

## Comparação Interlaboratorial em Alta Tensão em Corrente Alternada e Corrente Contínua

**Patrícia C. de Oliveira Vitorio; Leonardo A. Abreu de Souza; Paulo Roberto da Fonseca Santos e Adécio Rena Lemos.**

Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - Inmetro

E-mail: pcoliveira@inmetro.gov.br

**Resumo:** Esta intercomparação foi organizada pelo Inmetro, e teve por objetivo: determinar o desempenho dos participantes na medição em Alta Tensão, contribuir para o aumento da confiabilidade nos resultados das medições em Alta Tensão.

**Abstract:** This intercomparison was organized by Inmetro and had as objective know the performance of participants in High Voltage measurement to contribute confidence increase in results of high voltage measurements.

**Keywords:** intercomparação, alta tensão, ensaio de proficiência, medição e calibração

### 1. INTRODUÇÃO

Para se avaliar o desempenho de um laboratório na execução de calibrações e ensaios, nos mesmos itens ou itens similares, por dois ou mais laboratórios, conforme condições pré-determinadas, é realizado o Ensaio de Proficiência (EP) através de comparações interlaboratoriais.

Os ensaios de proficiência são de suma importância para o País pois promovem o aumento da credibilidade dos resultados das medições e, conseqüentemente, contribuem para facilitar o comércio internacional e prevenir barreiras técnicas. Em alta tensão, contribuem para aumentar a confiabilidade nas medições, impactando diretamente no sistema elétrico nacional e, por conseqüência, no setor industrial, contribuindo na qualidade, gestão, controle e tarifação da energia consumida no País.

### 2. ENSAIO DE PROFICIÊNCIA

O item calibrado foi um Sistema de Medição do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica da Eletrobrás – CEPEL, SMR1, composto por um divisor de 15 kV em alta tensão em corrente

alternada (ATCA) e em corrente contínua (ATCC) e um medidor de tensão, fabricante Fluke, modelo 45.

#### 2.1. Estabilidade do Item de Ensaio de Proficiência

Para se verificar a estabilidade do item de EP foram realizadas pelo Inmetro duas calibrações, uma antes e a outra após a circulação do item por todos os participantes. Os resultados estão na tabela 1.

**Tabela 1 - Resultados da calibração do item de ensaio no Inmetro.**

Dia Calibração	Corrente Alternada		Corrente Contínua		Corrente Contínua	
	28/9/2013	3/4/2014	Polaridade Positiva		Polaridade Negativa	
	28/9/2013	3/4/2014	28/9/2013	3/4/2014	28/9/2013	3/4/2014
V <sub>2b</sub> (V)	3,369	3,370	3,386	3,386	-3,385	-3,386
Incerteza	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001

A norma IEC 60060-2: 2010 determina o critério de estabilidade do item, que foi estimado como uma contribuição de incerteza. A estabilidade fornece uma contribuição de incerteza-padrão, considerada como do tipo B. Os valores da tabela 1 evidenciam que o item de EP se manteve estável, apesar do intervalo entre

as calibrações. A variação de 0,001 V no valor de  $V_{2b}$  encontra-se dentro dos critérios de estabilidade, conforme exigidos pela norma. Esta variação não influenciou a avaliação do desempenho dos participantes.

### 3. METODOLOGIA DE MEDIÇÃO

Em corrente contínua foram realizadas 10 medições com a polaridade positiva e negativa. Em corrente alternada, foram realizadas 30 medições para cada um dos parâmetros  $V_1$ (kV) e  $V_2$ (V).

O valor da tensão  $V_{2b}$  é o que foi calculado, sendo obtido a partir da equação 1. Tal procedimento é adotado tanto para corrente contínua quanto para corrente alternada.

$$V_{2b} = \frac{PNT \text{ kV} \times V_2 \text{ V}}{V_1 \text{ kV}} \quad (\text{V}) \quad (1)$$

Onde:

- PNT é o ponto nominal de tensão nos ensaios de ATCC e ATCA;
- $V_1$  é o valor médio dos valores  $V_1$  reportados pelos participantes;
- $V_2$  é o valor médio dos valores  $V_2$  reportados pelos participantes.

### 4. VALORES DESIGNADOS

Os valores estabelecidos para este EP foram determinados pelo Inmetro através do Laboratório de Metrologia em Alta Tensão (Lamat), por meio da calibração do item em ATCA (na frequência de 60 Hz), ATCC (polaridade positiva e negativa), realizada antes do início do EP. A incerteza expandida da medição (U) foi determinada de acordo com a Terceira Edição Brasileira do “Guia para Expressão da Incerteza de Medição” (ISO GUM).

Os valores estabelecidos são apresentados na tabela 1. As condições da calibração foram: temperatura ambiente:  $(23,2 \pm 0,3) \text{ }^\circ\text{C}$ , umidade:  $(46,4 \pm 1,1) \%$ .

### 5. RESULTADOS

Os resultados finais dos ensaio em CC e CA são os valores da tensão ajustada  $V_{2b}$  (V), da incerteza expandida U, do fator de abrangência k, apresentados nas tabelas 2 e 3 respectivamente.

**Tabela 2 - Valores de  $V_{2b}$  dos laboratórios participantes do ensaio em CC.**

Laboratório	CC03	CC44	CC45	CC56	CC64	CC81	CC85	CC89	CC91	CC95	
Resultados ATCC Polaridade Positiva	V2b (V)	0,003392	NM	10,000	3,385	3,385	3,382	3,375	3,376	10,004	9,996
	Incerteza	0,001400	NM	66	58	0,0009	120	0,014	0,003	46	346
	k	2,00	NM	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Resultados ATCC Polaridade Negativa	V2b (V)	0,003391	NM	-10	-3,3840	3,3860	-3,3800	3,3740	3,3750	-9,9980	-9,9970
	Incerteza	0,001300	NM	6,6	58	0,0007	120	0,012	0,003	46	346
	k	2,00	NM	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00

NM – Não mediu

**Tabela 3 - Valores de  $V_{2b}$  dos laboratórios participantes do ensaio em CA.**

Laboratório	CA31	CA35	CA36	CA41	CA 50	CA55	CA58	CA70	CA76	CA79	CA87	CA88	CA99	
Resultados ATCA	V <sub>2b</sub> (V)	9,91	9,982	0,003361	3,150	3,363	3,362	9,925	0,003349	3,367	3,366	9,78	3,375	3,369
	Incerteza	347	290	0,0036	232	0,0230	0,0210	46	0,012	0,0085	0,0044	370	58	0,12
	k	2,00	2,00	2,00	2,00	2,09	2,13	2,00	2,00	2,03	2,00	2,00	2,00	2,00

### 6. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DOS PARTICIPANTES

Para avaliação de desempenho dos participantes foi utilizado o cálculo do erro normalizado (**En**), descrito no Anexo B da ABNT NBR ISO/IEC 17043:2011, calculado conforme a equação 2.

Esta ferramenta estatística serve para verificar se o resultado da medição de cada participante está em conformidade com o valor de referência, levando em consideração não apenas os resultados das medições, mas também suas respectivas incertezas.

$$E_{ni} = \frac{Y_i - Y_{ref}}{U_1^2 + U_{ref}^2} \quad (2)$$

Onde:

$Y_{ref}$  = valor de referência para  $V_{2b}$  obtido pelo Inmetro;

$Y_i$  = média das leituras dos valores de  $V_{2b}$  obtidos pelo participante “i”;

$U_{ref}$  = valor da incerteza expandida de  $y_{ref}$  obtida pelo Inmetro;

$U_i$  = valor da incerteza expandida de  $y_i$  obtida pelo laboratório participante "i".

A interpretação do erro normalizado ( $E_n$ ) está descrita abaixo:

$|E_{ni}| \leq 1$ : Desempenho satisfatório e não gera sinal;

$|E_{ni}| > 1$ : Desempenho satisfatório e gera um sinal de ação.

As tabelas 4 e 5 apresentam os valores do erro normalizado dos participantes. Os valores de **En** estão apresentados com dois algarismos significativos.

**Tabela 4** - Avaliação dos laboratórios pela média dos valores medidos no ensaio ATCC.

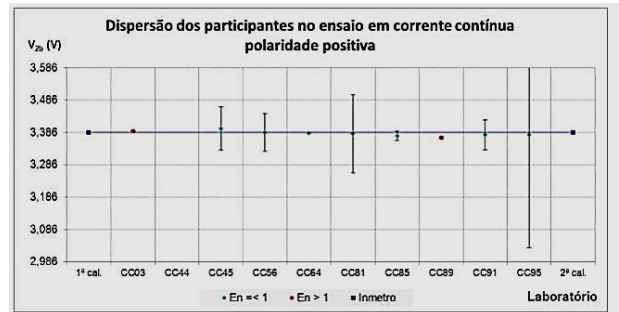
Laboratório		CC03	CC44	CC45	CC56	CC64	CC81	CC85	CC89	CC91	CC95
Polaridade Positiva	$V_1$ (V)	10,015	NM	10,0062	9,9664	5,9872	9,9614	10,1515	10,0983	10,012	10,0286
	$V_2$ (V)	3,3969	NM	3,4002	3,374	2,02652	3,3690	3,4264	3,4041	3,3834	3,3889
	$V_{25}$ (V)	3,3918	NM	3,3981	3,3854	3,3847	3,3821	3,3710	3,3710	3,3793	3,3792
	$U_{95}$ (V)	0,0014	NA	0,066	0,058	0,00087	0,12	0,014	0,003	0,046	0,35
	$E_n$	<b>3,4</b>	-	0,18	-0,011	-0,95	-0,033	-0,77	<b>-4,8</b>	-0,14	-0,02
Laboratório		CC03	CC44	CC45	CC56	CC64	CC81	CC85	CC89	CC91	CC95
Polaridade Negativa	$V_1$ (V)	-10,0170	10,1161	-10,0045	-9,9980	10,0683	-9,9600	10,0683	10,0685	-10,0316	-10,0674
	$V_2$ (V)	-3,3969	3,4134	-3,4007	-3,3840	3,3966	-3,3680	3,3966	3,3983	-3,3814	-3,4025
	$V_{25}$ (V)	-3,3911	-3,37	-3,3992	-3,3847	-3,3752	-3,3815	-3,3735	-3,3752	-3,3707	-3,3797
	$U_{95}$ (V)	0,0013	0,13	0,0066	0,0580	0,0030	0,12	0,012	0,0030	0,046	0,35
	$E_n$	<b>-3,7</b>	0,083	<b>-2,1</b>	0,0056	<b>3,1</b>	0,029	0,95	<b>3,1</b>	0,31	0,015

**Tabela 5** - Avaliação dos laboratórios pela média dos valores medidos no ensaio ATCA.

Laboratório	CA31	CA35	CA36	CA41	CA50	CA55	CA58	CA70	CA76	CA79	CA87	CA88	CA99
$V_1$ (V)	10,425	10,024	10,020	10,6620	10,218	10,210	10,008	10,016	10,764	10,014	10,262	9,981	9,992
$V_2$ (V)	3,4930	3,402	3,368	3,354	3,43600	3,4320	3,357	3,354	3,633	3,371	3,394	3,369	3,367
$V_{25}$ (V)	3,3504	3,3938	3,3612	3,1456	3,3630	3,3617	3,3539	3,3486	3,3755	3,3657	3,3074	3,3752	3,3699
$U_{95}$ (V)	0,35	0,29	0,0036	0,23	0,02300	0,021	0,046	0,0120	0,0085	0,0044	0,37	0,058	0,120
$E_n$	-0,053	0,085	<b>-2,1</b>	-0,97	-0,26	-0,35	-0,33	<b>-1,7</b>	0,76	-0,73	<b>-0,17</b>	0,11	0,0078

As figuras 1 a 3 apresentam a dispersão dos participantes em relação ao valor designado. Os dados referentes ao Inmetro correspondem ao valor de referência do item de ensaio.

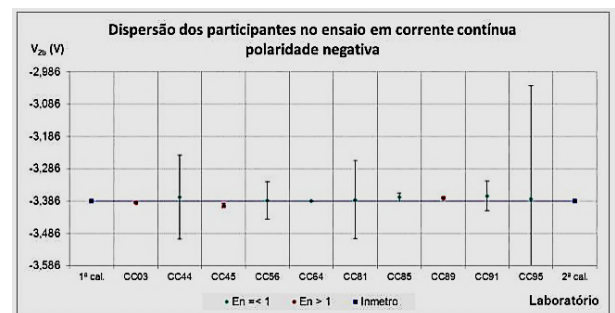
### 6.1. Avaliação em ATCC Polaridade Positiva



**Figura 1** - Dispersão dos participantes em relação ao Inmetro – Polaridade Positiva.

- CC81 e CC95 → incerteza superestimada → Laboratórios → rever incertezas de medição e/ou sua metodologia;
- CC03 → desvio próximo à média dos desvios dos participantes. Fontes de incertezas como resolução do padrão, resolução do mensurando e repetibilidade do padrão não foram contempladas → subestimado incerteza → **En** superior a 1.
- CC89 contemplou as principais fontes de incerteza → desempenho insatisfatório → reavaliação dos valores de tais contribuições.

### 6.2. Avaliação em ATCC Polaridade Negativa



**Figura 2** - Dispersão dos participantes em relação ao Inmetro – Polaridade Negativa.

- CC44, CC81 e CC95 → incerteza superestimada → Laboratórios rever incertezas de medição e/ou sua metodologia;
- CC03 → desvio próximo à média dos desvios dos participantes. Fontes de incertezas como resolução do padrão, resolução do mensurando e repetibilidade do padrão não foram

contempladas → subestimado incerteza →  $E_n$  superior a 1.

- CC45 e CC89 contemplaram as principais fontes de incerteza desempenho insatisfatório → reavaliação dos valores de tais contribuições.

- CC85 obteve um  $E_n = 0,95$ , → avaliar seus erros sistemáticos para melhorar sua exatidão e/ou seu cálculo de incerteza.

### 6.3. Avaliação em ATCA

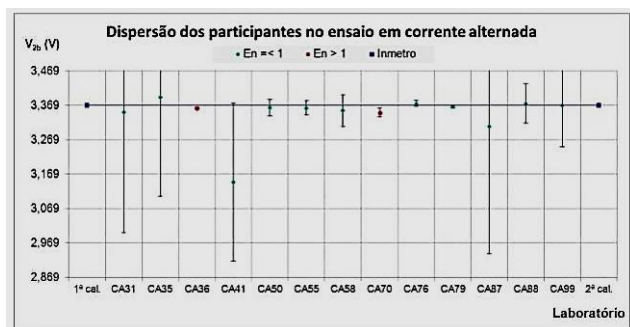


Figura 3 - Dispersão dos participantes em relação ao Inmetro – Corrente Alternada.

- CA31, CA35, CA41, CA58, CA87, CA88 e CA99 → desempenho satisfatório;

- CA31, CA35, CA41, CA87 e CA99 → incerteza superestimada → Laboratórios rever incertezas de medição e/ou sua metodologia;

- CA41 e CA87 → resultados com maior inexactidão em relação ao valor designado → resultados satisfatórios por causa da incerteza superestimada. → laboratórios devem analisar seus sistemas de medição para melhorar a exatidão das suas medições.

- incerteza CA36 não contempla fontes como repetibilidade e resolução do sistema padrão e resolução do mensurando, o que pode ter contribuído para um valor subestimando da incerteza reportada, resultando num valor de  $E_n$  superior a 1.

- CA70, apesar de ter contemplado em seu balanço as incertezas listadas acima, apresentou um desvio de  $-0,020$  V em relação ao valor designado e uma incerteza que é 12 vezes maior do que a incerteza do Inmetro.

## 7. CONCLUSÕES

Dos 13 participantes em ATCA, 85% (11 laboratórios) apresentaram desempenho satisfatório. Dos 9 participantes em ATCC polaridade positiva, 78% (7 laboratórios) apresentaram desempenho satisfatório. Dos 10 participantes em ATCC polaridade negativa, 70% (7 laboratórios) apresentaram desempenho satisfatório.

Segundo a norma ABNT NBR ISO/IEC 17025, a participação em programas de comparação interlaboratorial ou de ensaios de proficiência constitui-se em ferramenta de controle da qualidade. Os participantes que apresentaram desempenho insatisfatório ( $|E_n| > 1$ ) devem planejar ações corretivas de forma a evitar que resultados incorretos sejam relatados.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ABNT NBR ISO/IEC 17043:2011, Avaliação da conformidade – Requisitos gerais para ensaio de

proficiência.

[2] Vocabulário Internacional de Metrologia: conceitos fundamentais e gerais e termos associados

(VIM 2012). 1ª Edição Luso – Brasileira.

[3] ABNT NBR ISO/IEC 17025:2005: Requisitos gerais para a competência de laboratórios de

ensaio e calibração.

[4] IEC 60060-2:2010 “High-voltage test techniques - Part 2: Measuring systems”

[5] Avaliação de dados de medição - Guia para a expressão de incerteza de medição – GUM 2008

1ª Edição Brasileira da 1ª Edição do BIPM de 2008 “Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement” - Rio de Janeiro – 2012.