

COMPARAÇÕES NACIONAIS DE PADRÕES NO DOMÍNIO ELÉCTRICO

Rui Mello-Freitas, Isabel Godinho, Luís Ribeiro, Mário Nunes *
Ana Maria Duarte, Cláudia Almeida**

* INETI-LME, Estrada do Paço do Lumiar, 22, 1649-038 Lisboa, Portugal

** RELACRE, Rua Filipe Folque, 2, 6º Dir., 1050-113 Lisboa

RESUMO

Organizadas em parceria pela RELACRE e o INETI e com o acordo do IPAC, foram efectuadas comparações nacionais de padrões no domínio eléctrico, para as áreas de Tensão DC, Resistência DC e Capacidade, envolvendo onze laboratórios nacionais acreditados.

Neste artigo apresentam-se de forma sintética os resultados obtidos por todos os participantes nas comparações efectuadas.

Palavras-chave: Metrologia, electricidade, comparações, padrões, rastreabilidade.

INTRODUÇÃO

No âmbito de um programa de comparações nacionais de padrões, organizado em parceria pela RELACRE e o INETI e com o acordo do IPAC, realizaram-se três exercícios nas áreas de Tensão DC, Resistência DC e Capacidade.

A organização geral e a logística ficaram a cargo da RELACRE, enquanto que a organização técnica e a função de laboratório de referência foram desempenhadas pelo INETI.

Estes exercícios, na senda doutras experiências do mesmo tipo realizadas há alguns anos^[1] tiveram como objectivo primordial a avaliação e demonstração das capacidades de medição dos laboratórios intervenientes, abrindo perspectivas para eventuais ajustes dos valores de incerteza acreditados.

Todos os valores de incerteza foram calculados de acordo com o GUM.^[2]

Tensão DC

Pretendia-se que neste exercício, fosse efectuada a medição de uma referência electrónica de tensão contínua, com valor nominal de 10 V, de acordo com os procedimentos técnicos ou métodos acreditados de cada laboratório participante. Foi seleccionada para objecto de medição, uma referência electrónica com tecnologia baseada em díodos zener, de marca FLUKE, modelo 7001, n.º de série 44323. O exercício decorreu em duas fases entre Dezembro de 2005 e Junho de 2006, tendo participado 11 laboratórios.^[3,4]

A caracterização do padrão circulante foi realizada através do sistema automático implementado no LME e que permite a comparação de referências de tensão com um array de Josephson. Os valores calculados tiveram como base o valor internacionalmente adoptado da constante de Josephson $K_{J-90} = 483\,597,9 \text{ GHz} \cdot \text{V}^{-1}$ para as realizações da representação do volt, utilizando aquele efeito.

Foi utilizado um modelo linear, para a determinação do valor de referência para a data média de cada um dos laboratórios participantes, a partir de estudos realizados no início, no intervalo entre fases e no fim da participação dos laboratórios. No modelo assim definido, essa referência assumiu um valor $V_{ref} = (-39 \cdot 10^{-9} D_m + 10,001\,464) \text{ V}$ com uma incerteza expandida de $0,2 \mu\text{V/V}$ em que D_m representa a data média das medições de cada laboratório. Os estudos efectuados e os resultados apresentados estão resumidos na Tabela 1.

	Laboratório	Valor Medido V lab [V]	Melhor Incerteza [$\mu\text{V} / \text{V}$]	Desvio do Valor de Referência [$\mu\text{V} / \text{V}$]	En
1ª Fase	INETI	9.999 945	1.0E-01		
	L1	9.999 943	3.0E+00	-0.29	0.10
	L2	9.999 950	9.8E+00	0.57	0.05
	L3	9.999 944	3.0E+00	-0.13	0.04
	L4	9.999 943	3.5E+00	-0.20	0.06
	INETI	9.999 944	1.0E-01		
2ª Fase	L1	9.999 955	6.0E+00	1.38	0.23
	L2	9.999 950	5.3E+00	1.10	0.21
	L3	9.999 943	3.0E+00	-0.02	0.01
	L4	9.999 949	3.8E+00	0.88	0.23
	L5	9.999 943	7.2E+00	0.04	0.01
	L6	9.999 950	4.7E+01	0.82	0.02
	L7	9.999 946	3.1E+00	0.53	0.17
	Lx	9.999 950	3.5E+00	1.10	0.31
	INETI	9.999 941	1.0E-01		

Tabela 1 – Valores obtidos em Tensão DC.

A participação identificada por Lx, representa um método alternativo apresentado por um dos laboratórios.

A avaliação das diferenças encontradas entre cada valor relatado e o V_{ref} determinado, associadas às melhores incertezas apresentadas, estão representados na Gráfico 1.

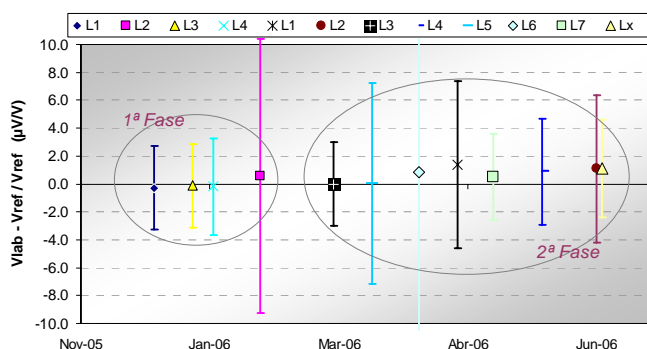


Gráfico 1 – Desvios em relação ao valor de referência e associados às melhores incertezas apresentadas.

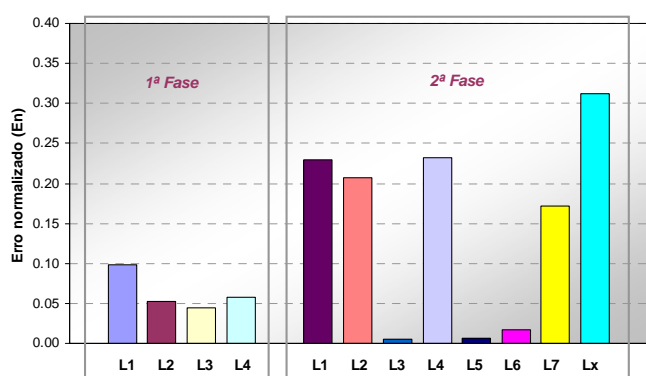


Gráfico 2 – Valores do Erro Normalizado (En)

De realçar o bom desempenho por parte de todos os laboratórios participantes que obtiveram resultados com erros normalizados inferiores a 0,3 conforme se pode analisar através do Gráfico 2.

Resistência DC

Pretendia-se que fosse efectuada a medição de uma resistência-padrão de valor nominal de 6,453 kΩ, modelo S 5-60, de acordo com o método correspondente às melhores capacidades de medição dos laboratórios participantes. Como padrão circulante, para cada uma das fases, foi seleccionada uma resistência do mesmo tipo e comportamento semelhante.

A resistência-padrão deveria ser medida à temperatura nominal de 23°C em banho de ar ou de óleo termorregulados. Para valores de temperatura

diferentes do valor nominal, o laboratório de referência efectuará as devidas correcções.

O valor nominal da corrente a utilizar não deveria exceder o máximo de 3 mA.

Os valores de referência do padrão circulante foram obtidos com base em medições efectuadas no início e no fim da comparação interlaboratorial e confirmados através de estudos de deriva. Os resultados destas medições foram utilizados na determinação do comportamento temporal do referido padrão, considerando uma deriva linear do mesmo.

Foi determinado, para a data média das medições efectuadas por cada laboratório, um valor de referência, designado por R_{ref} .

Neste domínio, foram efectuados dois exercícios, em duas fases distintas, de acordo com o seguinte calendário:

- 1ª Fase: Dezembro 2005 a Fevereiro 2006 (4 participantes);
- 2ª Fase: Fevereiro a Maio 2006 (6 participantes).

Os resultados da comparação^[5,6] foram avaliados pela diferença entre os valores especificados por cada laboratório e pelo valor de referência determinado para a respectiva data média: $[R_{lab} - R_{ref}]$.

Na Tabela 2, são indicados os valores medidos pelos laboratórios, as melhores incertezas expandidas apresentadas, os desvios relativamente ao valor de referência, assim como os respectivos valores do erro normalizado.

	Laboratório	Valor Medido [Ω]	Melhor Incerteza [μΩ/Ω]	Desvio do Valor de Referência [μΩ/Ω]	En
1ª Fase	INETI	6453,269	1,1E+00		
	L1	6453,272	1,3E+01	0,5	0,04
	L2	6453,28	2,2E+01	1,8	0,08
	L3	6453,269	5,1E+00	0,0	0,00
	L4	6453,26	1,2E+01	-1,5	0,13
2ª Fase	INETI	6453,269	1,1E+00		
	INETI	6453,159	1,1E+00		
	L1	6453,185	1,2E+01	3,9	0,32
	L2	6453,17	1,2E+01	1,4	0,11
	L3	6453,177	1,0E+01	2,7	0,27
	L4	6453,160	7,0E+00	0,0	0,00
	L5	6453,16	2,0E+01	0,1	0,01
	L6	6453,00	1,3E+02	-24,9	0,18
	INETI	6453,161	1,1E+00		

Tabela 2 – Valores obtidos em Resistência DC.

Os valores de desvio de cada laboratório relativamente ao valor de referência e as melhores incertezas expandidas de cada laboratório encontram-se representados no gráfico 3.

No Gráfico 4 representam-se os valores do erro normalizado, E_n , referentes a cada um dos laboratórios participantes.

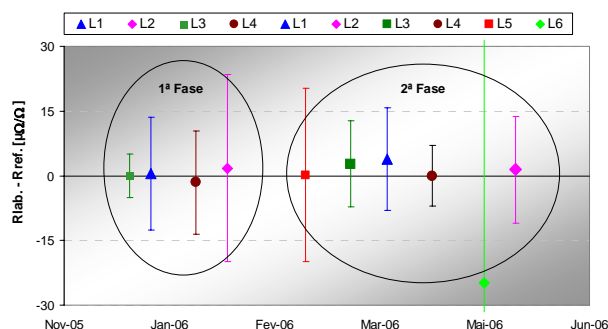


Gráfico 3 – Desvios relativamente ao valor de referência e melhores incertezas apresentadas.

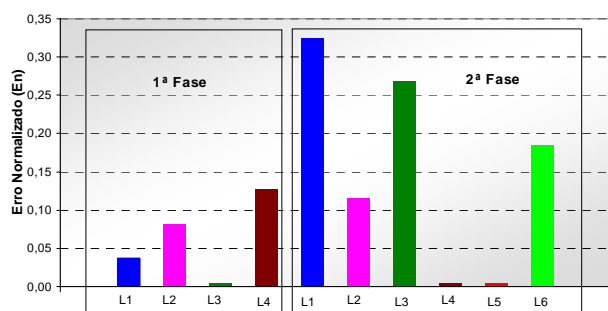


Gráfico 4 – Valores do Erro Normalizado E_n .

Como se observa todos os valores de E_n são muito inferiores à unidade, o que permite concluir da boa qualidade dos resultados obtidos pelos laboratórios participantes.

Capacidade

Pretendia-se que, neste exercício interlaboratorial, fosse efectuada a medição de um condensador-padrão de valor nominal de 10 pF, da marca General Radio, modelo 1404C, n.º de série 4098, à frequência de 1 kHz, de acordo com o método correspondente às melhores capacidades de medição de cada participante. O condensador-padrão deveria ser medido à temperatura ambiente de 23°C.

Os valores de referência do padrão circulante foram obtidos com base em medições efectuadas no início, no meio e no fim da comparação interlaboratorial e confirmados através de continuados estudos de deriva efectuados sobre o mesmo padrão.

As medições foram realizadas a três terminais, a uma frequência de 1 kHz e a uma tensão de 15 V.

Os resultados de todas essas medições foram usados na determinação do comportamento do referido padrão ao longo do tempo, considerando uma aproximação linear. Para a data média de medição por cada laboratório participante, foi determinado um valor de referência, designado por C_{ref} .

A circulação do padrão decorreu de Abril a Junho de 2006.

Os resultados da comparação interlaboratorial^[7] foram avaliados pela diferença entre os valores especificados por cada laboratório e pelo valor de referência determinado para a respectiva data média e apresentados sob a forma de valor relativo: $\Delta C/C = (C_{lab} - C_{ref})/C$.

A avaliação da qualidade dos resultados obtidos pelos laboratórios participantes é efectuada através do cálculo do erro normalizado E_n , tendo em conta o respectivo valor da incerteza calculada.

Na Tabela 3, são indicados os dados essenciais referentes a esta comparação, para cada laboratório participante.

Lab.	Valor medido Clab [pF]	Melhor Incerteza [μF/F]	Desvio do valor de referência [μF/F]	E_n
INETI	9,99926	7		
L5	9,997	1500	-227	0,15
L2	9,99928	20	0	0,00
INETI	9,99932	7		
L3	9,99934	68	3	0,04
L1	9,9990	250	-34	0,14
L4	9,999307	8,7	-6	0,45
INETI	9,99942	7		

Tabela 3 – Valores obtidos em Capacidade.

Os resultados das medições efectuadas pelos laboratórios participantes e os valores de incerteza expandida são representados no Gráfico 4.

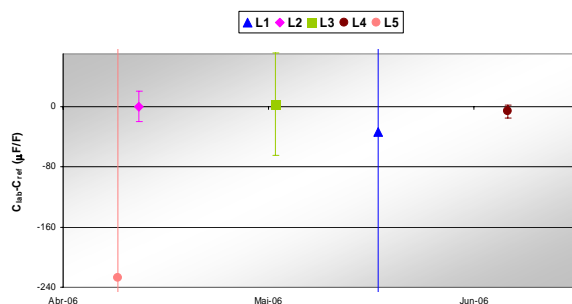


Gráfico 4 – Desvios relativamente ao valor de referência e melhores incertezas apresentadas.

Os valores obtidos para o erro normalizado E_n referente a cada um dos participantes, considerando os respectivos valores da incerteza calculada, encontram-se representados no Gráfico 5.

Há a registar uma boa qualidade dos resultados para um baixo valor de Capacidade (10 pF), atestado por valores de E_n todos inferiores à unidade.

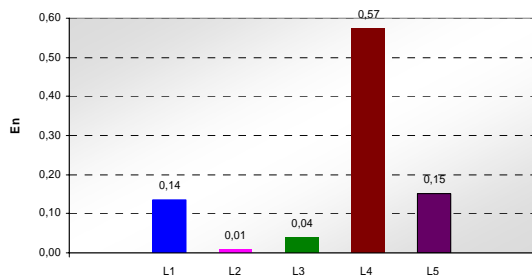


Gráfico 5 – Valores do Erro Normalizado E_n .

CONCLUSÕES

Os padrões de referência apresentaram a robustez e a estabilidade de comportamento adequadas, não tendo sido registados quaisquer incidentes significativos.

Os resultados das comparações são globalmente bons, havendo a assinalar vários resultados com valores de E_n muito reduzidos, em que há a possibilidade de serem revistos os valores das incertezas acreditadas, se os respectivos laboratórios assim o entenderem.

Esta prática deverá ser prosseguida regularmente abrangendo estas e eventualmente, outras grandezas, como forma de manutenção da cadeia hierarquizada de padrões em território nacional.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todos os laboratórios participantes^[*], a sua boa cooperação e total observância dos requisitos inicialmente definidos.

* Lista de Participantes:

- ANACOM - Instituto das Comunicações de Portugal
- CATIM - Centro de Apoio Tecnológico à Indústria Metalomecânica
- IEP - Instituto Electrotécnico Português
- ISQ - Instituto de Soldadura e Qualidade
- LABELEC - Estudos, Desenvolvimento e Actividades Laboratoriais, S.A.
- LIQ - Laboratório Industrial da Qualidade, A.T.P.
- LISNAVE, Estaleiros Navais, S.A.
- OGMA - Indústria Aeronáutica de Portugal, S.A.
- PT - Portugal Telecom, S.A.
- QUALCER – Tecnologia de Certificação, Lda.
- TAP Air Portugal, S.A.

REFERÊNCIAS

1. Mello-Freitas, R.; Nunes, M.; Godinho, I.; Ribeiro, L.; Sequeira, N.; Lobo, M.; *"Comparações Interlaboratoriais Nacionais - Electricidade"*, 1º Congresso Nacional da Qualidade, Cidade Universitária, Lisboa, Junho 2000.

2. GUM – *"Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement"*, 1st edition 1993, International Organization for Standardization, Geneva - Switzerland.
3. Relatório Final - *"Comparação Interlaboratorial Tensão DC – 1ª Fase"*, RELACRE, Ref. CL-PT/1-05, Março 2006.
4. Relatório Final - *"Comparação Interlaboratorial Tensão DC – 2ª Fase"*, RELACRE, Ref. CL-PT/1-06, Julho 2006
5. Relatório Final - *"Comparação Interlaboratorial Resistência DC – 1ª Fase"*, RELACRE, Ref. CL-PT/1-06, Março 2006.
6. Relatório Final - *"Comparação Interlaboratorial Resistência DC – 2ª Fase"*, RELACRE, Ref. CL-PT/2-06, Julho 2006.
7. Relatório Final *"Comparação Interlaboratorial Capacidade"*, RELACRE, Ref. CL-CP/1-06, Julho 2006.

AVISO LEGAL - Alguns equipamentos, instrumentos ou materiais são identificados neste documento por forma a especificar os procedimentos experimentais adoptados. Tal identificação não implica que sejam os mais adequados ao propósito descrito, nem constitui qualquer recomendação ou aprovação por parte dos autores.