
FICHA TÉCNICA

TÍTULO:

Guia RELACRE 12

DETERMINAÇÃO DA INCERTEZA DOS
RESULTADOS DA VERIFICAÇÃO DE
MÁQUINAS DE ENSAIO DE TRACÇÃO OU
COMPRESSÃO

EDIÇÃO: RELACRE

DESIGN GRÁFICO: RELACRE

CAPA: Alda Rosa

IMPRESSÃO: Espaço 2 Gráfico

TIRAGEM: 250 exemplares

DEPÓSITO LEGAL:

ISBN: 972-8574-01-0

Guia RELACRE 12

EDIÇÃO: OUTUBRO 99

DETERMINAÇÃO DA INCERTEZA



DOS RESULTADOS



DA VERIFICAÇÃO DE MÁQUINAS



DE ENSAIO DE TRACÇÃO



OU COMPRESSÃO



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
Álvaro Silva Ribeiro	LNEC
Garcia Serrudo	DRLVT
João Costa	ARSENAL DO ALFEITE
José Sena	ARSENAL DO ALFEITE
Luís Brito	IPQ
Madalena Teles	FEUP

Direitos de Autor protegidos
segundo legislação em vigor.
Proibida cópia total ou parcial sem
autorização escrita da RELACRE.

1. OBJECTIVO E CAMPO DE APLICAÇÃO	<i>1</i>
2. REFERÊNCIAS	<i>1</i>
3. SÍMBOLOS E DESIGNAÇÕES	<i>2</i>
4. PRINCÍPIOS	<i>3</i>
5. FONTES DE INCERTEZA	<i>3</i>
6. INCERTEZA DA <i>FORÇA VERDADEIRA</i> INDICADA PELO PADRÃO DE FORÇA	<i>4</i>
7. INCERTEZA ASSOCIADA AO SISTEMA DE MEDIÇÃO DA FORÇA DA MÁQUINA DE ENSAIO	<i>4</i>
7.1 Componentes da Incerteza	<i>4</i>
7.2 Incerteza Associada à Resolução do Aparelho Indicador	<i>5</i>
7.3 Incerteza Associada ao Erro Relativo do Zero	<i>6</i>
7.4 Incerteza Associada ao Erro Relativo da Repetibilidade	<i>6</i>
7.5 Incerteza Associada ao Erro Relativo da Exactidão	<i>7</i>
7.6 Incerteza Associada ao Erro Relativo da Exactidão da Série Complementar de Medições	<i>7</i>
7.7 Incerteza Associada ao Erro Relativo da Reversibilidade	<i>8</i>
8. INCERTEZA DE MEDIÇÃO EXPANDIDA ASSOCIADA AOS RESULTADOS DA VERIFICAÇÃO DA MÁQUINA DE ENSAIO	<i>9</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 verificação do sistema de medição da força de máquinas de ensaios estáticos uniaxiais de tracção ou compressão.

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* [1], baseado no documento EAL R2 (97) [2].

O presente documento destina-se a complementar os referidos princípios gerais, indicando-se as grandezas intervenientes na avaliação da incerteza associada aos resultados da verificação de máquinas de ensaio de tracção ou compressão. Os métodos de cálculo adoptados para a determinação da incerteza associada a cada uma destas grandezas baseiam-se nos documentos EAL R2 (97) e no *Guia para a expressão da incerteza de medição* [3], adoptado pelas organizações seguintes: BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML.

2. REFERÊNCIAS

- [1] *Guia para a expressão da incerteza de medição nos Laboratórios de Calibração*, IPQ, 1998
- [2] EAL R2 (1997) - *Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration*
- [3] *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*, BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, 1993
- [4] NP EN 10002-2 (1992) - *Materiais metálicos. Ensaio de tracção. Parte 2: Verificação do sistema de medição da força da máquina de ensaio de tracção*
- [5] NP 4015-1 (1990) - *Máquinas de ensaios mecânicos. Verificação das máquinas para ensaios de compressão e flexão. Parte 1: Verificação do sistema de medição da força*
- [6] NP EN 10002-3 (1995) - *Materiais metálicos. Ensaio de tracção. Parte 3: Calibração dos instrumentos de medição de força utilizados na verificação de máquinas de ensaios uniaxiais*
- [7] Guia RELACRE 5 (1996) - *Determinação da incerteza dos resultados da calibração de instrumentos de medição 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_{mdimf}	%	Incerteza de medição expandida associada ao valor da <i>força verdadeira</i> indicado pelo padrão de força
w_{mdimf}	%	Incerteza relativa associada ao valor da <i>força verdadeira</i> indicado pelo padrão de força
U_{resv}	%	Incerteza de medição expandida associada aos resultados da verificação da máquina de ensaio
w_{rind}	%	Incerteza relativa associada à resolução do aparelho indicador
a_{rind}	%	Resolução relativa do aparelho indicador
r	N	Resolução do aparelho indicador
\bar{F}	N	Média dos valores da <i>força verdadeira</i> indicados pelo padrão num patamar de força
w_{zer}	%	Incerteza relativa associada ao erro relativo do zero do aparelho indicador da força da máquina de ensaio
a_{zer}	%	Erro relativo do zero do aparelho indicador da força da máquina de ensaio
F_{io}	N	Maior valor residual lido no aparelho indicador da força da máquina de ensaio, após a descarga de cada uma das séries de forças de calibração
F_{N}	N	Alcance máximo da escala de forças verificada
w_{rcrt}	%	Incerteza relativa associada ao erro relativo da repetibilidade do sistema de medição da força da máquina de ensaio
a_{rcrt}	%	Erro relativo da repetibilidade do sistema de medição da força da máquina de ensaio
F_{max}	N	Maior dos valores da <i>força verdadeira</i> indicados pelo padrão, no conjunto de medições com força crescente efectuadas num patamar de força
F_{min}	N	Menor dos valores da <i>força verdadeira</i> indicados pelo padrão, no conjunto de medições com força crescente efectuadas num patamar de força
w_{q}	%	Incerteza relativa associada ao erro relativo da exactidão do sistema de medição da força da máquina de ensaio
a_{q}	%	Erro relativo da exactidão do sistema de medição da força da máquina de ensaio
F_{i}	N	Valor da força lido no aparelho indicador da força da máquina de ensaio, num patamar de força
w_{qc}	%	Incerteza relativa associada ao erro relativo da exactidão da série complementar de medições
a_{qc}	%	Erro relativo da exactidão da série complementar de medições, destinada a avaliar a influência dos dispositivos acessórios do sistema de medição da força
F_{c}	N	Valor da <i>força verdadeira</i> indicado pelo padrão num patamar de força, durante a série complementar de medições
w_{rev}	%	Incerteza relativa associada ao erro relativo da reversibilidade
a_{rev}	%	Erro relativo da reversibilidade
F	N	Valor da <i>força verdadeira</i> indicado pelo padrão num patamar de força, durante uma série de medições com força crescente
F'	N	Valor da <i>força verdadeira</i> indicado pelo padrão num patamar de força, durante uma série de medições com força decrescente
w_{resv}	%	Incerteza relativa associada aos resultados da verificação da máquina de ensaio
v_{eff}	%	Número de graus de liberdade efectivos

4. PRINCÍPIOS

A verificação do sistema de medição da força baseia-se numa comparação entre os valores lidos no aparelho indicador da força da máquina de ensaio e os valores da *força verdadeira* indicados pelo padrão de força utilizado.

A verificação deve ser efectuada para patamares de força discretos, distribuídos ao longo da gama de forças compreendida entre 20 % e 100 % do alcance máximo da escala de força verificada. O limite inferior da gama poderá ser inferior ao valor indicado.

A técnica de verificação da máquina deve ser a fixada na Norma NP EN 10002-2 [4], no caso de máquinas de ensaio de tracção, ou na Norma NP 4015-1 [5], no caso de máquinas de ensaio de compressão. Os padrões de força utilizados nas operações de verificação das máquinas de ensaio devem possuir um certificado de calibração válido, segundo a Norma NP EN 10002-3 [6].

O cálculo da incerteza associada aos valores da força lidos no indicador da força da máquina de ensaio deve ser efectuada para cada um dos patamares de força verificados.

A incerteza associada ao valor, indicado pela máquina de ensaio, de qualquer força compreendida dentro de uma gama de medição de uma das escalas de força verificadas, é considerada igual ao maior dos valores das incertezas obtidos no conjunto dos patamares verificados na referida gama de forças.

5. FONTES DE INCERTEZA

As fontes de incerteza consideradas na avaliação da incerteza de medição associada aos resultados da verificação de máquinas de ensaio de tracção ou compressão são:

- Incerteza de medição associada ao valor da *força verdadeira* indicado pelo padrão de força;
- Incerteza associada ao sistema de medição da força verificado.

A incerteza de medição expandida apresentada no certificado de verificação refere-se exclusivamente à intensidade da força aplicada. O seu valor não inclui, portanto, as componentes da incerteza dos resultados dos ensaios associadas a defeitos da geometria dos provetes ou dos sistemas de aplicação da força da máquina de ensaio (sistemas de amarração dos provetes de máquinas de ensaio de tracção, ou pratos de máquinas de ensaio de compressão, p. ex.).

6. INCERTEZA DA *FORÇA VERDADEIRA* INDICADA PELO PADRÃO DE FORÇA

A incerteza de medição expandida associada ao valor da *força verdadeira* indicado pelo padrão de força, U_{mdimf} , deve ser determinada de acordo com o *Guia para a determinação da incerteza dos resultados da calibração de instrumentos de medição de forças* [7], e deve constar do respectivo certificado de calibração, efectuada de acordo com a Norma NP EN 10002-3 [6].

A incerteza relativa associada ao valor da *força verdadeira* indicado pelo padrão de força, w_{mdimf} , deve ser determinada através da divisão do valor de U_{mdimf} pelo coeficiente de expansão k declarado no certificado de calibração do padrão de força.

7. INCERTEZA ASSOCIADA AO SISTEMA DE MEDIÇÃO DA FORÇA DA MÁQUINA DE ENSAIO

7.1 COMPONENTES DA INCERTEZA

A incerteza de medição expandida associada ao sistema de medição da força da máquina de ensaio é determinada com base nos resultados das operações de verificação, efectuada de acordo com a Norma NP EN 10002-2 [4], no caso de máquinas de ensaio de tracção, ou segundo a Norma NP 4015-1, no caso de máquinas de ensaio de compressão.

Tais resultados, obtidos através de diferentes séries de medições, permitem quantificar um conjunto de grandezas com base nas quais se caracteriza o sistema de medição da força da máquina de ensaio, de modo a lhe atribuir uma determinada classe, de acordo com a norma de verificação utilizada. Estas grandezas, que constituem as restantes componentes da incerteza associada aos resultados da verificação da máquina de ensaio U_{resv} , são:

- a resolução do aparelho indicador;
- o erro relativo do zero;
- o erro relativo da repetibilidade;
- o erro relativo da exactidão;

- o erro relativo da exactidão da série complementar de medições, destinada a avaliar a influência dos dispositivos acessórios do sistema de medição da força;
- o erro relativo da reversibilidade (determinado a pedido expresso do requerente).

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.

7.2 INCERTEZA ASSOCIADA À RESOLUÇÃO DO APARELHO INDICADOR

A incerteza relativa associada à resolução do aparelho indicador, w_{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).

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

$$a_{rind} = \frac{r}{F} \times 100\% \quad (2)$$

Nesta expressão, r e \bar{F} representam, respectivamente, a resolução do aparelho indicador da força da máquina e o valor da *força verdadeira* no patamar em questão, indicado pelo padrão de força utilizado.

7.3 INCERTEZA ASSOCIADA AO ERRO RELATIVO DO ZERO

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

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

$$a_{zer} = \frac{F_{i0}}{F_N} \times 100\% \quad (4)$$

Nesta expressão, F_{i0} representa o maior valor residual lido no indicador da força da máquina de ensaio após a descarga de uma série de forças de verificação. A variável F_N representa o alcance máximo da escala de forças verificada.

7.4 INCERTEZA ASSOCIADA AO ERRO RELATIVO DA REPETIBILIDADE

A incerteza relativa associada ao erro relativo da repetibilidade, w_{rcrt} , é calculada para cada patamar de força através da expressão (5), admitindo-se uma distribuição em U do erro relativo da repetibilidade, calculado de acordo com a expressão (6).

$$w_{rcrt}^2 = \frac{(a_{rcrt})^2}{8} \quad (5)$$

$$a_{rcrt} = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{\bar{F}} \times 100\% \quad (6)$$

Nesta expressão, F_{\max} , F_{\min} e \bar{F} representam, respectivamente, os valores máximo, mínimo e médio do conjunto de medições efectuadas no patamar de força em questão.

7.5 INCERTEZA ASSOCIADA AO ERRO RELATIVO DA EXACTIDÃO

A incerteza relativa associada ao erro relativo da exactidão, w_q , é calculada para cada patamar de força através da expressão (7), admitindo-se uma distribuição rectangular do erro relativo da exactidão, calculado de acordo com a expressão (8).

$$w_q^2 = \frac{(a_q)^2}{12} \quad (7)$$

$$a_q = \frac{F_i - \bar{F}}{\bar{F}} \times 100\% \quad (8)$$

Nesta expressão, F_i representa o valor da força lido no indicador da força da máquina de ensaio, e \bar{F} representa o valor médio da *força verdadeira* em questão, indicado pelo padrão de força utilizado.

7.6 INCERTEZA ASSOCIADA AO ERRO RELATIVO DA EXACTIDÃO DA SÉRIE COMPLEMENTAR DE MEDIÇÕES

A incerteza relativa associada ao erro relativo da exactidão da série complementar de medições, w_{qc} , destinada a avaliar a influência dos dispositivos acessórios do sistema de medição da força da máquina de ensaio, é calculada para cada patamar de força através da expressão (9), admitindo-se uma distribuição em U do erro relativo da exactidão da série complementar de medições, calculado de acordo com a expressão (10).

$$w_{qc}^2 = \frac{(a_{qc})^2}{8} \quad (9)$$

$$a_{qc} = \frac{F_i - F_c}{F_c} \times 100\% \quad (10)$$

Nesta expressão, F_i representa o valor da força lido no indicador da força da máquina de ensaio, e F_c representa o valor da *força verdadeira* indicado pelo padrão de forças no patamar de força em questão, durante a série complementar de medições.

7.7 INCERTEZA ASSOCIADA AO ERRO RELATIVO DA REVERSIBILIDADE

A incerteza relativa associada ao erro relativo da reversibilidade, w_{rev} , resultante dos fenómenos de histerese durante um ciclo de carga-descarga, 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).

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

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

Nesta expressão, F e F' representam os valores da *força verdadeira* indicados pelo padrão de forças durante um ciclo de carga-descarga, com força crescente e com força decrescente respectivamente.

8. INCERTEZA DE MEDIÇÃO EXPANDIDA ASSOCIADA AOS RESULTADOS DA VERIFICAÇÃO DA MÁQUINA DE ENSAIO

A incerteza relativa padrão associada aos resultados da verificação da máquina de ensaio, w_{resv} , é calculada, para cada patamar de força verificado, de acordo com a expressão (13):

$$w_{resv} = \sqrt{(w_{mdimf})^2 + (w_{rind})^2 + (w_{zer})^2 + (w_{rcrt})^2 + (w_q)^2 + (w_{qc})^2} \quad (13)$$

No caso de não se ter efectuado uma série complementar de medições para a escala de forças em questão, o valor a adoptar para w_{qc} será o valor obtido para o patamar de força correspondente (relativo à mesma percentagem do alcance máximo da escala), na verificação da escala de forças de menor alcance máximo.

Se o cliente solicitar a determinação do erro relativo da reversibilidade (por necessitar de efectuar medições com força de ensaio decrescente, p. ex.), o valor de w_{resv} deve ser calculado de acordo com a expressão (14):

$$w_{resv} = \sqrt{(w_{mdimf})^2 + (w_{rind})^2 + (w_{zer})^2 + (w_{rcrt})^2 + (w_q)^2 + (w_{qc})^2 + (w_{rev})^2} \quad (14)$$

A incerteza expandida, U_{resv} , correspondente a uma probabilidade de cerca de 95%, é calculada através da expressão (15):

$$U_{resv} = k_t w_{resv} \quad (15)$$

em que k_t é determinado, em função do número de graus de liberdade efectivos, ν_{eff} , de acordo com o quadro 2, baseado na distribuição t de Student.

Quadro 2

ν_{eff}	1	2	3	4	5	6	7	8	10	20	50	∞
k_t	13,97	4,53	3,31	2,87	2,65	2,52	2,43	2,37	2,28	2,13	2,05	2,00

O número de graus de liberdade efectivos, ν_{eff} , é calculado através da fórmula de Welch-Satterthwaite (16):

$$\nu_{eff} = \frac{(w_{resv})^4}{\sum_i \frac{w_i^4}{\nu_i}} \quad (16)$$

em que w_i representa cada uma das componentes de incerteza consideradas no cálculo de w_{resv} e ν_i representa o respectivo número de graus de liberdade.

No caso da componente de incerteza w_{mdimf} , o número de graus de liberdade a adoptar deve ser o declarado no respectivo certificado de calibração ou, na sua ausência, deverá assumir-se $\nu_{mdimf} = 50$.

No caso das restantes componentes, em que foram adoptadas avaliações do tipo B da incerteza padrão, deverá assumir-se $\nu_i = 50$.

O valor de U_{resv} a adoptar para a incerteza dos resultados da verificação de uma gama de medição de uma escala de forças da máquina de ensaio, deve ser o máximo dos valores de U_{resv} obtidos no conjunto dos patamares verificados na gama de medição de forças em questão.

A incerteza de medição expandida, U_{resv} , atribuída no certificado de verificação da máquina de ensaio a uma dada gama de medição de uma escala de forças, é expressa em percentagem.

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

O certificado de verificação da máquina de ensaio deve incluir uma nota com o seguinte conteúdo [1]:

“A incerteza de medição expandida apresentada está expressa pela incerteza-padrão multiplicada pelo factor de expansão $k = XX$, o qual, para uma distribuição t de Student com $v_{eff} = YY$ graus de liberdade efectivos corresponde a uma probabilidade expandida de, aproximadamente, 95 %. A incerteza de medição foi calculada de acordo com o documento EAL R2.”

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
- 6** ACREDITAÇÃO DE LABORATÓRIOS DE ENSAIOS MICROBIOLÓGICOS
1996; ISBN 972 - 96727 - 5 - X
- 7** ENSAIOS INTERLABORATORIAIS EM QUÍMICA
1996; ISBN 972 - 96727 - 6 - 8
- 8** DETERMINAÇÃO DA INCERTEZA DA CALIBRAÇÃO DE MASSAS
1997; ISBN 972 - 96727 - 7 - 6
- 9** ALGUNS EXEMPLOS DE CARTAS DE CONTROLO EM LABORATÓRIOS DE ANÁLISE QUÍMICA
1998; ISBN 972 - 96727 - 8 - 4
- 10** DETERMINAÇÃO DA INCERTEZA DOS RESULTADOS DE MEDIÇÃO NA CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO NA ÁREA ELÉCTRICA VOLUME II
1999; ISBN 972 - 96727 - 9 - 2
- 11** ELABORAÇÃO DO MANUAL DA QUALIDADE DE LABORATÓRIOS
1999; ISBN 972 - 8574 - 00 - 2
- 12** DETERMINAÇÃO DA INCERTEZA DOS RESULTADOS DE VERIFICAÇÃO DE MÁQUINAS DE ENSAIO DE TRACÇÃO OU COMPRESSÃO
1999; ISBN 972 - 8574 - 01 - 0



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