

Com o apoio de:



Programa co-financiado
pelo Governo Português e Comunidade Europeia
FEDER

FICHA TÉCNICA

TÍTULO:

Guia RELACRE 5

DETERMINAÇÃO DA INCERTEZA DOS

RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO DE

INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO DE FORÇAS

EDIÇÃO: RELACRE

DESIGN GRÁFICO: RELACRE

CAPA: Alda Rosa

IMPRESSÃO: Espaço 2 Gráfico

TIRAGEM: 250 exemplares

DEPÓSITO LEGAL: 101875/96

ISBN: 972-96727-4-1

Este documento foi elaborado pelo GRUPO DE TRABALHO GT01

“MECÂNICA (PRESSÃO, FORÇA E MASSA)”

da COMISSÃO TÉCNICA RELACRE CTR04

“INCERTEZAS NAS MEDIÇÕES”

O conteúdo é da responsabilidade dos que colaboraram na sua elaboração.

É intenção da RELACRE proceder à revisão deste documento sempre que se revele oportuno.

Na elaboração da presente edição colaboraram:

António Baptista (<i>coordenador</i>)	LNEC
Garcia Serrudo	DRIELVT
José Sena	Arsenal do Alfeite
Madalena Teles	FEUP - UP
Manuel Gomes	ISQ
Manuel Pimenta de Castro	LNEC
Maria da Glória Antunes	IPS (EST)

ÍNDICE

1. OBJECTIVO E CAMPO DE APLICAÇÃO	<i>1</i>
2. REFERÊNCIAS	<i>1</i>
3. SÍMBOLOS E DESIGNAÇÕES	<i>2</i>
4. FONTES DE INCERTEZA	<i>3</i>
5. INCERTEZA GLOBAL DO LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO	<i>3</i>
6. INCERTEZA ASSOCIADA AO INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO DE FORÇAS CALIBRADO	<i>4</i>
6.1 Componentes da Incerteza associada ao comportamento a curto prazo do instrumento	<i>4</i>
6.2 Incerteza associada à resolução do aparelho indicador	<i>5</i>
6.3 Incerteza associada ao erro relativo do zero	<i>5</i>
6.4 Incerteza associada ao erro relativo da repetibilidade sem rotação	<i>6</i>
6.5 Incerteza associada ao erro relativo da repetibilidade com rotação	<i>6</i>
6.6 Incerteza associada ao erro relativo da interpolação	<i>7</i>
6.7 Incerteza associada ao erro relativo da reversibilidade	<i>7</i>
6.8 Cálculo da incerteza associada ao comportamento a curto prazo do instrumento de medição de forças calibrado	<i>8</i>
7. INCERTEZA GLOBAL ASSOCIADA AOS RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO DE FORÇAS ANEXO	<i>9</i>
A.1 INCERTEZA ASSOCIADA AO CONDICIONAMENTO AMBIENTAL	<i>10</i>
A.2 INCERTEZA ASSOCIADA À VARIAÇÃO A LONGO PRAZO DA SENSIBILIDADE DO INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO DE FORÇAS	<i>11</i>
A.3 INCERTEZA ASSOCIADA ÀS MEDIÇÕES EFECTUADAS COM O INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO DE FORÇAS	<i>12</i>

1. OBJECTIVO E CAMPO DE APLICAÇÃO

O objectivo do presente documento é o de estabelecer o procedimento a seguir na avaliação da incerteza dos resultados da calibração de *instrumentos de medição de forças*, incluindo a componente da incerteza associada ao instrumento calibrado.

Os *instrumentos de medição de forças* são constituídos por um elemento resistente cuja deformação elástica, sob a acção de forças axiais aplicadas, é determinada através de extensómetros eléctricos ou outros dispositivos de medição. A calibração dos instrumentos de medição de forças consiste no estabelecimento de uma relação entre valores da força aplicada e da deformação elástica correspondente, para patamares de força discretos ou para uma gama de medição, através da atribuição de uma curva de calibração.

A calibração dos *instrumentos de medição de forças* deve ser realizada de acordo com a Norma NP EN 10002-3. O laboratório de calibração deve encontrar-se rastreado no âmbito do Sistema Português da Qualidade.

As definições e os princípios gerais adoptados na formulação da incerteza são os referidos no *Guia para a expressão da incerteza de medição nos laboratórios de calibração*, baseado no WECC DOC 19. O presente documento destina-se a complementar os referidos princípios gerais, indicando-se as grandezas intervenientes na avaliação da incerteza associada aos resultados da calibração de instrumentos de medição de forças. Os métodos de cálculo adoptados para a determinação da incerteza associada a cada uma destas grandezas baseiam-se nos documentos WECC DOC 19 e ISO-BIPM *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*.

2. REFERÊNCIAS

- "Guia para a expressão da incerteza de medição nos laboratórios de calibração", IPQ, 1993
- WECC DOC 19 - "Guidelines for the Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibrations"
- "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, ISO-BIPM, 1993"
- NP EN 10002-3 (1994) - "Materiais metálicos. Ensaio de tracção. Parte 3: Calibração dos instrumentos de medição de força utilizados na verificação de máquinas de ensaios uniaxiais"
- "Guia para a determinação da melhor incerteza de medição de um laboratório de calibração de forças"

3. SÍMBOLOS E DESIGNAÇÕES

No âmbito do presente documento adoptam-se os símbolos e designações indicados no Quadro 1.

Quadro 1

SÍMBOLO	UNIDADE	DESIGNAÇÃO
U_{lab}	%	Incerteza global do <i>laboratório de calibração</i>
U_{imf}	%	Incerteza expandida associada ao comportamento a curto prazo do <i>instrumento de medição de forças</i>
u_{rind}	%	Incerteza associada à resolução do aparelho indicador
a_{rind}	%	Resolução relativa do aparelho indicador
r	-	Resolução do aparelho indicador
\bar{X}_{crt}	-	Valor médio das medições efectuadas num patamar de força com rotação do <i>instrumento de medição de forças</i>
u_{zer}	%	Incerteza associada ao erro relativo do zero do <i>instrumento de medição de forças</i>
a_{zer}	%	Erro relativo do zero do <i>instrumento de medição de forças</i>
i_0, i_f	-	Medições do zero antes (i_0) e após (i_f) a aplicação de uma série de forças de calibração
u_{rsrt}	%	Incerteza associada ao erro relativo da repetibilidade sem rotação do <i>instrumento de medição de forças</i>
a_{rsrt}	%	Erro relativo da repetibilidade sem rotação do <i>instrumento de medição de forças</i>
X_1, X_2	-	Primeira (X_1) e segunda (X_2) medições efectuadas num patamar de forças, sem rotação do <i>instrumento de medição de forças</i>
\bar{X}_{srt}	-	Valor médio das medições efectuadas num patamar de força, sem rotação do <i>instrumento de medição de forças</i>
u_{rcrt}	%	Incerteza associada ao erro relativo da repetibilidade com rotação do <i>instrumento de medição de forças</i>
a_{rcrt}	%	Erro relativo da repetibilidade com rotação do <i>instrumento de medição de forças</i>
X_{max}, X_{min}	-	Valores máximo e mínimo de um conjunto de pelo menos três medições efectuadas num patamar de forças, com rotação do <i>instrumento de medição de forças</i>
u_{intp}	%	Incerteza associada ao erro relativo de interpolação
a_{intp}	%	Erro relativo de interpolação
X_a	-	Valor da deformação do <i>instrumento de medição de forças</i> calculado através da curva de calibração ajustada aos valores médios das medições efectuadas no conjunto dos patamares de força calibrados
u_{rev}	%	Incerteza associada ao erro relativo da reversibilidade
a_{rev}	%	Erro relativo da reversibilidade
i, i'	-	Medições efectuadas num patamar de força sob força crescente (i) e sob força decrescente (i'), durante um ciclo de carga-descarga do <i>instrumento de medição de forças</i>
u_{imf}	%	Incerteza associada ao comportamento a curto prazo do <i>instrumento de medição de forças</i>
U_{rescl}	%	Incerteza associada aos resultados da calibração de um <i>instrumento de medição de forças</i>
U_{tutl}	%	Incerteza associada aos efeitos da variação de temperatura sobre as medições efectuadas
u_{slpim}, U_{slpim}	%	Incerteza e incerteza expandida associadas à variação a longo prazo da sensibilidade do <i>instrumento de medição de forças</i>
a_{slpim}	%	Variação a longo prazo da sensibilidade do <i>instrumento de medição de forças</i>
$\bar{X}_{ctr,2}, \bar{X}_{crt,1}$	-	Valores médios das medições efectuadas num patamar de força, durante a sua calibração mais recente e durante a calibração anterior
U_{mdimf}	%	Incerteza associada às medições efectuadas com o <i>instrumento de medição de forças</i>

4. FONTES DE INCERTEZA

As fontes de incerteza consideradas na avaliação da incerteza global associada aos resultados da calibração de *instrumentos de medição de forças* são:

- Incerteza global do laboratório de calibração, para a gama de forças em que o *instrumento de medição de forças* é calibrado;
- Incerteza associada ao *instrumento de medição de forças* calibrado.

A incerteza global apresentada no certificado de calibração não inclui as componentes associadas às condições ambientais de utilização do *instrumento medição de forças* e à variação a longo prazo no seu comportamento. O cálculo destas componentes deve ser efectuado de acordo com o Anexo do presente documento.

5. INCERTEZA GLOBAL DO LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO

A incerteza global do laboratório de calibração, U_{lab} , deve ser determinada de acordo com o *Guia para a determinação da melhor incerteza de medição de um laboratório de calibração de forças*, e deve constar do respectivo Manual da Qualidade.

6. INCERTEZA ASSOCIADA AO INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO DE FORÇAS CALIBRADO

6.1 COMPONENTES DA INCERTEZA ASSOCIADA AO COMPORTAMENTO A CURTO PRAZO DO INSTRUMENTO

A incerteza associada ao comportamento a curto prazo do *instrumento de medição de forças* calibrado, U_{imf} , é determinada com base nos resultados das operações de calibração, segundo a Norma NP EN 10002-3.

Tais resultados, obtidos através de diferentes séries de medições, permitem quantificar um conjunto de grandezas com base nas quais se caracteriza o comportamento do instrumento de medição de forças, de modo a lhe atribuir uma determinada classe, de acordo com a NP EN 10002-3. Estas grandezas, que constituem as componentes da incerteza U_{imf} , são:

- a resolução do aparelho indicador;
- o erro relativo do zero;
- o erro relativo da repetibilidade das medições sem rotação do instrumento de *medição de forças* em torno do seu eixo;
- o erro relativo da repetibilidade das medições com rotação *do instrumento de medição de forças* em torno do seu eixo;
- o erro relativo da interpolação das medições, através da curva de calibração ajustada aos resultados experimentais;
- o erro relativo da reversibilidade.

Nas secções seguintes descrevem-se os métodos de cálculo a adoptar para a quantificação da incerteza associada a cada uma destas componentes, sob a forma de variáveis relativas, indicando a relação entre as incertezas e o valor absoluto das medições. Os resultados destes cálculos são expressos em percentagem.

6.2 INCERTEZA ASSOCIADA À RESOLUÇÃO DO APARELHO INDICADOR

A incerteza associada à resolução do aparelho indicador, u_{rind} , é calculada para cada patamar de força através da expressão (1), admitindo-se uma distribuição rectangular da resolução relativa, calculada de acordo com a expressão (2).

$$u_{\text{rind}}^2 = \frac{(a_{\text{rind}})^2}{12} \quad (1)$$

$$a_{\text{rind}} = \frac{r}{\bar{X}_{\text{crt}}} \times 100\% \quad (2)$$

Nesta expressão, r e \bar{X}_{crt} representam, respectivamente, a resolução do aparelho indicador e o valor médio das medições efectuadas no patamar de força em questão, com rotação do *instrumento de medição de forças*.

6.3 INCERTEZA ASSOCIADA AO ERRO RELATIVO DO ZERO

A incerteza associada ao erro relativo do zero, u_{zer} , é calculada através da expressão (3), admitindo-se uma distribuição rectangular do erro relativo do zero, calculado de acordo com a expressão (4).

$$u_{\text{zer}}^2 = \frac{(a_{\text{zer}})^2}{12} \quad (3)$$

$$a_{\text{zer}} = \frac{i_f - i_o}{\bar{X}_N} \times 100\% \quad (4)$$

Nesta expressão, i_o e i_f representam, respectivamente, as medições efectuadas antes da aplicação, e após a descarga de uma série de forças de calibração. A variável \bar{X}_N representa o valor médio das medições efectuadas com rotação do *instrumento de medição de forças*, no patamar de força correspondente à força máxima a que o *instrumento* pode ser submetido.

6.4 INCERTEZA ASSOCIADA AO ERRO RELATIVO DA REPETIBILIDADE SEM ROTAÇÃO

A incerteza associada ao erro relativo da repetibilidade das medições sem rotação *do instrumento de medição de forças*, u_{rsrt} , é calculada para cada patamar de força através da expressão (5), admitindo-se uma distribuição rectangular do erro relativo da repetibilidade sem rotação, calculado de acordo com a expressão (6).

$$u_{rsrt}^2 = \frac{(a_{rsrt})^2}{12} \quad (5)$$

$$a_{rsrt} = \frac{X_2 - X_1}{\bar{X}_{srt}} \times 100\% \quad (6)$$

Nesta expressão, X_1 , X_2 e \bar{X}_{srt} representam, respectivamente, os valores individuais e o valor médio de duas medições efectuadas no patamar de força em questão, com o *instrumento de medição de forças* na mesma posição.

6.5 INCERTEZA ASSOCIADA AO ERRO RELATIVO DA REPETIBILIDADE COM ROTAÇÃO

A incerteza associada ao erro relativo da repetibilidade das medições com rotação *do instrumento de medição de forças*, u_{rcrt} , é calculada para cada patamar de força através da expressão (7), admitindo-se uma distribuição em U do erro relativo da repetibilidade com rotação, calculado de acordo com a expressão (8).

$$u_{rcrt}^2 = \frac{(a_{rcrt})^2}{8} \quad (7)$$

$$a_{rcrt} = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{\bar{X}_{crt}} \times 100\% \quad (8)$$

Nesta expressão, X_{\max} , X_{\min} e \bar{X}_{crt} representam, respectivamente, os valores máximo, mínimo e médio de um conjunto de pelo menos três medições, efectuadas no patamar de

força em questão com o *instrumento de medição de forças* em diferentes posições, na sequência de rotações sucessivas em torno do seu eixo.

6.6 INCERTEZA ASSOCIADA AO ERRO RELATIVO DA INTERPOLAÇÃO

A incerteza associada ao erro relativo da interpolação das medições através da curva de calibração ajustada aos resultados experimentais, u_{intp} , é calculada para cada patamar de força através da expressão (9), admitindo-se uma distribuição triangular do erro relativo da interpolação, calculado de acordo com a expressão (10).

$$u_{\text{intp}}^2 = \frac{(a_{\text{intp}})^2}{24} \quad (9)$$

$$a_{\text{intp}} = \frac{\bar{X}_{\text{crt}} - X_a}{X_a} \times 100\% \quad (10)$$

Nesta expressão, \bar{X}_{crt} representa o valor médio de um conjunto de pelo menos três medições, efectuadas no patamar de força em questão com o *instrumento de medição de forças* em diferentes posições, na sequência de rotações sucessivas em torno do seu eixo.

O símbolo X_a designa o valor da deformação do *instrumento de medição de forças* para o patamar de força em questão, calculado através da curva de calibração obtida a partir dos valores médios das medições efectuadas no conjunto dos patamares de força calibrados.

6.7. INCERTEZA ASSOCIADA AO ERRO RELATIVO DA REVERSIBILIDADE

A incerteza associada ao erro relativo da reversibilidade, u_{rev} , resultante dos fenómenos de histerese durante um ciclo de carga-descarga do *instrumento de medição de forças*, é calculada para cada patamar de força através da expressão (11), admitindo-se uma distribuição rectangular para o erro relativo da reversibilidade, calculado de acordo com a expressão (12).

$$u_{\text{rev}}^2 = \frac{(a_{\text{rev}})^2}{12} \quad (11)$$

$$a_{\text{rev}} = \frac{i' - i}{i} \times 100\% \quad (12)$$

Nesta expressão, i e i' representam, respectivamente, os valores das medições efectuadas no patamar de força em questão, sob força crescente e sob força decrescente, durante um ciclo de carga-descarga do *instrumento de medição de forças*.

6.8. CÁLCULO DA INCERTEZA ASSOCIADA AO COMPORTAMENTO A CURTO PRAZO DO *INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO DE FORÇAS* CALIBRADO

A incerteza associada ao comportamento a curto prazo do *instrumento de medição de forças* calibrado, u_{imf} , é calculada para cada patamar de força calibrado de acordo com a expressão (13):

$$u_{\text{imf}} = \sqrt{(u_{\text{rind}})^2 + (u_{\text{zer}})^2 + (u_{\text{rsrt}})^2 + (u_{\text{rcrt}})^2 + (u_{\text{intp}})^2 + (u_{\text{rev}})^2} \quad (13)$$

A incerteza expandida, U_{imf} , correspondente a uma probabilidade de cerca de 95%, é calculada através da expressão (14), em que $k = 2$:

$$U_{\text{imf}} = k u_{\text{imf}} \quad (14)$$

7. INCERTEZA GLOBAL ASSOCIADA AOS RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO DE FORÇAS

A incerteza global associada aos resultados da calibração de um *instrumento de medição de forças*, U_{rescl} , é calculada, para cada patamar de força calibrado, de acordo com a expressão (15):

$$U_{rescl} = \sqrt{(U_{lab})^2 + (U_{imf})^2} \quad (15)$$

O valor de U_{imf} a introduzir na expressão (15) para o cálculo da melhor incerteza dos resultados da calibração de uma gama de medição de forças, deve ser o máximo dos valores de U_{imf} obtidos no conjunto dos patamares calibrados na gama de medição de forças em questão.

A incerteza global U_{rescl} , atribuída no certificado de calibração do *instrumento de medição de forças* a uma dada gama de medição de forças, é expressa em percentagem.

As gamas de medição de forças referidas no certificado de calibração devem ser expressas em unidades do Sistema Internacional (SI). O valor absoluto da incerteza de um dado patamar de força é obtido através da multiplicação do valor da força pela incerteza U_{rescl} associada a uma gama de medição de forças que inclua o patamar de força em questão.

O certificado de calibração deve incluir uma nota com o seguinte conteúdo:

"A incerteza apresentada é expressa pelo desvio-padrão multiplicado pelo factor $k = 2$. O desvio-padrão foi calculado a partir da contribuição das incertezas provenientes do laboratório de calibração e associadas ao comportamento a curto prazo do instrumento de medição de forças, de acordo com o WECC Doc 19. A incerteza apresentada não inclui as componentes associadas às condições ambientais da utilização do instrumento de medição de forças e à variação a longo prazo do seu comportamento."

A N E X O

A.1 INCERTEZA ASSOCIADA AO CONDICIONAMENTO AMBIENTAL

Em termos de condicionamento ambiental, a temperatura constitui a principal grandeza que poderá afectar a incerteza das medições realizadas com o *instrumento de medição de forças*. Tal influência poderá em geral ser desprezada, desde que sejam observadas as recomendações prescritas na Norma NP EN 10002-3:

- as medições devem ser efectuadas a uma temperatura estável, a $\pm 1^\circ\text{C}$, entre 18°C e 28°C ;
- antes de se iniciarem as medições deve-se aguardar um intervalo de tempo suficiente para o *instrumento de medição de forças* atingir uma temperatura estável;
- os *instrumentos de medição de forças* constituídos por transdutores de força com extensómetros eléctricos deverão ser ligados pelo menos 30 minutos antes de se iniciarem as medições.

No caso de o *instrumento de medição de forças* não possuir dispositivos de compensação dos efeitos da variação da temperatura, devem-se corrigir as medições efectuadas, de acordo com a NP EN 10002-3, em função da diferença entre a temperatura ambiente de utilização e a temperatura de calibração, indicada no respectivo certificado de calibração. No caso destas recomendações serem respeitadas, poder-se-á considerar que $U_{\text{tutl}} = 0$.

No caso das recomendações referidas não serem respeitadas, o valor de U_{tutl} deverá ser determinado em função dos efeitos da variação da temperatura sobre as medições efectuadas, tendo em conta as características específicas do *instrumento de medição de forças*.

A.2 INCERTEZA ASSOCIADA À VARIAÇÃO A LONGO PRAZO DA SENSIBILIDADE DO INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO DE FORÇAS

A variação a longo prazo da sensibilidade do *instrumento de medição de forças*, a_{slpim} , pode ser determinada através da comparação dos resultados de duas calibrações consecutivas:

$$a_{slpim} = \frac{\bar{X}_{crt,2} - \bar{X}_{crt,1}}{\frac{1}{2} (\bar{X}_{crt,2} + \bar{X}_{crt,1})} \times 100\% \quad (A.1)$$

em que $\bar{X}_{crt,2}$ e $\bar{X}_{crt,1}$ representam, respectivamente, os valores médios das medições efectuadas com rotação do *instrumento de medição de forças*, de acordo com a Norma NP EN 10002-3, na calibração mais recente e na calibração anterior.

A incerteza associada a esta variação, u_{slpim} , é calculada através da expressão (A.2):

$$u_{slpim}^2 = \frac{(a_{slpim})^2}{18} \quad (A.2)$$

No caso de um *instrumento de medição de forças* que disponha de uma única calibração, a variação da sua sensibilidade pode ser estimada com base na variação da sensibilidade de outros *instrumentos de medição de forças* com as mesmas características.

A incerteza expandida, U_{slpim} , correspondente a uma probabilidade de cerca de 95%, é calculada através da expressão (A.3), em que $k = 2$:

$$U_{slpim} = k u_{slpim} \quad (A.3)$$

A.3 INCERTEZA ASSOCIADA ÀS MEDIÇÕES EFECTUADAS COM O INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO DE FORÇAS

A incerteza associada às medições efectuadas com o *instrumento de medição de forças*, U_{mdimf} , é calculada de acordo com a expressão (A.4):

$$U_{\text{mdimf}} = \sqrt{(U_{\text{rescl}})^2 + (U_{\text{tutl}})^2 + (U_{\text{slpim}})^2} \quad (\text{A.4})$$

O valor da incerteza expandida U_{slpim} a introduzir na expressão (A.4) deve ser o máximo dos valores de U_{slpim} , calculados para o conjunto dos patamares de força calibrados na gama de forças a que U_{rescl} é atribuída.

O cálculo de U_{rescl} é efectuado de acordo com a secção 7. do presente documento. O resultado deste cálculo, bem como a indicação da gama de medição de forças a que diz respeito, são indicados no certificado de calibração do *instrumento de medição de forças*.

Últimos guias publicados

- 1** CALIBRAÇÃO DE MATERIAL VOLUMÉTRICO
1995; ISBN 972 - 96727 - 0 - 9
- 2** AUDITORIAS INTERNAS DE LABORATÓRIOS QUÍMICOS
1995; ISBN 972 - 96727 - 1 - 7
- 3** VALIDAÇÃO DE RESULTADOS EM LABORATÓRIOS QUÍMICOS
1996; ISBN 972 - 96727 - 2 - 5
- 4** DETERMINAÇÃO DA MELHOR INCERTEZA DE MEDIÇÃO
DE UM LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO DE FORÇAS
1996; ISBN 972 - 96727 - 3 - 3
- 5** DETERMINAÇÃO DA INCERTEZA DOS
RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO DE
INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO DE FORÇAS
1996; ISBN 972 - 96727 - 4 - 1



Associação de Laboratórios Acreditados de Portugal

Rua Filipe Folque, 2, 6º Dto
1050-113 LISBOA
Telef. 21 313 98 40
Fax 21 313 98 41
relacre@mail.telepac.pt
www.relacre.pt