

Guia 4

**DETERMINAÇÃO DA
MELHOR INCERTEZA DE MEDIÇÃO
DE UM LABORATÓRIO
DE CALIBRAÇÃO DE FORÇAS**

Com o apoio de:



Programa co-financiado
pelo Governo Português e Comunidade Europeia
FEDER

FICHA TÉCNICA

TÍTULO:

Guia RELACRE 4

DETERMINAÇÃO DA MELHOR INCERTEZA DE
MEDIÇÃO DE UM LABORATÓRIO DE
CALIBRAÇÃO DE FORÇAS

EDIÇÃO: RELACRE

DESIGN GRÁFICO: RELACRE

CAPA: Alda Rosa

IMPRESSÃO: Espaço 2 Gráfico

TIRAGEM: 250 exemplares

DEPÓSITO LEGAL: 101874/96

ISBN: 972-96727-3-3

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	1
2. REFERÊNCIAS	1
3. SÍMBOLOS E DESIGNAÇÕES	2
4. FONTES DE INCERTEZA	3
5. INCERTEZA GLOBAL DO LABORATÓRIO DE REFERÊNCIA	4
6. INCERTEZA ASSOCIADA AO INSTRUMENTO DE REFERÊNCIA	4
7. INCERTEZA ASSOCIADA AO SISTEMA DE CALIBRAÇÃO	7
8. INCERTEZA ASSOCIADA AO PADRÃO DE REFERÊNCIA	10
9. INCERTEZA ASSOCIADA À VARIAÇÃO A LONGO PRAZO DA SENSIBILIDADE DO PADRÃO DE REFERÊNCIA	10
10. INCERTEZA ASSOCIADA AO CONDICIONAMENTO AMBIENTAL	11
11. INCERTEZA ASSOCIADA AOS OPERADORES	12
11.1 Estudo experimental para quantificação das incertezas	12
11.2 Tratamento dos resultados do estudo experimental	13
11.3 Incerteza associada à actuação de um operador em períodos de tempo diferentes	14
11.4 Incerteza associada à actuação de diferentes operadores	15
11.5 Cálculo da incerteza associada aos operadores	15
12. DETERMINAÇÃO DA INCERTEZA GLOBAL DE MEDIÇÃO DO LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO DE FORÇAS	16

1. OBJECTIVO E CAMPO DE APLICAÇÃO

O objectivo do presente documento é o de estabelecer o procedimento a seguir na avaliação da melhor incerteza de um laboratório de metrologia de forças, na calibração de forças a partir de *padrões de referência*. Os *padrões de referência* são *instrumentos de medição de forças* constituídos por transdutores de força com extensómetros eléctricos ou outros dispositivos de medição da deformação elástica introduzida pela força aplicada. Para que estes instrumentos possam ser utilizados como *padrões de referência* para calibração de forças, devem encontrar-se rastreados a um *Laboratório de Referência* reconhecido, através de um certificado de calibração emitido por este *Laboratório*.

A calibração dos *padrões de referência* deve ser realizada de acordo com a Norma Europeia EN 10002-3, com uma periodicidade inferior ou igual ao limite indicado nesta Norma.

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, na sua aplicação ao caso particular de um laboratório de calibração de forças. Para tal, indicam-se as grandezas intervenientes na avaliação da melhor incerteza assegurada pelo laboratório. 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 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_{Lref}	%	Incerteza global do Laboratório de Referência
u_{trf}	%	Incerteza associada ao instrumento de transferência
u_{strf}	%	Incerteza associada à variação da sensibilidade do instrumento de transferência
a_{strf}	%	Deriva da sensibilidade do instrumento de transferência durante o período de um mês
u_{itrif}	%	Incerteza associada ao aparelho indicador do instrumento de transferência
u_{ritrif}	%	Incerteza associada à resolução do aparelho indicador do instrumento de transferência
u_{sitrif}	%	Incerteza associada à variação da sensibilidade do indicador do instrumento de transferência
r, a_{ritrif}	-	Resolução absoluta (r), e relativa (a_{ritrif}) do aparelho indicador do instrumento de transferência
$\bar{X}_{ctr}, \bar{X}_{str}$	-	Valores médios de medições efectuadas num dado patamar de força, com rotação (\bar{X}_{ctr}) sem (\bar{X}_{str}) rotação do instrumento de medição de forças em torno do seu eixo
u_{med}	%	Incerteza associada à variação do valor médio das medições efectuadas pelo Laboratório de Referência, num dado patamar de força, com rotação do instrumento de transferência
a_{btrf}	%	Variação das medições efectuadas pelo Laboratório de Referência, num dado patamar de força, com rotação do instrumento de transferência
X_{max}, X_{min}	-	Valores máximo e mínimo de uma série de medições num dado patamar de força do instrumento de medição de forças
U_{trf}	%	Incerteza expandida associada ao instrumento de transferência
u_{scal}	%	Incerteza associada ao sistema de calibração
u_{dlab}	%	Incerteza associada ao desvio relativo entre os valores médios das medições efectuadas no Laboratório de Referência e no laboratório em avaliação
a_{dlab}	%	Desvio relativo entre os valores médios das medições efectuadas no Laboratório de Referência e no laboratório em avaliação
$\bar{X}_{Lref}, \bar{X}_{lav}$	-	Valores médios das medições efectuadas no Laboratório de Referência e no laboratório em avaliação, com rotação do instrumento de transferência em torno do seu eixo
u_{bscal}	%	Incerteza associada ao erro relativo de repetibilidade das medições no laboratório em avaliação, com o instrumento de transferência na mesma posição
a_{bscal}	%	Erro relativo de repetibilidade das medições no laboratório em avaliação, com o instrumento de transferência na mesma posição
u_{drev}	%	Incerteza associada ao desvio entre erros relativos de reversibilidade do instrumento de transferência, determinados pelo Laboratório de Referência e pelo laboratório em avaliação
a_{drev}	%	Desvio entre os erros relativos de reversibilidade (a_{rv}) do instrumento de transferência, determinados pelo Laboratório de Referência (a_{rvLref}) e pelo laboratório em avaliação (a_{rvlav})
i, i'	-	Medições efectuadas num patamar de força sob força crescente (i) e sob força decrescente (i')
U_{scal}	%	Incerteza expandida associada ao sistema de calibração
u_{pref}	%	Incerteza associada ao padrão de referência
U_{pref}	%	Incerteza expandida associada ao padrão de referência
a_{slp}	%	Variação a longo prazo da sensibilidade do padrão de referência
u_{slp}, U_{slp}	%	Incerteza (u_{slp}) e incerteza expandida (U_{slp}) associada à variação a longo prazo da sensibilidade do padrão de referência
U_{amb}	%	Incerteza expandida associada à influência do condicionamento ambiental
s_{pc}, s_{pd}	-	Incertezas associadas à actuação de um mesmo operador (s_{pc}) e de diferentes operadores (s_{pd})
s_p	%	Incerteza associada aos operadores
U_p	%	Incerteza expandida associada aos operadores
U_{lab}	%	Melhor incerteza global de medição do laboratório em avaliação

4. FONTES DE INCERTEZA

O método adoptado no presente documento para a determinação da melhor incerteza de medição do laboratório de calibração de forças, adiante designado por *laboratório em avaliação*, baseia-se na intercomparação dos resultados de calibrações de instrumentos de medição de força no *laboratório em avaliação* e no *Laboratório de Referência*, a que o *laboratório em avaliação* se encontra rastreado. Estes instrumentos de medição de força (transdutores de força, p. ex.), serão adiante designados por *instrumentos de transferência*.

Esta intercomparação deve ser efectuada com base nos resultados da calibração, segundo a Norma NP EN 10002-3, de pelo menos cinco patamares de força pertencentes à gama de medição do *padrão de referência* do *laboratório em avaliação*.

As fontes de incerteza consideradas são:

- * Incerteza global do *Laboratório de Referência*;
- * Incerteza associada ao *instrumento de transferência*;
- * Incerteza associada ao sistema de calibração;
- * Incerteza associada ao *padrão de referência*;
- * Incerteza associada à variação a longo prazo da sensibilidade do *padrão de referência*;
- * Incerteza associada ao condicionamento ambiental;
- * Incerteza associada aos operadores.

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

No caso de se efectuarem calibrações de forças por outros métodos (através de massas calibradas, por exemplo), deverão ser tomadas em conta outras fontes de incerteza (tais como o processo de conservação das massas de referência, a aceleração da gravidade, a densidade do ar e as imperfeições do dispositivo de aplicação das massas, por exemplo).

5. INCERTEZA GLOBAL DO LABORATÓRIO DE REFERÊNCIA

O *Laboratório de Referência*, a que o *laboratório em avaliação* se encontra rastreado, deve ser um Laboratório Acreditado. A sua melhor incerteza de medição, U_{Lref} , deve constar do respectivo Manual de Qualidade, e ser fornecida ao *laboratório em avaliação* quando por este seja solicitada.

6. INCERTEZA ASSOCIADA AO INSTRUMENTO DE TRANSFERÊNCIA

6.1 A INCERTEZA ASSOCIADA AO *instrumento de transferência*, u_{trf} , É AFECTADA POR:

- variação da sensibilidade do *instrumento de transferência* ao longo do tempo;
- incerteza associada ao aparelho indicador do *instrumento de transferência*;
- variação do valor médio das n medições efectuadas no *Laboratório de Referência*, com rotação do *instrumento de transferência* em torno do seu eixo.

6.2 A INCERTEZA ASSOCIADA À VARIAÇÃO DA SENSIBILIDADE DO *instrumento de transferência* AO longo do tempo, u_{strf} , é calculada com base na deriva da sensibilidade durante o período de cerca de um mês, a_{strf} , de acordo com a expressão (1):

$$u_{strf}^2 = \frac{(a_{strf})^2}{18} \quad (1)$$

No caso de não ser possível quantificar a_{strf} , o seu valor pode ser estimado com base em indicações do fabricante ou fornecidas na literatura para o tipo de *instrumento de transferência* utilizado.

6.3 A INCERTEZA ASSOCIADA AO APARELHO INDICADOR DO *instrumento de transferência* PODE SER desprezada no caso do mesmo aparelho ser utilizado durante as medições no *Laboratório de Referência* e no *laboratório em avaliação*. No caso de se utilizar outro aparelho indicador no *laboratório em avaliação*, com as mesmas características do utilizado no *Laboratório de Referência*, poder-se-à desprezar este tipo de incerteza desde que se demonstre que o aparelho utilizado no *laboratório em avaliação* mantém as características indicadas pelo fabricante.

No caso de no *laboratório em avaliação* se utilizar um aparelho indicador com características diferentes das do aparelho utilizado no *Laboratório de Referência*, deve ser tomada em consideração a incerteza associada ao aparelho indicador do *instrumento de transferência*, u_{itrf} , cujo valor é fornecido pelo respectivo certificado de calibração. No caso de o aparelho indicador dispôr dum dispositivo de auto-calibração, o valor de u_{itrf} pode ser calculado através da expressão (2):

$$u_{itrf} = \sqrt{(u_{ritrf})^2 + (u_{sitrf})^2} \quad (2)$$

O termo u_{ritrf} representa a componente da incerteza associada à resolução do aparelho indicador, e é calculado para cada patamar de força através da expressão (3):

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

A resolução relativa do aparelho indicador, a_{ritrf} , é calculada para cada patamar de força através da expressão (4):

$$a_{ritrf} = \frac{r}{\bar{X}_{ctr}} \times 100\% \quad (4)$$

em que r e \bar{X}_{ctr} representam, respectivamente, a resolução do aparelho indicador, determinada de acordo com a NP EN 10002-3, e o valor médio das medições efectuadas no patamar de força em questão, com rotação do *instrumento de transferência* em torno do seu eixo.

O termo u_{sitrf} representa a componente da incerteza associada à variação da sensibilidade do aparelho indicador. O seu valor pode ser obtido através de uma expressão idêntica à expressão (1), com base em indicações do fabricante, por exemplo.

6.4 A VARIÂNCIA DO VALOR MÉDIO DAS n MEDIÇÕES EFECTUADAS NO *Laboratório de Referência*, com rotação do *instrumento de transferência* em torno do seu eixo, u_{med} , é calculada através da expressão (5):

$$u_{med}^2 = \frac{(a_{btrf})^2}{12n} \quad (5)$$

O valor de a_{btrf} é obtido através da expressão (6):

$$a_{btrf} = \frac{X_{max} - X_{min}}{\bar{X}_{ctr}} \times 100\% \quad (6)$$

em que X_{max} , X_{min} , e \bar{X}_{ctr} representam, respectivamente, os valores máximo, mínimo e médio das medições efectuadas no *Laboratório de Referência*, num dado patamar de força, ao longo das n rotações do *instrumento de transferência*.

6.5 A INCERTEZA ASSOCIADA AO *instrumento de transferência*, u_{trf} , É CALCULADA DE ACORDO COM a expressão (7):

$$u_{trf} = \sqrt{(u_{strf})^2 + (u_{itrif})^2 + (u_{med})^2} \quad (7)$$

A incerteza expandida, U_{trf} , correspondente a uma probabilidade de cerca de 95%, é calculada através da expressão (8), em que $k=2$:

$$U_{trf} = k u_{trf} \quad (8)$$

7. INCERTEZA ASSOCIADA AO SISTEMA DE CALIBRAÇÃO

7.1 A INCERTEZA ASSOCIADA AO SISTEMA DE CALIBRAÇÃO, u_{scal} , É DETERMINADA COM BASE NAS seguintes componentes:

- u_{dlab} , associada ao desvio relativo entre os valores médios das medições efectuadas no *Laboratório de Referência* e no *laboratório em avaliação*;
- u_{bscal} , associada ao erro relativo de repetibilidade das medições no *laboratório em avaliação*, com o *instrumento de transferência* na mesma posição;
- u_{drevl} , associada ao desvio entre os erros relativos de reversibilidade do *instrumento de transferência* determinados pelo *Laboratório de Referência* e pelo *laboratório em avaliação*.

7.2 A COMPONENTE u_{dlab} É CALCULADA ATRAVÉS DA EXPRESSÃO (9):

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

O desvio relativo a_{dlab} é calculado para cada patamar de força através da expressão (10):

$$a_{dlab} = \frac{\bar{X}_{Lref} - \bar{X}_{lav}}{\bar{X}_{Lref}} \times 100\% \quad (10)$$

em que \bar{X}_{Lref} e \bar{X}_{lav} representam, respectivamente, os valores médios das medições efectuadas no *Laboratório de Referência* e no *laboratório em avaliação*, com rotação do *instrumento de transferência* em torno do seu eixo.

7.3 A COMPONENTE u_{bscal} É CALCULADA ATRAVÉS DA EXPRESSÃO (11):

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

O erro relativo de repetibilidade a_{bscal} é calculado, para cada patamar de força, através da expressão (12):

$$a_{\text{bscal}} = \frac{X_{\text{max}} - X_{\text{min}}}{\bar{X}_{\text{srt}}} \times 100\% \quad (12)$$

em que X_{max} , X_{min} , e \bar{X}_{srt} representam, respectivamente, os valores máximo, mínimo e médio de duas medições efectuadas no *laboratório em avaliação*, com o *instrumento de transferência* na mesma posição.

7.4 A COMPONENTE u_{drev} É CALCULADA PARA CADA PATAMAR DE FORÇA ATRAVÉS DA EXPRESSÃO (13):

$$u_{\text{drev}}^2 = \frac{(a_{\text{drev}})^2}{12} \quad (13)$$

O desvio a_{drev} é obtido através da diferença entre os erros relativos da reversibilidade do *instrumento de transferência* determinados pelo *Laboratório de Referência* (a_{rvLref}) e pelo *laboratório em avaliação* (a_{rvlav}):

$$a_{\text{drev}} = a_{\text{rvLref}} - a_{\text{rvlav}} \quad (14)$$

Os erros relativos da reversibilidade são determinados de acordo com a NP EN 10002-3, através da expressão (15):

$$a_{rv} = \frac{i' - i}{i} \times 100 \% \quad (15)$$

em que 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 carga-descarga do *instrumento de transferência*.

7.5 A INCERTEZA ASSOCIADA AO SISTEMA DE CALIBRAÇÃO, u_{scal} , É CALCULADA DE ACORDO COM a expressão (16):

$$u_{scal} = \sqrt{(u_{dlab})^2 + (u_{bscal})^2 + (u_{drev})^2} \quad (16)$$

A incerteza expandida, U_{scal} , correspondente a uma probabilidade de cerca de 95%, é calculada através da expressão (17), em que $k=2$:

$$U_{scal} = k u_{scal} \quad (17)$$

8. INCERTEZA ASSOCIADA AO PADRÃO DE REFERÊNCIA

A incerteza associada ao *padrão de referência*, u_{pref} , é calculada a partir dos resultados da calibração do *padrão de referência*, de acordo com o *Guia para a determinação da incerteza dos resultados da calibração de instrumentos de medição de forças*.

A incerteza expandida, U_{pref} , correspondente a uma probabilidade de cerca de 95%, é calculada através da expressão (18), em que $k=2$:

$$U_{\text{pref}} = k u_{\text{pref}} \quad (18)$$

9. INCERTEZA ASSOCIADA À VARIAÇÃO A LONGO PRAZO DA SENSIBILIDADE DO PADRÃO DE REFERÊNCIA

A variação a longo prazo da sensibilidade do *padrão de referência*, a_{slp} , pode ser determinada, para cada patamar de força, através da comparação dos resultados de duas calibrações consecutivas (19):

$$a_{\text{slp}}^2 = \frac{\bar{X}_{\text{ctr},2} - \bar{X}_{\text{ctr},1}}{\frac{1}{2} (\bar{X}_{\text{ctr},2} + \bar{X}_{\text{ctr},1})} \times 100\% \quad (19)$$

em que $\bar{X}_{\text{ctr},2}$ e $\bar{X}_{\text{ctr},1}$ representam, respectivamente, os valores médios das medições efectuadas com rotação do *padrão de referência* em torno do seu eixo, de acordo com a Norma NP EN 10002-3, na calibração mais recente e na calibração anterior.

A incerteza associada a esta variação, u_{slp} , é calculada através da expressão (20):

$$u_{\text{slp}}^2 = \frac{(a_{\text{slp}})^2}{18} \quad (20)$$

No caso de um *padrão de referência* que disponha de uma única calibração, a variação da sua sensibilidade pode ser estimada com base na variação da sensibilidade de outros transdutores de força com as mesmas características.

A incerteza expandida, U_{slp} , correspondente a uma probabilidade de cerca de 95%, é calculada através da expressão (21), em que $k=2$:

$$U_{slp} = k u_{slp} \quad (21)$$

10. INCERTEZA ASSOCIADA AO CONDICIONAMENTO AMBIENTAL

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

- a calibração deve ser efectuada a uma temperatura estável, a $\pm 1^\circ\text{C}$, entre 18°C e 28°C ;
- antes de se iniciar a calibração deve-se aguardar um intervalo de tempo suficiente para os instrumentos de medição de força atingirem uma temperatura estável;
- os transdutores de força com extensómetros eléctricos deverão ser ligados pelo menos 30 minutos antes de se iniciar a calibração.

No caso de o *padrão de referência* 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 e a temperatura de calibração, indicada no certificado de calibração.

No caso destas recomendações serem respeitadas, poder-se-á considerar que $U_{amb} = 0$.

No caso das recomendações referidas não serem respeitadas, o valor de U_{amb} deverá ser determinado em função dos efeitos da variação da temperatura sobre as medições efectuadas com o padrão de força.

11. INCERTEZA ASSOCIADA AOS OPERADORES

11.1 ESTUDO EXPERIMENTAL PARA QUANTIFICAÇÃO DAS INCERTEZAS

A incerteza associada aos operadores constitui uma parcela fixa da incerteza global, cuja quantificação deve ser efectuada através dum estudo experimental prévio, envolvendo todos os operadores autorizados a realizar operações de calibração de forças num dado laboratório.

Tal estudo deve permitir quantificar duas componentes diferentes deste tipo de incerteza: a incerteza devida à actuação de um mesmo operador em períodos de tempo diferentes, e a incerteza devido à actuação de diferentes operadores.

No caso de as operações de calibração poderem ser efectuadas por n operadores, o estudo experimental envolve a realização de n conjuntos de dois ensaios de um mesmo *instrumento de medição de forças*, realizados a partir do mesmo *padrão de referência*, um de manhã e outro à tarde. Cada ensaio é constituído por dez séries de pelo menos cinco patamares de forças crescentes.

Cada um dos n conjuntos de ensaios deve ser atribuído a um operador diferente. Os dois ensaios relativos a cada conjunto, de manhã e à tarde, devem ser efectuados pelo mesmo operador.

Durante todos os ensaios pretende-se que todas as restantes variáveis que afectam a incerteza global se mantenham constantes. Deste modo, todas as séries de forças serão aplicadas sempre no sentido crescente, sem alterar as posições do *padrão de referência* e do instrumento de medição de força. Os patamares de força devem ser sempre os mesmos ao longo de todos os ensaios.

11.2 TRATAMENTO DOS RESULTADOS DO ESTUDO EXPERIMENTAL

Com base nos resultados obtidos durante o estudo experimental calculam-se, para cada patamar de força, as variâncias relativas às dez séries de leituras efectuadas em cada ensaio:

$$s^2 = \frac{1}{9} \sum_{j=1}^{10} \left(\frac{X_j - \bar{X}_{\text{srt}}}{\bar{X}_{\text{srt}}} \times 100\% \right)^2 \quad (22)$$

em que \bar{X}_{srt} representa o valor médio das dez leituras efectuadas num dado patamar de forças durante um mesmo ensaio:

$$\bar{X}_{\text{srt}} = \frac{1}{10} \sum_{j=1}^{10} X_j \quad (23)$$

As variâncias calculadas para o conjunto dos 2 x n ensaios serão designadas pelos símbolos $s^2_{p1.m}$ a $s^2_{pn.m}$, no caso dos ensaios efectuados pelos operadores 1 a n durante o período da manhã, e por $s^2_{p1.t}$ a $s^2_{pn.t}$, no caso dos ensaios efectuados durante o período da tarde.

Para cada patamar de força calculam-se também as variâncias relativas do conjunto das vinte séries de leituras efectuadas por cada operador nas duas operações, nos períodos de manhã e de tarde:

$$s^2 = \frac{1}{19} \sum_{j=1}^{20} \left(\frac{X_j - \bar{X}_{\text{srt}}}{\bar{X}_{\text{srt}}} \times 100\% \right)^2 \quad (24)$$

em que \bar{X}_{srt} representa o valor médio das vinte leituras efectuadas num dado patamar de forças durante o conjunto dos dois ensaios efectuados por um mesmo operador. O seu valor é calculado através de um expressão idêntica à expressão (23). As variâncias calculadas através da expressão (24) serão designadas pelos símbolos s^2_{p1*} a s^2_{pn*} .

Finalmente, calculam-se ainda, para cada patamar de força, as variâncias relativas ao conjunto das leituras efectuadas nos n ensaios, nos períodos de manhã e nos períodos de tarde:

$$s^2 = \frac{1}{10n - 1} \sum_{j=1}^{10n} \left(\frac{X_j - \bar{X}_{srt}}{\bar{X}_{srt}} \times 100\% \right)^2 \quad (25)$$

em que \bar{X}_{srt} representa o valor médio das 10 x n leituras efectuadas num dado patamar de forças durante o conjunto dos ensaios efectuados pelos n operadores durante um mesmo período, de manhã ou de tarde. O seu valor é calculado através de um expressão idêntica à expressão (23). Estas variâncias serão designadas pelos símbolos $s^2_{p.m*}$ a $s^2_{p.t*}$, para os períodos de manhã e de tarde, respectivamente.

Apesar de o dispositivo e os procedimentos de calibração se manterem constantes ao longo deste estudo, deve-se ter em conta o facto de os valores obtidos serem afectados pela incerteza associada à repetibilidade das leituras.

11.3 INCERTEZA ASSOCIADA À ACTUAÇÃO DE UM OPERADOR EM PERÍODOS DE TEMPO DIFERENTES

A componente da incerteza associada à actuação de um determinado operador **i**, em períodos de tempo diferentes, é obtida através da expressão (26):

$$s^2_{pi} = s^2_{pi*} - \min (s^2_{pi.m}, s^2_{pi.t}) \quad (26)$$

em que o termo substractivo representa o menor valor das variâncias $s^2_{pi.m}$ e $s^2_{pi.t}$. Admite-se que este termo substractivo caracteriza a incerteza associada à repetibilidade das leituras, enquanto que o termo s^2_{pi*} inclui a incerteza associada à repetibilidade das leituras e à actuação do operador **i** nos dois períodos de tempo diferentes.

Uma vez calculados os valores de s^2_{p1} a s^2_{pn} , adopta-se o maior destes valores para a componente a incerteza associada à actuação de um mesmo operador:

$$s^2_{pc} = \max (s^2_{p1}, s^2_{p2}, \dots, s^2_{pn}) \quad (27)$$

11.4 INCERTEZA ASSOCIADA À ACTUAÇÃO DE DIFERENTES OPERADORES

A componente da incerteza associada à actuação de diferentes operadores, durante o período da manhã por exemplo, é obtida através da expressão (28):

$$s_{p.m}^2 = s_{p.m}^{2*} - \min (s_{p1.m}^2, s_{p2.m}^2, \dots, s_{pn.m}^2) \quad (28)$$

em que o termo subtrativo representa o menor valor das variâncias $s_{p1.m}^2, s_{p2.m}^2, \dots, s_{pn.m}^2$.

Admite-se que este termo subtrativo caracteriza a incerteza associada à repetibilidade das leituras, enquanto que o termo $s_{p.m}^{2*}$ inclui a incerteza associada à repetibilidade das leituras e à actuação dos n operadores durante os períodos da manhã.

A componente da incerteza associada à actuação de diferentes operadores durante os períodos da tarde é obtida de forma idêntica.

Uma vez calculados os valores de $s_{p.m}^2$ e $s_{p.t}^2$, adopta-se o maior destes valores para a componente da incerteza associada à actuação de diferentes operadores:

$$s_{pd}^2 = \max (s_{p.m}^2, s_{p.t}^2) \quad (29)$$

11.5 CÁLCULO DA INCERTEZA ASSOCIADA AOS OPERADORES

A incerteza associada aos operadores, s_p , é calculada para cada patamar de força através da expressão (30):

$$s_p = \sqrt{(s_{pc})^2 + (s_{pd})^2} \quad (30)$$

A incerteza expandida, U_p , correspondente a uma probabilidade de cerca de 95%, é calculada através da expressão (31), em que $k=2$:

$$U_p = k s_p \quad (31)$$

12. DETERMINAÇÃO DA INCERTEZA GLOBAL DE MEDIÇÃO DO LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO DE FORÇAS

A melhor incerteza de medição do laboratório de calibração de forças em avaliação, U_{lab} , é calculada através da lei de propagação das variâncias, de acordo com a expressão (32):

$$U_{lab} = \sqrt{(U_{Lref})^2 + (U_{trf})^2 + (U_{scal})^2 + (U_{pref})^2 + (U_{srp})^2 + (U_{amb})^2 + (U_p)^2} \quad (32)$$

O cálculo das várias componentes da incerteza global, intervenientes na expressão (32), é descrito nas secções 5. a 11.

No caso de uma destas componentes ser calculada separadamente para vários patamares de força, o cálculo da incerteza global, U_{lab} , relativa a uma dada gama de medição de forças, deve ser efectuada com base no valor máximo destas componentes, no conjunto dos patamares de força compreendidos dentro da gama de medição de forças em questão.

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



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