

## **REFERÊNCIAS**

**Área Temática: Metrologia**

**Título: Recursos e capacidade técnica dos Laboratórios de Metrologia de Forças do IPQ e do LNEC no domínio da calibração de instrumentos de medição de forças**

**Nome do primeiro autor: Luís Brito**

**Entidade: Instituto Português da Qualidade**

**Nome do outro autor: António Manuel Baptista**

**Entidade: Laboratório Nacional de Engenharia Civil**

**Nome(s) do(s) orador(es):**

## **RESUMO**

*O presente trabalho descreve os meios disponíveis e a capacidade de actuação dos laboratórios de metrologia de forças do IPQ e do LNEC. São indicadas as incertezas associadas às forças de calibração cobertas por estes laboratórios e referem-se resultados obtidos em exercícios de comparação com outros laboratórios de metrologia europeus.*

## **INTRODUÇÃO**

O Instituto Português de Qualidade (IPQ) iniciou em Outubro de 1999 a sua actividade na área da Metrologia das Forças, desenvolvendo um laboratório primário para a calibração de instrumentos de medição de força.

Por outro lado, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) tem mantido, desde a sua fundação há mais de cinquenta anos, uma preocupação constante com o controlo metrológico dos seus equipamentos de ensaio, tendo-se apetrechado com os padrões de força necessários para esta finalidade.

Esta actividade ultrapassou o âmbito interno e passou a constituir um dos serviços prestados ao exterior, no âmbito das competências atribuídas pela sua lei orgânica. O reconhecimento desta actividade conduziu, em 1987, à celebração dum Protocolo de Cooperação entre o IPQ e o LNEC, assegurando-se assim uma complementaridade das capacidades destas duas instituições neste domínio.

O presente trabalho descreve o novo padrão de força nacional em funcionamento no IPQ e o equipamento disponível no LNEC, bem como as incertezas associadas às respectivas gamas de calibração. É ainda feita referência a exercícios de comparação com outros laboratórios de metrologia europeus em que o IPQ e o LNEC participaram.

## **LABORATÓRIO DE METROLOGIA DE FORÇAS DO INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE**

### **DESCRIÇÃO DO PADRÃO NACIONAL**

O padrão nacional é constituído por duas máquinas de força (figura 1), controladas por computador, que aplicam uma força determinada pela expressão :

$$F = m g (1 - \rho_1 / \rho_2).$$

em que:

**m** representa o valor da massa [kg],

**g** é a aceleração da gravidade medida no local da instalação do padrão [ $\text{ms}^{-2}$ ],

**$\rho_1$**  representa a massa específica do ar [ $\text{kg/m}^3$ ], e

**$\rho_2$**  a massa específica dos pesos mortos [ $\text{kg/m}^3$ ].

Deste modo, como o valor da massa pode ser rastreada ao protótipo internacional do quilograma e a aceleração da gravidade pode ser rastreada à rede gravimétrica internacional, a força gerada por este padrão é directamente rastreável às unidades de base do Sistema Internacional.

Dependendo da aplicação, a força gerada pode exercer compressão ou tracção sobre o instrumento de medição de força a calibrar. O valor das massas deste padrão foi ajustado e calibrado de forma a que a aceleração gravítica e o efeito de impulsão de Arquimedes não provoquem desvios ao valor de força pretendido.



Figura 1 - Padrão Nacional de Força do IPQ

A primeira máquina de força tem uma gama de funcionamento de 50N a 5kN, e permite a calibração de instrumentos de medição de força em 23 patamares de força diferentes.

A segunda máquina de força (figura 2) tem uma gama de funcionamento de 1kN a 100kN, e permite a calibração de instrumentos de medição de força em 27 patamares de força diferentes. Este padrão tem como principal característica uma incerteza expandida de  $20 \times 10^{-5}$  x força exercida.

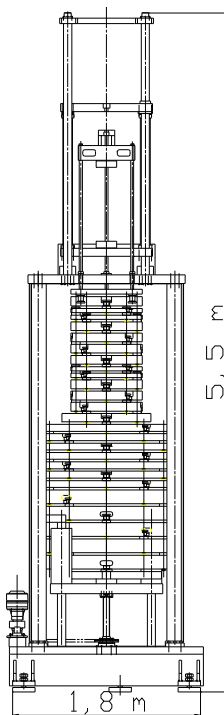


Figura 2 - Esquema do Padrão Nacional de Força do IPQ – Máquina de Força de 1kN a 100kN

## COMPARAÇÕES INTERLABORATORIAIS

Antes de abrir ao público esta nova área de calibrações, o IPQ participou numa comparação com o PTB, que resultou numa concordância geral entre os valores do IPQ e do PTB dentro de um envelope de  $\pm 1 \times 10^{-5}$  x força exercida.

Os resultados desta comparação não estão disponíveis na altura da apresentação do presente trabalho, mas irão ser apresentados na Conferência Internacional IMEKO 2000 em Viena. O excelente resultado da comparação interlaboratorial com o PTB veio confirmar que a repetibilidade, a reprodutibilidade e as componentes parasitas da força gerada por este padrão são inferiores a  $1 \times 10^{-5}$  x força gerada, e que o valor da incerteza ( $2 \times 10^{-5}$  x força gerada) estimada para este padrão é consistente com os resultados obtidos.

Neste contexto, pode-se afirmar que já é possível realizar calibrações na área de força em Portugal ao mais alto nível de exactidão disponível no mercado internacional.

## LABORATÓRIO DE METROLOGIA DE FORÇAS DO LABORATÓRIO NACIONAL DE ENG<sup>a</sup> CIVIL

### INÍCIO DA ACTIVIDADE

O LNEC tem vindo a desempenhar, desde a sua fundação em 1947, um papel importante no domínio da metrologia de forças. Tendo tentado manter, desde o início da sua actividade, um controlo metrológico dos seus equipamentos de ensaio, cedo se equipou com padrões de força para a verificação periódica das máquinas utilizadas em ensaios mecânicos de materiais e produtos.

Entretanto, a circunstância de não existir, então, qualquer outra entidade nacional vocacionada para esta actividade, fez com que o potencial do LNEC neste domínio fosse colocado ao serviço da indústria e dos organismos interessados.

Mais recentemente, em 1987, o reconhecimento desta actividade conduziu à celebração de um Protocolo de Cooperação entre o IPQ e o LNEC, visando a complementaridade dos seus recursos e esforços no domínio da metrologia de forças.

Desde então, o LNEC tem vindo a reforçar o seu equipamento e continuado a investir na formação de técnicos especializados para esta actividade, tendo sido auditado pelo IPQ no âmbito da calibração de instrumentos de medição de forças e da verificação de máquinas de ensaios.

## PADRÕES DE FORÇA

A calibração de instrumentos de medição de força pelo Laboratório de Metrologia de Forças do LNEC (LMF/LNEC) baseia-se na utilização de padrões de referência, colocados em série com os instrumentos a calibrar. Os padrões de referência encontram-se rastreados ao laboratório central de metrologia alemão, Physikalish Technische Bundesanstalt (PTB), situado em Braunschweig. Esta solução foi igualmente adoptada noutros países europeus, como a Dinamarca por exemplo, onde não existiam laboratórios primários de metrologia de forças, sendo a rastreabilidade dos seus padrões de referência também assegurada pelo PTB.

O LMF/LNEC dispõe actualmente de um conjunto de cerca de quarenta transdutores de força (figura 3), utilizados como padrões de força de compressão e de tracção.

O alcance máximo de cada um destes transdutores é indicado no quadro 1. As respectivas gamas de medição encontram-se geralmente compreendidas entre o alcance máximo e 10% deste valor

Quadro 1: Lista dos padrões de força do LMF/LNEC

COMPRESSÃO		TRACÇÃO	
Nº de padrões	Alcance máximo (kN)	Nº de padrões	Alcance máximo (kN)
1	0,2	1	0,2
1	1	1	1
1	5	1	2
1	10	2	5
2	20	1	10
2	50	1	20
2	100	2	50
3	200	1	100
1	300	2	200
3	500	2	500
3	1000	-	-
2	3000	-	-
3	5000	-	-

## INCERTEZAS DOS PADRÕES DE FORÇA

No quadro 2 apresentam-se os valores actuais das incertezas associadas às várias gamas de medição dos padrões de força do LMF/LNEC, em compressão e em tracção respectivamente.

Os valores apresentados para cada gama de medição correspondem aos melhores valores de incerteza indicados pelo PTB nos certificados de calibração dos vários padrões com capacidade de medição na gama de força em questão.

Quadro 2: Incertezas dos padrões do LMF/LNEC

Gama de medição	Incerteza de medição ( $10^{-5}$ )	
	Compressão	Tracção
0,1 kN a 0,2 kN	33	33
0,2 kN a 0,3 kN	26	28
0,3 kN a 0,4 kN	21	23
0,4 kN a 0,5 kN	10	22
0,5 kN a 0,6 kN	10	19
0,6 kN a 0,7 kN	10	16
0,7 kN a 0,8 kN	8	15
0,8 kN a 0,9 kN	5	14
0,9 kN a 1,0 kN	4	13
1,0 kN a 1,5 kN	8	14
1,5 kN a 2,0 kN	8	9
2,0 kN a 2,5 kN	6	14
2,5 kN a 3,0 kN	5	12
3,0 kN a 3,5 kN	4	10
3,5 kN a 4,5 kN	3	8
4,5 kN a 5,0 kN	4	7
5 kN a 6 kN	6	25
6 kN a 10 kN	5	19
10 kN a 14 kN	5	16
14 kN a 16 kN	5	11
16 kN a 18 kN	5	8
18 kN a 20 kN	4	6
20 kN a 25 kN	4	11
25 kN a 30 kN	5	7
30 kN a 35 kN	4	7
35 kN a 40 kN	4	5
40 kN a 50 kN	4	4
50 kN a 60 kN	11	3
60 kN a 70 kN	11	4
70 kN a 80 kN	10	3
80 kN a 90 kN	9	3
90 kN a 100 kN	7	3
100 kN a 150 kN	5	8
150 kN a 200 kN	6	5
200 kN a 250 kN	8	58
250 kN a 300 kN	8	49
300 kN a 350 kN	8	39
350 kN a 400 kN	7	27
400 kN a 450 kN	6	14
450 kN a 500 kN	5	15
500 kN a 600 kN	17	-
600 kN a 800 kN	11	-
800 kN a 900 kN	5	-
900 kN a 1000 kN	6	-
1000 kN a 1500 kN	76	-
1500 kN a 2000 kN	56	-
2000 kN a 2500 kN	48	-
2500 kN a 3000 kN	41	-
3000 kN a 3500 kN	39	-
3500 kN a 4000 kN	38	-
4000 kN a 4500 kN	38	-
4500 kN a 5000 kN	36	-

As incertezas indicadas nos certificados de calibração emitidos pelo PTB encontram-se expressas em percentagem do valor medido. Para facilitar a sua comparação com os valores atrás indicados pelo laboratório primário português (IPQ), os valores apresentados no quadro 2 são expressos em valores múltiplos de  $10^{-5}$ , sendo  $10^{-5} = 0,001 \%$ .

#### INCERTEZA DE MEDIÇÃO DO LMF/LNEC

Os valores máximos da incerteza do LMF/LNEC ao longo das várias gamas de medição, em compressão e em tracção, são indicados no quadro 3. Os valores apresentados foram calculados de acordo com o Guia RELACRE 4<sup>1</sup>, tendo em conta as componentes de incerteza associadas ao padrão de força, ao laboratório de referência (PTB), ao sistema de calibração, ao condicionamento ambiental e à actuação do pessoal operador. Refira-se, a propósito, que a Norma Europeia EN 10002-3, segundo a qual são realizadas as operações de calibração de instrumentos de medição de força, impõe incertezas máximas de  $20 \times 10^{-5}$ ,  $50 \times 10^{-5}$  e  $100 \times 10^{-5}$ , para a calibração de instrumentos da classe 0,5, 1 e 2, respectivamente. Da análise dos valores apresentados no quadro 3 conclue-se que o LNEC se encontra apto a realizar calibrações de instrumentos da classe 1 entre 0,1 kN e 1000 kN em compressão, e entre 0,1 kN e 200 kN em tracção.

#### COMPARAÇÃO COM LABORATÓRIOS EUROPEUS

No âmbito das actividades desenvolvidas em sequência do Protocolo de Cooperação com o IPQ, o LMF/ LNEC representou Portugal em exercícios de comparação com alguns dos principais laboratórios de metrologia de forças europeus.

Na figura 4 apresentam-se os resultados, publicados pelo PTB, da participação do LMF/LNEC num exercício de comparação interlaboratorial (WECC F2), em que participaram 25 laboratórios de metrologia de forças de 9 países europeus.

O PTB assegurou o papel de laboratório de referência, efectuando duas calibrações de cada um de dois transdutores de compressão, de 50 kN e 500 kN, antes do envio e após o regresso destes transdutores de cada um dos laboratórios participantes. A média dos valores obtidos nas duas calibrações do PTB foi posteriormente comparada com os obtidos por cada um dos outros laboratórios.

<sup>1</sup> Guia RELACRE 4 - *Determinação da melhor incerteza de medição de um laboratório de calibração de forças*, Associação de Laboratórios Acreditados de Portugal (RELACRE), 1996, 12 p.

Nos quadros 4 e 5 apresentam-se os desvios relativos, em ppm ( $1 \text{ ppm} = 10^{-6}$ ), entre os resultados do PTB e os do LMF/LNEC.

À excepção de um único ponto (100 kN), em que o desvio atingiu 461 ppm por a calibração não ter sido realizada nas melhores condições (o padrão mais adequado encontrava-se na Alemanha para recalibração), os desvios são, em geral, inferiores a  $28 \times 10^{-5}$ , o que confirma, de certo modo, os valores da incerteza do LMF/LNEC indicados no quadro 3.

O Erro Normalizado é sempre inferior a 1 (figura 4), uma vez que a incerteza então declarada pelo LMF/LNEC foi de 500 ppm ( $50 \times 10^{-5}$ ).

Os resultados obtidos podem ser considerados bastante positivos para o LMF/LNEC, sobretudo quando comparados com os relativos a outros laboratórios europeus com características idênticas (apoiando-se na utilização de padrões de referência rastreados a laboratórios de força primários).

A participação do LNEC no WECC F2 constituiu uma experiência enriquecedora, permitindo avaliar os procedimentos de calibração implementados e legitimar os valores de incerteza declarados para as operações de calibração de instrumentos de medição de forças.

Quadro 3: Incerteza de medição do LMF/LNEC

Gama de medição	Incerteza de medição ( $10^{-5}$ )	
	Compressão	Tracção
0,1 kN a 1,0 kN	40	42
1 kN a 5 kN	24	29
5 kN a 15 kN	23	37
15 kN a 50 kN	21	26
50 kN a 200 kN	24	26
200 kN a 300 kN	24	64
300 kN a 350 kN	24	47
350 kN a 500 kN	23	37
500 kN a 1000 kN	28	-
1500 kN a 2000 kN	106	-
2000 kN a 5000 kN	95	-
2500 kN a 3000 kN	86	-
3000 kN a 3500 kN	81	-
3500 kN a 4000 kN	79	-
4000 kN a 4500 kN	76	-
4500 kN a 5000 kN	74	-

#### BIBLIOGRAFIA

- BAPTISTA, A.M., *Participação do LNEC no "II WECC Audit on Force Measurement"*, Rel 33/92-NCE, 60 p.
- BAPTISTA, A.M., *Incerteza dos padrões de força de compressão do LMF/LNEC em 1999/2000*, NT 5/00-NCE, 38 p., e NT 6/00-NCE, 31 p., 2000.
- SAWLA, A., e PETERS, M. *WECC Inter-laboratory Comparison F2*, Braunschweig, Fev. 1993, 55 p.
- NPEN10002-3 (1995) *Calibração dos instrumentos de medição de força utilizados na verificação de máquinas de ensaios uniaxiais*.



Figura 3 – Vista geral de alguns dos padrões de força do LMF/LNEC

Quadro 4: Desvios entre medições do LNEC e do PTB com o transdutor de compressão de 50 kN

Força (kN)	Leituras do PTB (mV/V)	Leituras do LNEC (mV/V)	Desvios ( $\times 10^{-6}$ )
20	0,81572	0,81548	-294
25	1,01966	1,01937	-281
30	1,22353	1,22325	-228
35	1,42749	1,42710	-273
40	1,63140	1,63094	-279
45	1,83531	1,83481	-277
50	2,03919	2,03870	-240

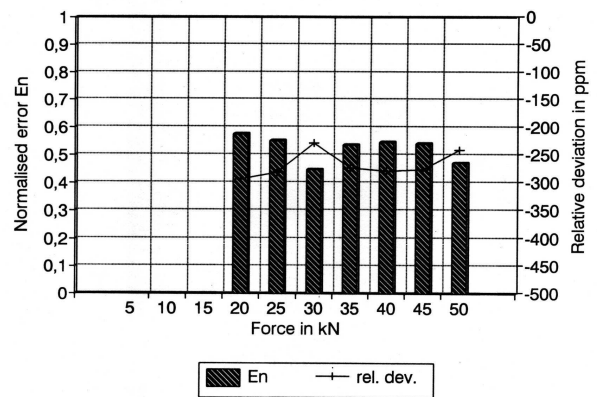


FIGURE 51. Laboratory: PT, UncertaintyLAB: 500 ppm  
Audit device: 50 kN force transducer

Quadro 5: Desvios entre medições do LNEC e do PTB com o transdutor de compressão de 500 kN

Força (kN)	Leituras do PTB (mV/V)	Leituras do LNEC (mV/V)	Desvios ( $\times 10^{-6}$ )
100	0,40775	0,40756	-461
150	0,61163	0,61158	-86
200	0,81555	0,81550	-67
250	1,01956	1,01954	-15
300	1,22358	1,22359	7
350	1,42759	1,42761	15
400	1,63159	1,63169	58
450	1,83558	1,83572	77
500	2,03956	2,03972	78

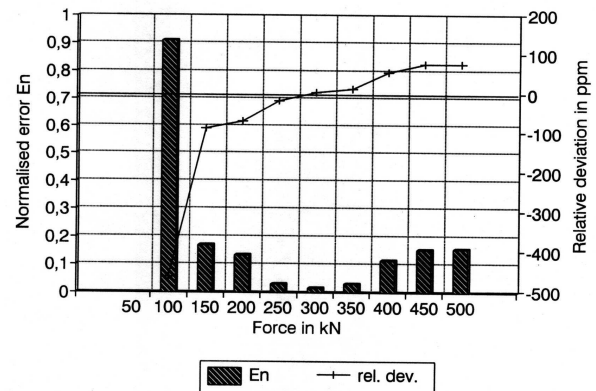


FIGURE 52. Laboratory: PT, UncertaintyLAB: 500 ppm  
Audit device: 500 kN force transducer

Figura 4 – Desvios e Erro Normalizado (En) entre as medições efectuadas pelo LMF/LNEC e pelo PTB