

Comparação interlaboratorial em calibração de acelerômetro **Interlaboratory comparison in accelerometer calibration**

André Luis Costa França¹, Bruno José Luz Oliveira¹, Dayanne Romagnoli Silva²,
Galeze Moraes dos Santos¹, Marcos Allegratti³

¹Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A – Eletrobrás Eletronorte - Belém – PA

²MTS Sistemas do Brasil Ltda. - São Paulo - SP

³Spectris do Brasil - Brüel&Kjær – São Paulo - SP

galeze.santos@eletronorte.gov.br

Resumo: Este artigo apresenta os resultados do programa de comparação interlaboratorial em calibração de acelerômetro. O programa envolveu três laboratórios acreditados de acordo com a norma NBR ISO/IEC 17025 e pertencentes a Rede Brasileira de Calibração – RBC. A coordenação ficou sob responsabilidade do laboratório da Eletrobras Eletronorte, enquanto que o laboratório de referência foi a Spectris do Brasil - Brüel&Kjær. A análise dos resultados demonstrou que a maioria das medições dos laboratórios foi compatível com o laboratório de referência.

Palavras-chave: Comparação Interlaboratorial; acelerômetro; Garantia da Qualidade.

Abstract: This paper presents the results of interlaboratory comparison program in accelerometer calibration. The program involved three laboratories, which are accredited according to NBR ISO/IEC 17025 standard and belong to Rede Brasileira de Calibração –RBC. The coordination was under Eletrobras Eletronorte Laboratory responsibility, while the reference laboratory was Spectris do Brasil - Brüel&Kjær. The results showed that most of the laboratories measurements were consistent with the reference laboratory.

Keywords: Interlaboratory comparison; accelerometer; Quality assurance.

1. INTRODUÇÃO

Os programas de comparação interlaboratorial constituem-se em uma das principais ferramentas na avaliação da conformidade e da qualidade dos resultados de calibrações realizadas pelos laboratórios acreditados ou rastreados à Rede Brasileira de Calibração (RBC). As comparações interlaboratoriais permitem avaliar os aspectos técnicos de cada laboratório que muitas vezes podem passar despercebidos durante as avaliações dos organismos nacionais de acreditação. Para laboratórios acreditados as comparações interlaboratoriais são um meio de cumprir o requisito 5.9 da norma NBR ISO/IEC 17025[1], que trata especificamente da garantia da qualidade dos resultados de calibração. Para laboratórios não acreditados ou em fase de

acreditação, as comparações interlaboratoriais fornecem subsídios para avaliação de sua competência técnica, e consequentemente podem auxiliar na tomada de decisões relacionadas ao processo de acreditação.

Outra vantagem advinda dos programas de comparação interlaboratorial que pode ser citada é o estabelecimento de sistemáticas de cooperação mútua entre os laboratórios participantes, no intuito de detectar causas de resultados insatisfatórios que possam vir a ocorrer nas comparações.

Na comparação interlaboratorial entre laboratórios de metrologia mecânica descrita neste trabalho, utilizou-se como padrão itinerante um acelerômetro piezoelétrico com sensibilidade de carga [$\mu\text{C}/(\text{m}\cdot\text{s}^{-2})$].

No restante deste trabalho são apresentadas as características do programa de comparação, descrevendo as metodologias, detalhes do padrão itinerante, os pontos calibrados, entre outras. Em seguida, são apresentados os resultados de todos os laboratórios.

2. O PROGRAMA DE CALIBRAÇÃO

A circulação do padrão itinerante foi realizada de novembro de 2014 a março de 2015 e a grandeza avaliada foi a sensibilidade do acelerômetro [$\text{pC}/(\text{m}\cdot\text{s}^{-2})$].

2.1 Laboratórios participantes e calendário

Os laboratórios participantes da comparação são acreditados a RBC e os períodos nos quais as calibrações foram realizadas por cada um deles estão ilustrados na tabela 1.

Tabela 1. Laboratórios participantes e períodos.

Empresa	Período
Eletronorte	19 a 27/11/2014
MTS Sistemas do Brasil	09 a 13/02/2015
Spectris do Brasil Brüel&Kjær	09 a 13/03/2015

2.2. Padrão itinerante

Foi utilizado como padrão itinerante da comparação um acelerômetro de fabricação Brüel&Kjær, tipo 4371[2], n.º. de série 1127523, pertencente ao laboratório coordenador.

Dentre as principais características do acelerômetro piezoelétrico destacam-se: Arranjo do elemento piezoelétrico Delta Shear[®], sensibilidade de carga a $100 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ em 159,2 Hz igual a $0,993 [\text{pC}/(\text{m}\cdot\text{s}^{-2})] \pm 2\%$, faixa de frequência de 0,1 Hz a 12,6 kHz, capacitância do cabo de extensão 108 pF e massa do acelerômetro de 11 gramas.

2.3. Pontos calibrados

Foram selecionados pontos nas frequências padronizadas de terça de oitava entre 10 Hz e 5 kHz, totalizando 28 pontos, sendo obrigatório realizar no mínimo 14 pontos, e a medição da sensibilidade em cada ponto na unidade [$\text{pC}/(\text{m}\cdot\text{s}^{-2})$], conforme ISO 16.063-21:2003 – Methods for the calibration of vibration and shock transducer – Part 21: Vibration calibration by comparison to a reference transducer[3].

2.4. Recomendações

De um modo geral os aspectos relacionados aos métodos de medição utilizados nas calibrações, às metodologias para cálculo de erros e incertezas das medições, às condições ambientais, foram definidos pelos laboratórios de acordo com seus próprios critérios, seguindo os procedimentos e instruções técnicas apropriados. A justificativa para tal reside no fato de que um dos objetivos dessa comparação interlaboratorial é justamente avaliar os procedimentos e instruções técnicas de cada laboratório quanto a qualidade e confiabilidade dos resultados das calibrações realizadas. Única exceção ficou por conta do número de medições para cada ponto calibrado, onde se recomendou um número mínimo de três.

3. RESULTADOS

A avaliação dos laboratórios foi realizada de acordo com os REQUISITOS PARA A PARTICIPAÇÃO DE LABORATÓRIOS EM ENSAIOS DE PROFICIÊNCIA NIT-DICLA-026[4]. A partir da sensibilidade e da incerteza da medição, declarados no certificado de calibração de cada laboratório participante foi determinada, para cada ponto calibrado, a compatibilidade dos resultados em relação aos valores de referência.

A metodologia empregada para determinação dessa compatibilidade baseia-se no cálculo do erro normalizado, E_n , de acordo com a equação 1, onde S_{lab} representa a medição de sensibilidade do laboratório, S_{ref} representa a medição de sensibilidade de referência, U_{lab} representa a incerteza de medição do laboratório e U_{ref} representa a incerteza de medição de referência.

$$E_n = \left| \frac{S_{Lab} - S_{Ref}}{\sqrt{(U_{Lab})^2 + (U_{Ref})^2}} \right| \quad (1)$$

As sensibilidades e incertezas de referência consideradas foram aquelas declaradas nos certificados de calibração da Spectris do Brasil - Brüel&Kjær. Na avaliação da compatibilidade dos resultados de cada laboratório, um valor de E_n menor ou igual a 1 é considerado indicador de compatibilidade, portanto, satisfatório. Por outro lado, valores de E_n maiores que a unidade indicam incompatibilidade. As tabelas de 2 a 7 e as figuras de 1 a 6 ilustram os resultados encontrados para cada laboratório inclusive o valor do erro normalizado.

Devido ao elevado número de pontos calibrados, 28, apenas os quatro pontos que apresentaram resultado incompatível e os pontos nas frequências de 100 Hz e 160 Hz serão apresentados nas tabelas de 2 a 7 e figuras de 1 a 6. Por questões de confidencialidade, os resultados apresentados não são associados aos nomes de seus respectivos laboratórios, e sim a um número que identifica o laboratório no programa de comparação.

Tabela 2. Resultados para o ponto 12,5 Hz.

Laboratório	Sensibilidade	Incerteza	E_n
Referência	0,998	0,012	0
01	0,962	0,026	1,27
02	-	-	-

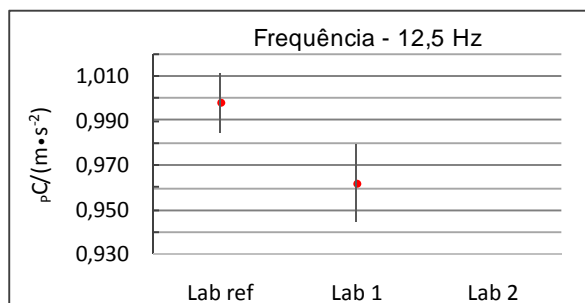


Figura 1. Resultados para o ponto 12,5 Hz.

Tabela 3. Resultados para o ponto 16 Hz.

Laboratório	Sensibilidade	Incerteza	E_n
Referência	0,998	0,012	0
01	0,967	0,026	1,09
02	-	-	-

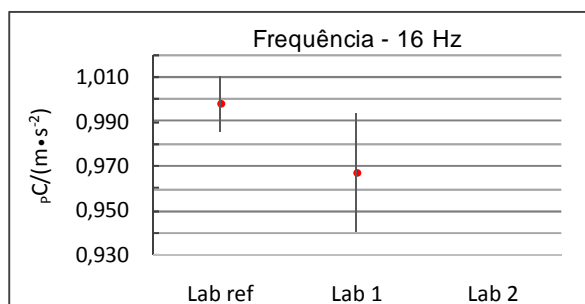


Figura 2. Resultados para o ponto 16 Hz.

Tabela 4. Resultados para o ponto 100 Hz.

Laboratório	Sensibilidade	Incerteza	E_n
Referência	0,985	0,008	0
01	0,991	0,017	0,31
02	-	-	-

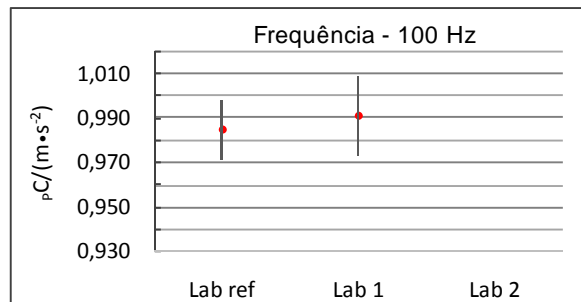


Figura 3. Resultados para o ponto 100 Hz.

Tabela 5. Resultados para o ponto 160 Hz.

Laboratório	Sensibilidade	Incerteza	E_n
Referência	0,983	0,008	0
01	0,986	0,014	0,19
02	0,978	0,007	0,52

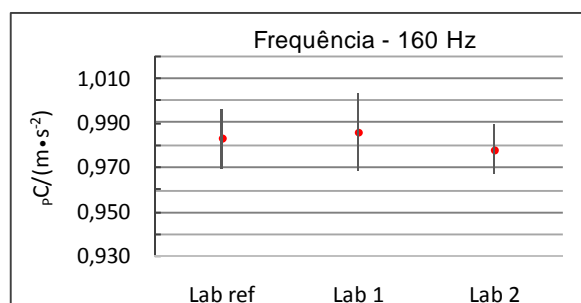


Figura 4. Resultados para o ponto 160 Hz.

Tabela 6. Resultados para o ponto 4 kHz.

Laboratório	Sensibilidade	Incerteza	E_n
Referência	0,974	0,013	0
01	0,975	0,017	0,05
02	0,956	0,011	1,09

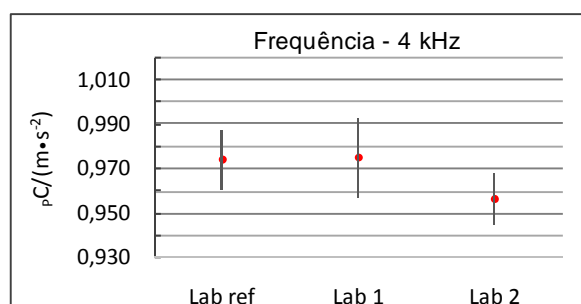


Figura 5. Resultados para o ponto 4 kHz.

Tabela 7. Resultados para o ponto 5 kHz.

Laboratório	Sensibilidade	Incerteza	E_n
Referência	0,980	0,013	0
01	0,981	0,017	0,05
02	0,959	0,012	1,20

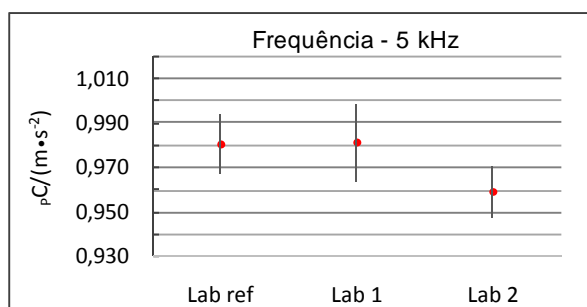


Figura 6. Resultados para o ponto 5 kHz.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A quantidade de pontos realizados por cada laboratório e o percentual de compatibilidade está apresentada na tabela 8.

Tabela 8. Pontos realizados e compatibilidade.

Pontos	Lab Ref	Lab1	Lab2
Realizados	28	28	14
Compatíveis	-	26	12
% Compatível	-	93	86

A quantidade de pontos compatíveis ficou próxima a 90%, sendo que os pontos incompatíveis se concentraram no início e final da faixa de frequência (10 Hz e 5 kHz).

A qualidade dos resultados encontrados nesta comparação pode ser considerada satisfatória em relação à quantidade e aos valores de erro normalizado incompatível, da ordem de 1,09 a 1,27. Uma nova calibração deverá ser realizada, permitindo assim determinar resultados mais conclusivos. No entanto algumas fontes de erro já foram investigadas e comprovadas, entre elas temos:

- a. A incompatibilidade nas frequências baixas ocorreu devido a baixa sensibilidade no amplificador de carga em relação à sensibilidade do acelerômetro, com um ganho maior no amplificador de carga foi possível atingir valores compatíveis.
- b. Não foi considerado o carregamento de massa no acelerômetro padrão para as medições em altas frequências.

Além dessas fontes, pode-se citar: condições ambientais durante a realização da calibração, metodologia de cálculo de incerteza, não correção dos erros sistemáticos dos padrões utilizados nas calibrações, inabilidade dos operadores, métodos de medição e a incidência de erros.

5. CONCLUSÕES

Apesar dos resultados encontrados não terem sido 100% satisfatórios, pode-se dizer que os mesmos foram satisfatórios no sentido de que permitiram uma avaliação de vários aspectos técnicos do processo de calibração dos laboratórios participantes. Como mencionado anteriormente no trabalho, uma nova comparação deverá ser realizada para que seja possível identificar mais claramente as possíveis fontes de erro responsáveis pelo surgimento de resultados incompatíveis.

Algumas dessas fontes de erro podem, inclusive, ter influência não só na calibração de acelerômetros, mas também em outros tipos de calibrações realizadas pelos laboratórios participantes.

Outro benefício resultante dessa comparação, que pode ser citado, foi estabelecimento de um canal de comunicação entre os laboratórios, propiciando um intercâmbio técnico entre os mesmos. Esse canal é bastante interessante, principalmente se for considerada a heterogeneidade dos laboratórios participantes e a distância geográfica entre os mesmos.

REFERÊNCIAS

- [1] NBR ISO/IEC 17025:2005 - Requisitos Gerais para Competência de Laboratórios de Ensaio e Calibração.
- [2] Brüel&Kjær - Piezoelectric Accelerometer Charge, Product Data Type 4371.
- [3] ISO 16.063-21:2003 – Methods for the calibrations of vibration and shock transducer – Part 21: Vibration calibration by comparison to a reference transducer.
- [4] REQUISITOS PARA A PARTICIPAÇÃO DE LABORATÓRIOS EM ENSAIOS DE PROFICIÊNCIA NIT-- DICLA-026.

AUTORES:

- Eng. André Luis Costa França: andre.franca@eletronorte.gov.br;
- Eng. Bruno José Luz de Oliveira: bruno.oliveira@eletronorte.gov.br;
- Eng. Dayanne Romagnoli Silva: dayanne.silva@mtsbrasil.com.br;
- Téc. Galeze Moraes dos Santos: galeze.santos@eletronorte.gov.br;
- Eng. Marcos Allegretti: marcos.allegretti@bksv.com.