembro de 2009

VISTOS

O Director do CIC,



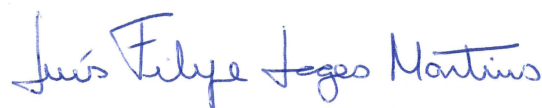
Carlos Oliveira Costa

AUTORIA



Álvaro Silva Ribeiro

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



Luís Filipe Lages Martins

Lic.º em Engenharia Mecânica
Bolseiro de Iniciação à Investigação Científica



João Onofre Benevente

Eng.º Técnico
Técnico Superior

ANEXO 1

Procedimento de Calibração de um Calibrador de Defómetros Unidimensionais



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

PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO E3701 (VERS. 1)

Calibrador de defómetros unidimensionais

INDICE

1 - ÂMBITO E EQUIPAMENTO DE REFERÊNCIA	3
2 - PRINCÍPIO DE MEDIÇÃO	4
3 - MÉTODO DE CALIBRAÇÃO	4
4 - PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO	4
4.1 - Introdução	4
4.2 - Capacidade do LCAM para calibrar um calibrador de defórmegos unidimensionais.....	4
4.3 - Inspecção visual e preparação da calibração	4
4.4 - Montagem do calibrador de defórmegos unidimensionais na instalação de calibração	5
4.5 - Procedimento de calibração	5
4.6 - Determinação dos resultados e da incerteza de medição.....	7
4.7 - Certificado de calibração	7
5 - DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA	8
Anexo 1 - Modelo matemático e componentes de cálculo de incerteza.....	9

RESERVADO

1 – ÂMBITO E EQUIPAMENTO DE REFERÊNCIA

O Laboratório Central de Apoio Metrológico executa a calibração de calibrador de defórmeters unidimensionais cuja resolução não ultrapasse 0,001 mm e a gama de medição seja compreendida entre 0 mm e 4 mm.

O calibrador de defórmeters unidimensionais (figura 1) é constituído por um sistema mecânico de transmissão de deslocamento, um transdutor de deslocamento associado e respectivo indicador. O transdutor de deslocamento e respectivo indicador deverão ser previamente calibrados assegurando-se a sua rastreabilidade aos padrões primários da grandeza comprimento e que a sua contribuição para o balanço de incertezas de medição não é superior a $\pm 0,002$ mm.

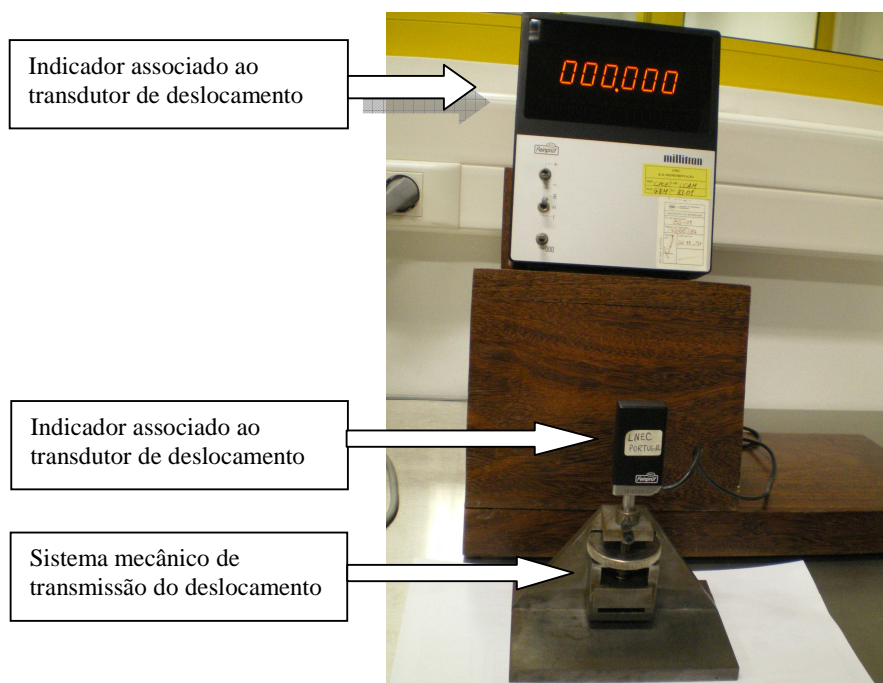


Figura 1 – Calibrador de defórmeters unidimensionais

Para realizar a calibração de calibradores de defórmeters unidimensionais, o LCAM dispõe do seguinte equipamento padrão:

- *Blocos-padrão rastreados ao padrão primário da grandeza comprimento.*

2 - PRINCÍPIO DE MEDIÇÃO

O princípio de medição consiste na aplicação de deslocamentos de referência ao equipamento a calibrar promovendo o contacto da sua face móvel com uma das faces de cada bloco-padrão ou conjunto de blocos-padrão, os quais estabelecem o comprimento de referência em cada patamar de ensaio.

3 - MÉTODO DE CALIBRAÇÃO

O método de calibração baseia-se na comparação entre a materialização dos comprimentos de referência associados aos blocos-padrão 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 calibradores de defómetros unidimensionais, com alcance até 4 mm, elaborado pelo LNEC.

4.2 – Capacidade do LCAM para calibrar um calibrador de defómetros unidimensionais

Quando solicitado para calibrar um calibrador de defómetros unidimensionais, o LCAM avaliará a sua capacidade para efectuar a operação tendo em conta os alcances (não superior a 4 mm), a exactidão do equipamento de calibração, o cumprimento do requisito de exactidão do transdutor e indicador associados ao calibrador de defómetros unidimensionais e a resolução do calibrador de defómetros unidimensionais (melhor resolução admitida de 0,001 mm).

4.3 – Inspeção visual e preparação da calibração

Observar o aspecto exterior do calibrador de defómetros unidimensionais e anotar eventuais sinais de degradação nas faces de contacto, na ponta de contacto do transdutor de deslocamento associado, na haste, no mostrador e no ponteiro ou no indicador digital.

O equipamento a calibrar deverá ser colocado no laboratório pelo menos 1 hora antes de executar o ensaio de calibração, visando a sua estabilização térmica.

Os equipamentos electrónicos devem ser ligados pelo menos uma hora antes de se iniciar o procedimento de calibração.

4.4 – Montagem do calibrador de defómetros unidimensionais na instalação de calibração

- a. *Verificar a instalação do transdutor de deslocamento no sistema mecânico, garantindo que o curso total corresponde a 8,5 mm (4 mm relativos à gama de medição e 4,5 mm como dimensão máxima admitida para a espessura da zona de fixação do defómetro) usando um bloco-padrão de 8,5 mm (vide figura 2).*

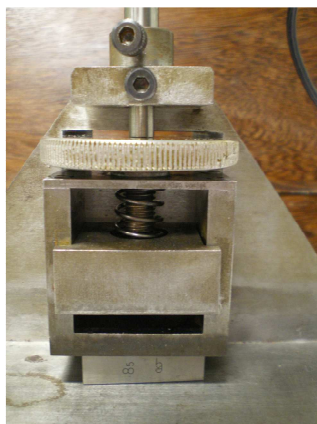


Figura 2 – Posicionamento prévio do zero do calibrador de defómetros unidimensionais

4.5 - Procedimento de calibração

O ensaio de calibração visa a determinação dos erros de indicação e da repetibilidade do equipamento a calibrar durante a medição.

A - Ensaio para determinação dos erros de indicação e da repetibilidade

- a. *Colocar o bloco-padrão de 8,5 mm na abertura do sistema de medição;*
- b. *Estabelecer o contacto e efectuar o zero do sistema (botão de reset indicado na Fig. 3);*

- c. *Seleccionar o inversor de sinal do indicador associado ao transdutor de deslocamento, de modo a obter valores positivos do deslocamento (Fig. 3);*

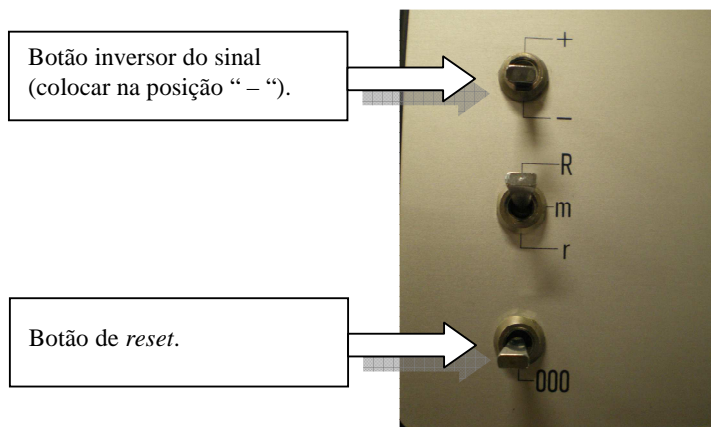


Figura 3 – Botões de inversão de sinal e de reset associados ao indicador de um equipamento a calibrar

- d. *Colocar sucessivamente, e por ordem crescente, os blocos-padrão de 8 mm; 7,5 mm; 7 mm; 6,5 mm; 6 mm; 5,5 mm; 5 mm e 4,5 mm (vide Fig. 4) entre a face de contacto móvel e a base do equipamento;*

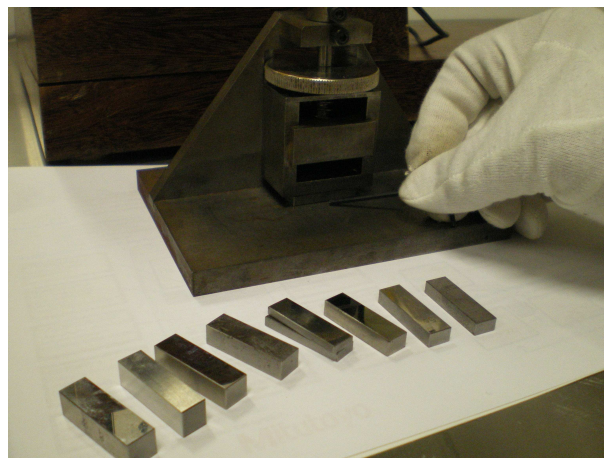


Figura 4 – Colocação de um bloco-padrão na posição de calibração

- e. *Proceder ao aperto (conforme Fig. 5) de forma que a fase final desse aperto seja idêntica em todos os patamares de ensaio;*

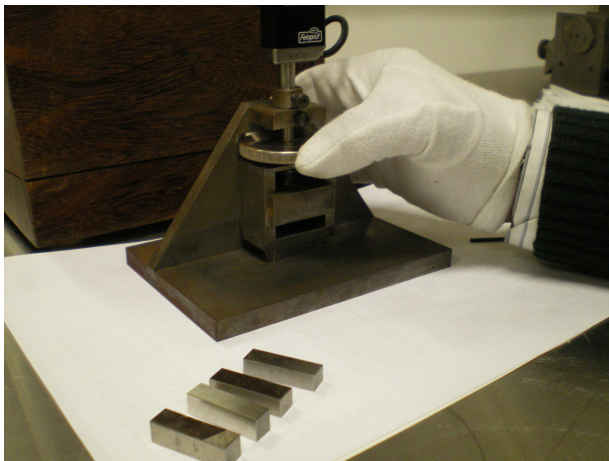


Figura 5 – Execução do aperto

- f. anotar as respectivas indicações;
- g. Repetir o procedimento descrito de a. a g. quatro vezes.

4.6 - Determinação dos resultados e da incerteza de medição

- a. Para cada patamar de calibração calcular:
 - O valor médio e o desvio de calibração resultante das medições efectuadas;
 - A repetibilidade dos valores obtidos em cada série;
- b. Determinar a incerteza expandida da calibração para um intervalo de confiança de 95% de acordo com [2-3] e considerando o modelo matemático exposto em anexo e respectivas componentes de incerteza.

4.7 - Certificado de calibração

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

- A identificação do calibrador de defórmegos unidimensionais, do transdutor de deslocamento e do indicador dedicado;
- A identificação do equipamento de calibração utilizado;
- A temperatura e a humidade relativa ambientais;

- Os valores que compõem o quadro de resultados (valores de referência e valores médios);
- O valor de repetibilidade;
- A incerteza de medição expandida para um intervalo de confiança de 95%;

5 - DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

- [1] “Vocabulário Internacional de Metrologia”, 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.

RESERVADO

ANEXO 1 – Modelo matemático e componentes de cálculo de incerteza

De acordo com o relatório LNEC [4] 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*, no presente caso não existe uma intervenção que justifique a aplicação desta contribuição para o balanço de incertezas de medição.

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, $\delta l_{x,R}$;
- O erro associado à calibração do transdutor de deslocamento e indicador associados ao equipamento a calibrar, $\delta l_{x,C}$;
- O erro de zero do equipamento a calibrar, $\delta l_{x,0}$;
- O erro de reversibilidade do equipamento a calibrar, $\delta l_{x,H}$;
- O erro associado à estabilidade da indicação do equipamento a calibrar, $\delta l_{x,E}$;

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 calibração do equipamento de referência, $\delta l_{s,C}$;

Finalmente, δl_M representa a componente de erro relativo ao método aplicado.

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 :

$$u^2(E_l) = \left(\frac{\partial E_l}{\partial l_x}\right)^2 u^2(l_x) + \left(\frac{\partial E_l}{\partial l_s}\right)^2 u^2(l_s) + \left(\frac{\partial E_l}{\partial \bar{\alpha}}\right)^2 u^2(\bar{\alpha}) + \left(\frac{\partial E_l}{\partial \delta t}\right)^2 u^2(\delta t) + u^2(\bar{\alpha}) \cdot u^2(\delta t) + \left(\frac{\partial E_l}{\partial \delta\alpha}\right)^2 u^2(\delta\alpha) + \left(\frac{\partial E_l}{\partial \Delta\bar{t}}\right)^2 u^2(\Delta\bar{t}) + u^2(\delta\alpha) \cdot u^2(\Delta\bar{t}) + \left(\frac{\partial E_l}{\partial \delta l_{s,D}}\right)^2 u^2(\delta l_{s,D}) + \left(\frac{\partial E_l}{\partial \delta l_{s,C}}\right)^2 u^2(\delta l_{s,C}) + \left(\frac{\partial E_l}{\partial \delta l_{x,R}}\right)^2 u^2(\delta l_{x,R}) + \left(\frac{\partial E_l}{\partial \delta l_{x,C}}\right)^2 u^2(\delta l_{x,C}) + \left(\frac{\partial E_l}{\partial \delta l_{x,0}}\right)^2 u^2(\delta l_{x,0}) + \left(\frac{\partial E_l}{\partial \delta l_{x,H}}\right)^2 u^2(\delta l_{x,H}) + \left(\frac{\partial E_l}{\partial \delta l_{x,E}}\right)^2 u^2(\delta l_{x,E}) + \left(\frac{\partial E_l}{\partial \delta l_M}\right)^2 u^2(\delta l_M) \quad (A2)$$

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 A1.1 – 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	$1.15 \cdot 10^{-5} L \text{ mm.K}^{-1}$	50
	$L \cdot \delta t^2 \text{var}[\bar{\alpha}]$	Triangular	0	
	$L \cdot \text{var}[\bar{\alpha}] \text{var}[\delta t]$	Normal	1	
$[\delta\alpha\Delta\bar{t}]$	$L \cdot \delta\alpha^2 \text{var}[\Delta\bar{t}]$	Normal	0	50
	$L \cdot \Delta\bar{t}^2 \text{var}[\delta\alpha]$	Rectangular	0	
	$L \cdot \text{var}[\delta\alpha] \text{var}[\Delta\bar{t}]$	Normal	1	
$\delta_{s,D}$	Estimativa de limites de var.	Rectangular	- 1	50
$\delta_{s,C}$	Certificado de calibração	Normal	- 1	50
$\delta_{x,R}$	Estimativa de limites de var.	Rectangular	- 1	50
$\delta_{x,C}$	Certificado de calibração	Normal	- 1	50
$\delta_{x,0}$	Estimativa de limites de var.	Rectangular	- 1	50
$\delta_{x,H}$	Estimativa de limites de var.	Rectangular	- 1	50
$\delta_{x,E}$	Estimativa de limites de var.	Rectangular	- 1	50
δ_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).

