

Relatório Final do Ensaio de Proficiência em Medição de Sismógrafos de Engenharia

1ª Rodada



PEP-Inmetro

PROGRAMA DE ENSAIOS DE PROFICIÊNCIA DO INMETRO

Os resultados deste relatório referem-se somente aos itens ensaiados e aos respectivos participantes. Este relatório somente pode ser reproduzido em sua forma integral. Reproduções parciais devem ser previamente autorizadas pelo Inmetro.



ENSAIO DE PROFICIÊNCIA EM MEDIÇÃO DE SISMÓGRAFOS DE ENGENHARIA – 1ª RODADA

Período de realização: 07/05/2024 a 19/03/2025

RELATÓRIO FINAL N°002

ORGANIZAÇÃO E COORDENAÇÃO DO ENSAIO DE PROFICIÊNCIA



Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – Inmetro

Diretoria de Metrologia Científica, Industrial e Tecnologia – Dimci

Laboratório de Programas de Ensaio de Proficiência

Endereço: Av. Nossa Senhora das Graças, 50 – Xerém – Duque de Caxias

RJ – Brasil – CEP: 25250-020

E-mail para contato: pep-inmetro@inmetro.gov.br – Telefone: (21) 2679-9071

COMITÊ DE ORGANIZAÇÃO E COORDENAÇÃO

Adelcio Rena Lemos (Inmetro/Dimci/Lapep)

Diego Soares Siqueira (Inmetro/Dimci/Lapep)

Gustavo Palmeira Ripper (Inmetro/Dimci/Diavi)

José Ricardo Bardellini da Silva (Inmetro/Dimci/Lapep)

Leidiane Rangel da Silveira Kefler (Inmetro/Dimci/Lapep)

Lucas Dias Barros (Inmetro/Dimci/Lapep)

Rodrigo Caciano de Sena (Inmetro/Dimci/Lapep) - Chefe do Lapep

Ronaldo da Silva Dias (Inmetro/Dimci/Diavi/Lavib)

Zemar Martins Defilippo Soares (Inmetro/Dimci/Diavi/Laeta)

COMITÊ TÉCNICO

Cauê Doval Ferreira (Inmetro/Dimci/Diavi/Lavib)

Ronaldo da Silva Dias (Inmetro/Dimci/Diavi/Lavib)

Thiago Antonio Bacelar Milhomem (Inmetro/Dimci/Diavi/Laeta)

Zemar Martins Defilippo Soares (Inmetro/Dimci/Diavi/Laeta)

Aprovado por: Rodrigo Caciano de Sena

SUMÁRIO

1. Introdução	3
2. Materiais e Métodos.....	3
2.1. Itens de Ensaio	3
2.1.1. Preparo do item de ensaio	4
2.2. Avaliação da Homogeneidade e da Estabilidade dos Itens de Ensaio	5
2.3. Atribuição dos valores designados do EP	5
2.4. Avaliação de Desempenho dos Participantes.....	6
3. Resultados e Discussões.....	7
3.1. Estabilidade dos Itens de Ensaio	7
3.1.1 Pressão Sonora	7
3.1.2 Vibração	8
3.2. Atribuição do Valor Designado.....	10
3.2.1. Pressão Sonora	11
3.2.2. Vibração	12
3.3. Resultados dos Participantes	14
3.3.1. Pressão Sonora	15
3.3.2. Vibração	19
3.4. Avaliação de Desempenho – Erro Normalizado	27
3.4.1. Pressão Sonora	27
3.4.1. Vibração	30
4. Confidencialidade	35
5. Conclusões	35
6. Participantes	36
7. Referências Bibliográficas	36

1. Introdução

Os sismógrafos de engenharia são instrumentos utilizados para medir e registrar as vibrações do solo, geradas por diversas atividades humanas como detonações, escavações, tráfego e até mesmo eventos naturais como terremotos. Essas informações são cruciais para garantir a segurança de estruturas, avaliar o impacto ambiental de atividades e cumprir as exigências legais.

Na indústria mineradora, os sismógrafos são utilizados para monitorar as vibrações geradas por detonações e outras atividades, garantindo que não haja danos a estruturas próximas e que os limites de vibração estabelecidos por lei sejam respeitados. Na construção civil, são empregados para avaliar a estabilidade de estruturas durante e após a construção, monitorar o impacto de obras em edificações vizinhas e garantir a segurança dos trabalhadores.

O ensaio de proficiência na calibração de sismógrafos de engenharia teve por motivação estabelecer uma visão sobre a capacidade de calibração e condições de realização deste serviço, por parte dos laboratórios acreditados e instituições da sociedade metrológica que se propõem a fornecer rastreabilidade para esse tipo de equipamento, oferecendo aos participantes respaldo nas suas atividades de calibração.

O Laboratório de Vibrações (Lavib) e o Laboratório de Ensaio Acústicos (Laeta) da Divisão de Metrologia Acústica e Vibrações (Diavi) do Inmetro foram utilizados como referência para a definição dos valores designados deste EP. Esses laboratórios são os responsáveis, em âmbito nacional, pela manutenção e disseminação da rastreabilidade nas grandezas que caracterizam o escopo deste EP.

Este EP teve como objetivo:

- Avaliar o desempenho dos laboratórios na calibração de sismógrafos de engenharia;
- Avaliar o desempenho de laboratórios para o EP proposto;
- Identificar eventuais problemas de medição nas referidas grandezas;
- Contribuir para o aumento da confiança nos resultados das medições dos laboratórios.

2. Materiais e Métodos

2.1. Itens de Ensaio

Os itens de ensaio deste EP foram cedidos pelas empresas VMA – Engenharia de Explosivos e Vibrações e Sequência Engenharia. A descrição dos itens de ensaio utilizados encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Especificação dos Itens do EP – Sismógrafo de Engenharia

Descrição	Fabricante	Modelo
Item de Ensaio 1	Micromate System (ISEE)	Sismógrafo: nº de série: UM6196 / Geofone: nº de série: UM6196 Microfone: nº de série: UL1332
Item de Ensaio 2	Micromate System (ISEE)	Sismógrafo: nº de série: UM16270 / Geofone: nº de série: UM16270 Microfone: nº de série: UL4215

Fonte: Protocolo de EP Dimci/Lapep nº 002/2024 – Revisão nº 02

2.1.1. Preparo do item de ensaio

Os itens de ensaio foram calibrados no início, no decorrer e ao final da circulação pelo Laboratório de Vibrações (Lavib) e pelo Laboratório de Eletroacústica (Laeta) da Divisão de Acústica e Vibrações (Diavi) do Inmetro.

O parâmetro avaliado foi o erro do valor indicado no sismógrafo (em dB ref. 20 µPa com ponderação em frequência linear, dBL) em função da frequência (frequência central das bandas de oitava, na base 10) para a faixa de frequências de 2 a 250 Hz, medida pelo método da comparação com um padrão de referência. Para as calibrações, o microfone do sismógrafo foi totalmente imerso no campo sonoro, ou seja, com o seu mecanismo de equalização de pressão estática exposto ao campo sonoro. Os níveis de Pressão Sonora de pico (dBL) no microfone estavam entre 120 dBL e 130 dBL.

A comparação das medidas de velocidade de partícula foi realizada somente no eixo vertical do geofone. O parâmetro avaliado foi o erro relativo (%) do valor indicado na tela do sismógrafo em função da frequência para os valores de frequência indicados na tabela 2, obtido pelo método da comparação em relação a um padrão de referência. O cálculo deste erro relativo foi calculado pela equação 1 abaixo:

$$Erro\ Relativo\ (\%) = 100 \left(\frac{Leitura - Referência}{Referência} \right) \quad (1)$$

Na qual:

Leitura = valor indicado no instrumento sob calibração;

Referência = valor indicado pelo padrão de trabalho (ou de referência) do laboratório;

Tabela 2 – Grandezas e Pontos de Medição

Grandeza	Pontos de Medição
Acústica	2 Hz, 4 Hz, 8 Hz, 16Hz, 31,5 Hz, 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz
Vibração	2 Hz, 4 Hz, 8 Hz, 16Hz, 31,5 Hz, 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz

Fonte: Protocolo de EP Dimci/Lapep nº 002/2024 – Revisão nº 02

2.2. Avaliação da Homogeneidade e da Estabilidade dos Itens de Ensaio

Cada participante deste EP recebeu 2 sismógrafos para realizar as calibrações e os itens de ensaios foram tratados de maneira independente, não sendo necessário avaliar a homogeneidade dos parâmetros entre os itens.

A estabilidade dos parâmetros avaliados neste EP foi realizada por meio do erro normalizado (equação 2), comparando os resultados das calibrações realizadas no início do EP (L_{ant}) e das calibrações realizadas após cada grupo de participantes (L_{post}), conforme definido no cronograma de circulação dos itens de ensaio.

$$|E_n| = \frac{|L_{post} - L_{ant}|}{\sqrt{U_{post}^2 + U_{ant}^2}} \quad (2)$$

Nos casos em que os parâmetros que apresentaram valores de $|E_n|$ superior a 1,0; realizou-se uma análise para avaliar se a instabilidade observada estava dentro dos limites aceitáveis.

2.3. Atribuição dos valores designados do EP

O valor designado para cada ponto de calibração foi determinado a partir dos resultados das calibrações realizadas pelos laboratórios do Inmetro, por meio da Equação 3 e a incerteza expandida foi calculada de acordo com a Equação 4.

$$x_{pt} = \frac{e_{ant} + e_{post}}{2} \quad (3)$$

Na qual:

x_{pt} = valor designado para cada ponto de medição;

e_{ant} = erro obtido na calibração inicial realizada pelo Laeta/ Inmetro ou Lavib/Inmetro;

e_{post} = erro obtido na calibração realizada pelo Laeta/ Inmetro ou Lavib/Inmetro, após cada grupo de participante;

$$U(x_{pt}) = k \cdot \sqrt{\frac{u_{post}^2 + u_{ant}^2}{2}} \quad (4)$$

Na qual:

$U(x_{pt})$ = valor de incerteza expandida do valor designado;

u_{ant} = valor de incerteza-padrão combinada da calibração inicial realizada Laeta/ Inmetro ou Lavib/Inmetro;

u_{post} = valor de incerteza-padrão combinada da calibração realizada pelo Laeta/ Inmetro ou Lavib/Inmetro, após cada grupo de participante;

u_{est} = valor da incerteza-padrão da estabilidade do item;

k = fator de abrangência.

A rastreabilidade ao Sistema Internacional de Unidades (SI) foi assegurada pelos respectivos certificados de calibração emitidos pelos laboratórios do Inmetro para os itens de ensaio especificados neste relatório.

2.4. Avaliação de Desempenho dos Participantes

Para a avaliação de desempenho dos participantes foi utilizado o erro normalizado (E_n). Este parâmetro serve para verificar se o resultado da medição de cada participante está em conformidade com o valor designado, levando em consideração os resultados das medições e suas respectivas incertezas. O erro normalizado foi calculado conforme a Equação 5.

$$E_{n_i} = \frac{x_i - x_{pt}}{\sqrt{U_i^2 + U^2(x_{pt})}} \quad (5)$$

Na qual:

x_i = resultado de medição obtida pelo i-ésimo participante;

x_{pt} = valor designado para cada ponto de calibração;

$U(x_{pt})$ = valor da incerteza expandida do valor designado em cada ponto de calibração;

U_i = valor da incerteza expandida de x_i obtida pelo i-ésimo participante.

A interpretação do valor do (E_n) para avaliação do desempenho de cada participante está descrita abaixo:

$|E_n| \leq 1,0$ indica desempenho “satisfatório” e não gera sinal;

$|E_n| > 1,0$ indica desempenho “insatisfatório” e gera um sinal de ação.

O valor de $|E_n|$ para cada participante foi arredondado para uma casa decimal, seguindo as regras de arredondamento.

3. Resultados e Discussões

3.1. Estabilidade dos Itens de Ensaio

A estabilidade dos itens de ensaios foi avaliada por meio da comparação dos resultados das calibrações realizadas pelos laboratórios do Inmetro, conforme descrito na seção 2.2 deste relatório.

3.1.1 Pressão Sonora

Os resultados da avaliação da estabilidade do sismógrafo UM 16270 durante a circulação entre os participantes são apresentados nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3: Avaliação da estabilidade do item de ensaio: Sismógrafo UM 16270 e Microfone UL 4215 (calibrações realizadas em 08/04/2024 e 09/10/2024).

Pressão Sonora			
Frequência (Hz)	$ L_{post} - L_{ant} $	$\sqrt{U_{post}^2 + U_{ant}^2}$	$ E_n $
2	0,07	0,57	0,12
4	0,19	0,57	0,34
8	0,12	0,42	0,28
16	0,11	0,42	0,26
31,5	0,13	0,42	0,31
63	0,05	0,42	0,12
125	0,05	0,42	0,12
250	0,07	0,42	0,16

Fonte: Certificados de calibração Dimci 1081/2024 e Dimci 1220/2024

Tabela 4: Avaliação da estabilidade do item de ensaio: Sismógrafo UM 16270 e Microfone UL 4215 (calibrações realizadas em 09/10/2024 e 14/01/2025).

Pressão Sonora			
Frequência (Hz)	$ L_{post} - L_{ant} $	$\sqrt{U_{post}^2 + U_{ant}^2}$	$ E_n $
2	1,04	0,57	1,84
4	0,40	0,57	0,71
8	0,09	0,42	0,21
16	0,11	0,42	0,26
31,5	0,12	0,42	0,28
63	0,09	0,42	0,21
125	0,02	0,42	0,05
250	0,09	0,42	0,21

Fonte: Certificados de calibração Dimci 1220/2024 e Dimci 0044/2025

Na fase final do EP, foi identificada uma deriva significativa no erro de indicação do nível de pressão sonora no sismógrafo UM 16270, exclusivamente para a frequência de 2 Hz. O comitê técnico analisou os resultados e decidiu considerar apenas os dados da calibração realizada em 14/01/2025 para atribuir o valor designado à avaliação de desempenho dos participantes que efetuaram calibrações entre 09/10/2024 e 14/01/2025.

No caso do sismógrafo UM 6196, as calibrações foram realizadas na primeira fase do EP. No entanto, na fase final, não foi possível efetuar a calibração devido à detecção de ruído intrusivo da rede elétrica (60 Hz e seus harmônicos) durante as medições do nível de pressão sonora. O comitê técnico concluiu que os resultados desse equipamento não garantem a estabilidade do item de ensaio ao longo da circulação entre os participantes. Assim, os resultados obtidos pelos participantes para esse equipamento não foram considerados neste EP.

3.1.2 Vibração

Os resultados da avaliação da estabilidade dos sismógrafos UM 16270 (Geofone UM 16270) e UM 6196 (Geofone 6196) durante a circulação entre os participantes são apresentados nas tabelas 5 a 8.

Tabela 5: Avaliação da estabilidade do item de ensaio: Sismógrafo UM 16270 e Geofone UM 16270 (calibrações realizadas em 05/04/2024 e 17/10/2024).

Vibração			
Frequência (Hz)	$ L_{post} - L_{ant} $	$\sqrt{U_{post}^2 + U_{ant}^2}$	$ E_n $
2	0,01	3,91	0,00
4	-0,15	2,83	0,05
8	-0,17	2,83	0,06
16	-0,53	2,83	0,19
31,5	-0,22	2,83	0,08
63	-0,45	2,83	0,16
125	-0,93	2,83	0,33
250	-0,95	3,20	0,30

Fonte: Certificados de calibração Dimci 0450/2024 e Dimci 1261/2024

Tabela 6: Avaliação da estabilidade do item de ensaio: Sismógrafo UM 16270 e Geofone UM 16270 (calibrações realizadas em 17/10/2024 e 27/01/2025).

Vibração			
Frequência (Hz)	$ L_{post} - L_{ant} $	$\sqrt{U_{post}^2 + U_{ant}^2}$	$ E_n $
2	1,13	3,54	0,32
4	0,37	2,83	0,13
8	0,71	2,83	0,25
16	0,04	2,83	0,02
31,5	0,01	2,83	0,00
63	0,20	2,83	0,07
125	0,05	2,83	0,02
250	1,00	3,54	0,28

Fonte: Certificados de calibração Dimci 1261/2024 e Dimci 0069/2025

Tabela 7: Avaliação da estabilidade do item de ensaio: Sismógrafo UM 6196 e Geofone UM 6196 (calibrações realizadas em 03/04/2024 e 16/10/2024).

Vibração			
Frequência (Hz)	$ L_{post} - L_{ant} $	$\sqrt{U_{post}^2 + U_{ant}^2}$	$ E_n $
2	1,61	3,91	0,41
4	1,24	2,83	0,44
8	0,62	2,83	0,22
16	0,90	2,83	0,32
31,5	0,69	2,83	0,24
63	0,15	2,83	0,05
125	0,82	2,83	0,29
250	0,49	3,20	0,15

Fonte: Certificados de calibração Dimci 0449/2024 e Dimci 1262/2024

Tabela 8: Avaliação da estabilidade do item de ensaio: Sismógrafo UM 6196 e Geofone UM 6196 (calibrações realizadas em 16/10/2024 e 27/01/2025).

Vibração			
Frequência (Hz)	$ L_{post} - L_{ant} $	$\sqrt{U_{post}^2 + U_{ant}^2}$	$ E_n $
2	0,74	3,54	0,21
4	0,90	2,83	0,32
8	0,50	2,83	0,18
16	0,08	2,83	0,03
31,5	0,04	2,83	0,02
63	0,06	2,83	0,02
125	0,32	2,83	0,11
250	0,68	3,54	0,19

Fonte: Certificados de calibração Dimci 1262/2024 e Dimci 0070/2025

Os valores do erro normalizado, comparados às calibrações para a grandeza vibração realizadas no início, no meio e no fim do EP para os sismógrafos UM 16270 e UM 6196, demonstram que os itens de ensaio permaneceram estáveis ao longo da execução do EP.

3.2. Atribuição do Valor Designado

O valor designado para as grandezas pressão sonora e vibração foram determinados de acordo com a ordem das calibrações dos sismógrafos realizadas pelo Inmetro.

Os participantes com final de código 16, 26 e 48 realizaram as calibrações dos sismógrafos no período entre as calibrações iniciais e intermediárias durante a circulação do item de ensaio. Esse grupo foi denominado **Grupo 01**.

Já os participantes com final de código 01 e 50 realizaram as calibrações no intervalo entre as calibrações realizadas pelo Inmetro no meio e no final da circulação do item de ensaio. Esse grupo foi denominado **Grupo 02**.

3.2.1. Pressão Sonora

As tabelas 9 e 10 apresentam o valor designado com sua respectiva incerteza expandida para cada ponto de calibração da grandeza pressão sonora.

Para o **Grupo 01**, o valor designado corresponde à média das calibrações realizadas pelo Inmetro no início e no meio da circulação do item de ensaio entre os participantes. Para o **Grupo 02**, conforme descrito na seção 3.1.1, o valor designado foi obtido a partir da calibração final do item de ensaio.

Tabela 9: Valores designados e incertezas expandidas para o Sismógrafo UM 16270 e Microfone UL 4215 – **Grupo 01 (participantes 16, 26 e 48)**.

Pressão Sonora		
Equipamento	Sismógrafo UM 16270 e Microfone UL 4215)	
Frequência (Hz)	Valor Designado	
	Erro (dB)	U (dB)
2	-8,41	0,4
4	-2,84	0,4
8	-0,78	0,3
16	0,34	0,3
31,5	0,74	0,3
63	0,81	0,3
125	0,55	0,3
250	-1,95	0,3

Fonte: Certificados de calibração Dimci 1081/2024 e Dimci 1220/2024

Tabela 10: Valores designados e incertezas expandidas para o Sismógrafo UM 16270 e Microfone UL 4215 – Grupo 02 (participantes 01 e 50).

Pressão Sonora		
Equipamento	Sismógrafo UM 16270 e Microfone UL 4215)	
Frequência (Hz)	Valor Designado	
	Erro Relativo (dB)	U (dB)
2	-9,41	0,40
4	-3,14	0,40
8	-0,81	0,30
16	0,28	0,30
31,5	0,68	0,30
63	0,74	0,30
125	0,55	0,30
250	-1,82	0,30

Fonte: Certificados de calibração Dimci 0044/2025

Conforme descrito na seção 3.1.1, para o Sismógrafo UM 6196/Microfone UL 1332 não foram atribuídos valores designados para a grandeza pressão sonora.

3.2.2. Vibração

As tabelas 11, 12, 13 e 14 apresentam o valor designado com sua respectiva incerteza expandida para cada ponto de calibração para a grandeza vibração.

Para o **Grupo 01**, o valor designado corresponde à média das calibrações realizadas pelo Inmetro no início e no meio da circulação do item de ensaio entre os participantes. Para o **Grupo 02**, o valor designado foi obtido a partir do valor médio das calibrações realizadas no meio e no final do item de ensaio.

Tabela 11: Valores designados e incertezas expandidas para o Sismógrafo UM 16270 e Geofone UM 16270 – Grupo 01 (participantes 16, 26 e 48).

Vibração		
Equipamento	Sismógrafo UM 16270 e Geofone UM 16270)	
Frequência (Hz)	Valor Designado	
	Erro Relativo (%)	U (%)
2	4,56	2,8
4	3,29	2,0
8	0,90	2,0
16	0,27	2,0
31,5	-0,06	2,0
63	0,44	2,0
125	-0,38	2,0
250	-10,89	2,3

Fonte: Certificados de calibração Dimci 0450/2024 e Dimci 1261/2024

Tabela 12: Valores designados e incertezas expandidas para o Sismógrafo UM 16270 e Geofone UM 16270 – Grupo 02 (participantes 01, 50).

Vibração		
Equipamento	Sismógrafo UM 16270 e Geofone UM 16270)	
Frequência (Hz)	Valor Designado	
	Erro Relativo (%)	U (%)
2	5,12	2,5
4	3,39	2,0
8	1,16	2,0
16	-0,02	2,0
31,5	-0,18	2,0
63	0,11	2,0
125	-0,86	2,0
250	-10,86	2,5

Fonte: Certificados de calibração Dimci 1261/2024 e Dimci 0069/2025

Tabela 13: Valores designados e incertezas expandidas para o Sismógrafo UM 6196 e Geofone UM 6196 – Grupo 01 (participantes 16, 26 e 48).

Vibração		
Equipamento	Sismógrafo UM 6196 e Geofone UM 6196)	
Frequência (Hz)	Valor Designado	
	Erro Relativo (%)	U (%)
2	-0,68	2,8
4	0,64	2,0
8	4,21	2,0
16	3,59	2,0
31,5	0,94	2,0
63	-0,06	2,0
125	-1,90	2,0
250	-15,50	2,3

Fonte: Certificados de calibração Dimci 0449/2024 e Dimci 1262/2024

Tabela 14: Valores designados e incertezas expandidas para o Sismógrafo UM 6196 e Geofone UM 6196 – Grupo 02 (participantes 01, 50).

Vibração		
Equipamento	Sismógrafo UM 6196 e Geofone UM 6196)	
Frequência (Hz)	Valor Designado	
	Erro Relativo (%)	U (%)
2	-1,11	2,5
4	0,81	2,0
8	4,15	2,0
16	3,18	2,0
31,5	0,61	2,0
63	-0,16	2,0
125	-2,47	2,0
250	-16,08	2,5

Fonte: Certificados de calibração Dimci 1262/2024 e Dimci 0070/2025

3.3. Resultados dos Participantes

Os resultados das calibrações reportadas pelos participantes deste EP para as grandezas pressão sonora e vibração são apresentados nas seções 3.3.1 e 3.3.2, respectivamente.

Os participantes são identificados nos gráficos, tabelas e textos deste relatório pelos dois últimos caracteres do seu código de identificação.

3.3.1. Pressão Sonora

Na tabela 15 são apresentados os resultados dos participantes para a calibração da grandeza pressão sonora, conforme reportado pelos laboratórios.

Tabela 15: Resultados das calibrações para grandeza pressão sonora reportados pelos participantes – Sismógrafo UM 16270 e Microfone UL 4215.

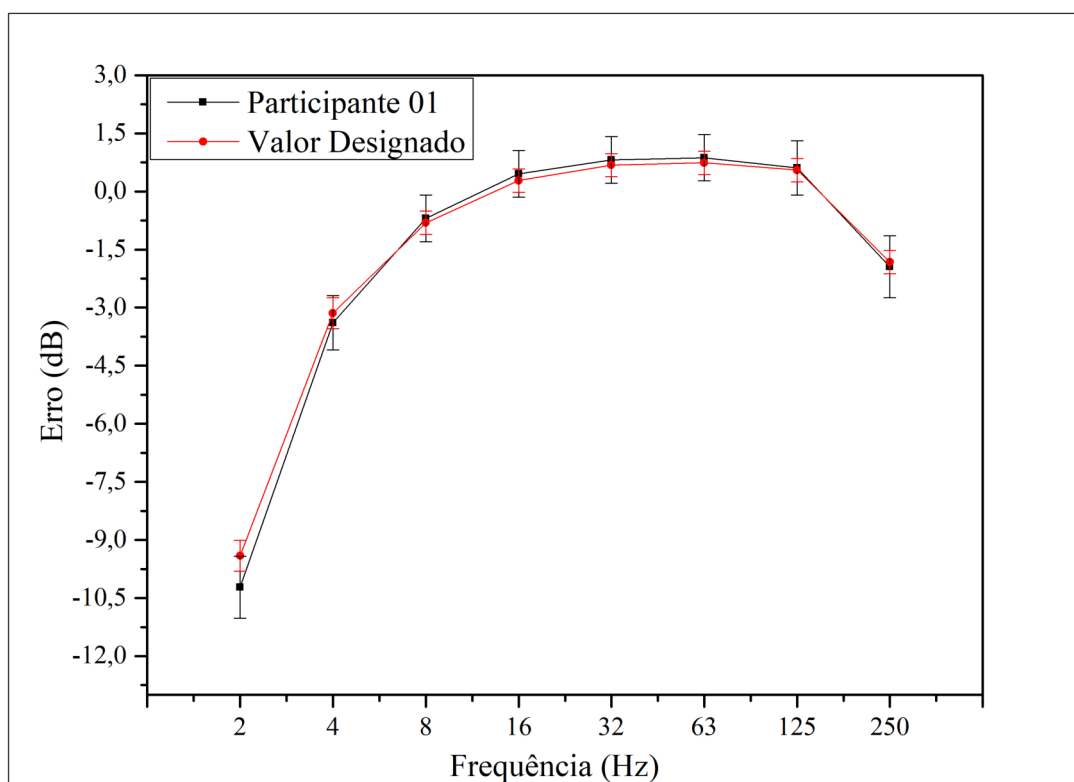
Código do Participante	Frequência (Hz)	Erro (dB)	U (dB)
1	2	-10,2	0,8
16	2	-9,26	0,4
26	2	-9,21	0,4
48	2	-5,1	0,7
50	2	-10,3	0,8
1	4	-3,4	0,7
16	4	-3,00	0,3
26	4	-3,09	0,4
48	4	-0,8	0,4
50	4	-3,7	0,8
1	8	-0,7	0,6
16	8	-0,80	0,2
26	8	-0,72	0,4
48	8	0,3	0,3
50	8	-0,7	0,3
1	16	0,5	0,6
16	16	0,18	0,2
26	16	0,25	0,4
48	16	0,7	1,2
50	16	0,5	0,3
1	31,5	0,8	0,6
16	31,5	0,52	0,2
26	31,5	0,60	0,4
48	31,5	0,9	1,2
50	31,5	1	0,3
1	63	0,9	0,6
16	63	0,16	0,3
26	63	0,66	0,4
48	63	0,9	0,7
50	63	1	0,3
1	125	0,6	0,7

Código do Participante	Frequência (Hz)	Erro (dB)	U (dB)
16	125	0,07	0,2
26	125	0,39	0,4
48	125	0,5	0,7
50	125	0,7	0,3
1	250	-1,9	0,8
16	250	-2,56	0,2
26	250	-2,08	0,4
48	250	-1,9	0,7
50	250	-2	0,3

Fonte: Participantes da 1ª Rodada do EP em Medição de Sismógrafos de Engenharia.

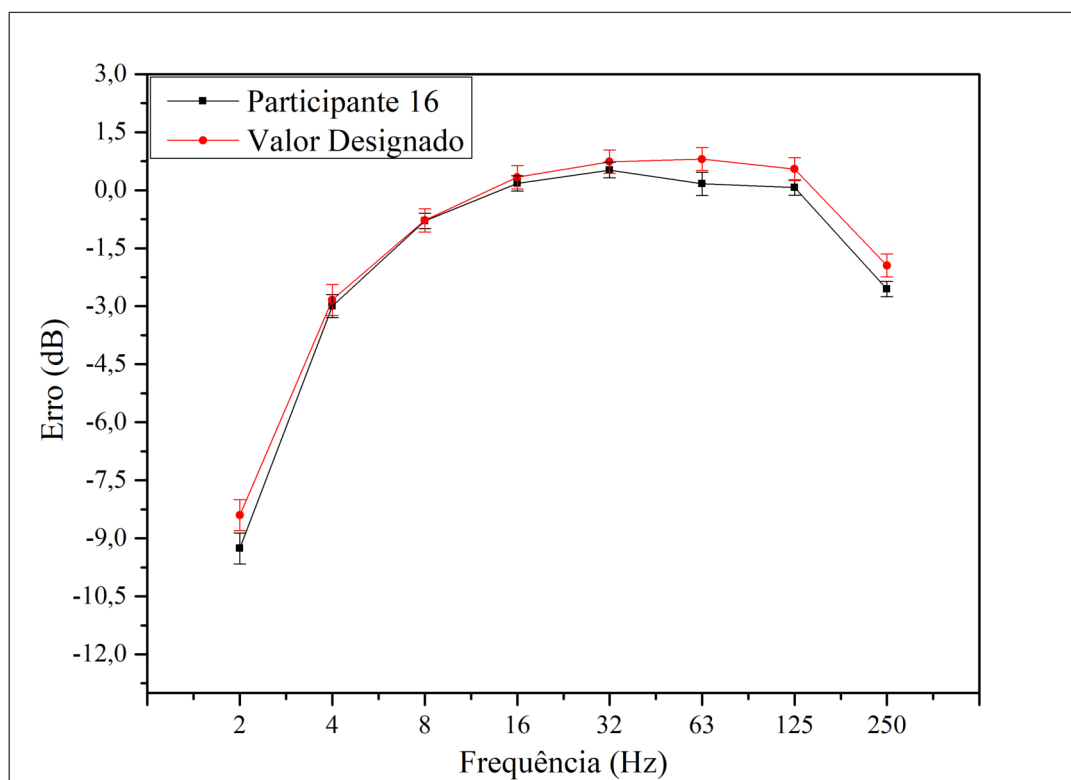
As figuras 1 a 5 apresentam os resultados reportados para cada ponto de calibração dos participantes em relação aos valores designados. As barras de erro nos gráficos representam a incerteza expandida de cada ponto de calibração.

Figura 1: Comparativo entre os resultados dos pontos de calibração reportadas pelo participante 01 e os resultados das calibrações realizadas pelos laboratórios do Inmetro.



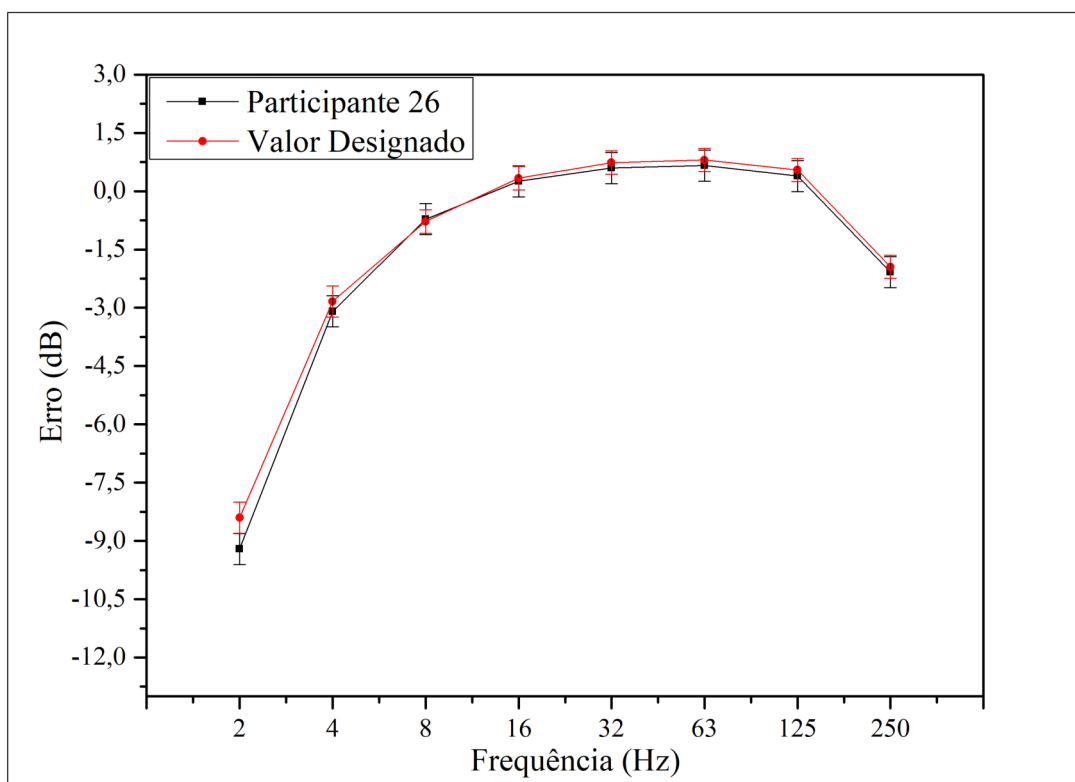
Fonte: Inmetro/Dimci/Lapep

Figura 2: Comparativo entre os resultados dos pontos de calibração reportadas pelo participante 16 e os resultados das calibrações realizadas pelos laboratórios do Inmetro.



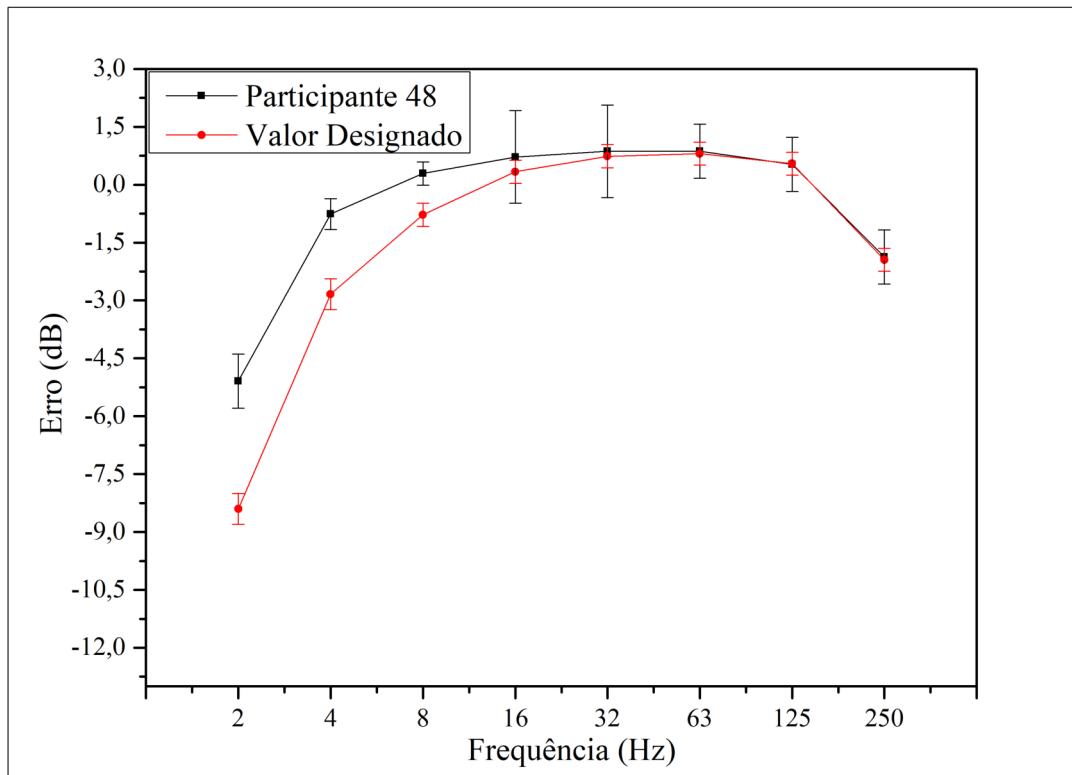
Fonte: Inmetro/Dimci/Lapep

Figura 3: Comparativo entre os resultados dos pontos de calibração reportadas pelo participante 26 e os resultados das calibrações realizadas pelos laboratórios do Inmetro.



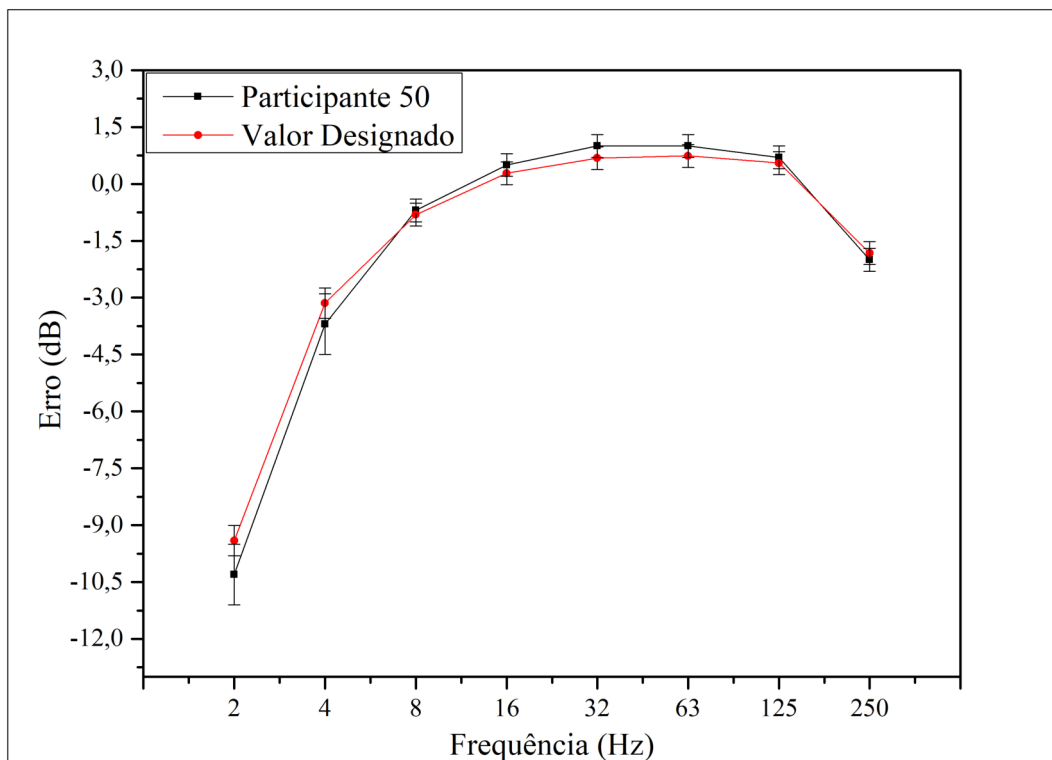
Fonte: Inmetro/Dimci/Lapep

Figura 4: Comparativo entre os resultados dos pontos de calibração reportadas pelo participante 48 e os resultados das calibrações realizadas pelos laboratórios do Inmetro.



Fonte: Inmetro/Dimci/Lapep

Figura 5: Comparativo entre os resultados dos pontos de calibração reportadas pelo participante 50 e os resultados das calibrações realizadas pelos laboratórios do Inmetro.



Fonte: Inmetro/Dimci/Lapep

3.3.2. Vibração

Nas tabelas 16 e 17 são apresentados os resultados dos participantes para a calibração da grandeza vibração, conforme reportado pelos laboratórios.

Tabela 16: Resultados das calibrações para grandeza vibração reportados pelos participantes – Sismógrafo UM 16270 e Geofone UM 16270.

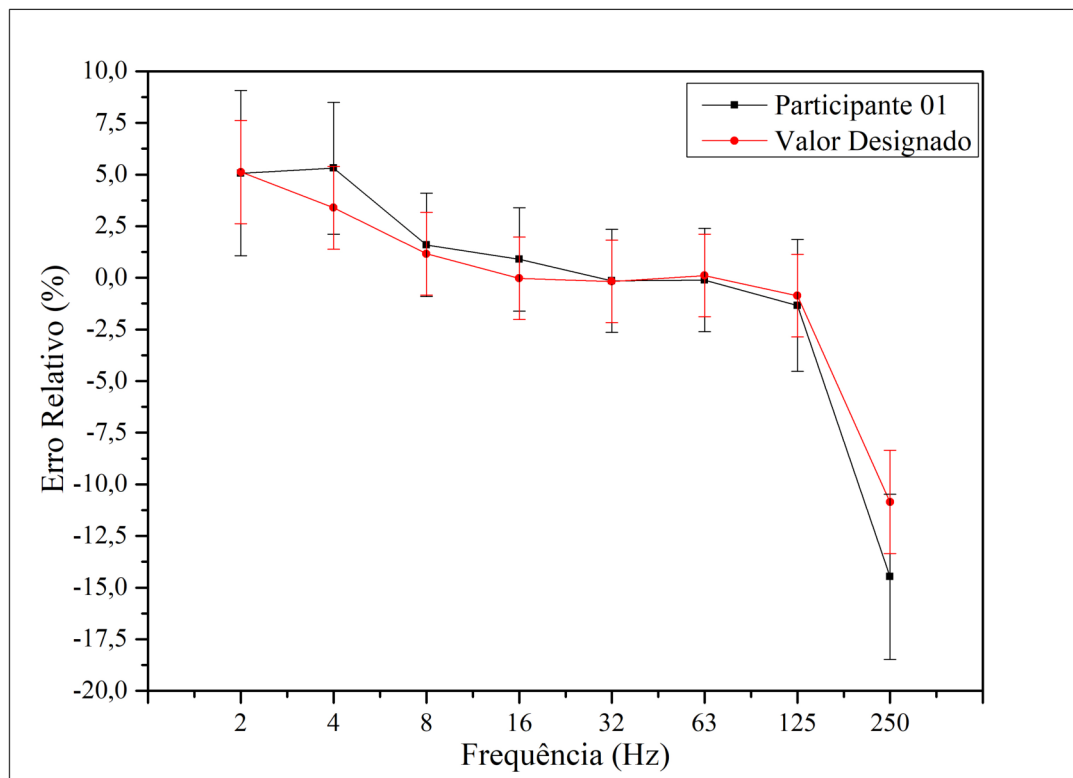
Código do Participante	Frequência (Hz)	Erro Relativo (%)	U (%)
1	2	5,1	4,0
16	2	4,54	2,3
26	2	2,40	2,5
48	2	0,4	2
50	2	-12,4	3
1	4	5,3	3,2
16	4	1,41	2,3
26	4	0,50	2,5
48	4	-0,5	2
50	4	-3,2	3
1	8	1,6	2,5
16	8	1,72	2,3
26	8	-0,57	2,5
48	8	-1,8	2
50	8	0,4	3
1	16	0,9	2,5
16	16	0,49	2,3
26	16	0,60	1,8
48	16	-1,5	1,8
50	16	1,7	1,8
1	31,5	-0,1	2,5
16	31,5	0,46	2,3
26	31,5	1,68	1,8
48	31,5	-0,9	1,8
50	31,5	2,6	1,8
1	63	-0,1	2,5
16	63	-2,13	2,3
26	63	0,46	1,8
48	63	-1,0	1,8
50	63	-2,7	1,8
1	125	-1,3	3,2

Código do Participante	Frequência (Hz)	Erro Relativo (%)	U (%)
16	125	-1,31	2,3
26	125	1,09	1,8
48	125	-1,3	1,8
50	125	2,8	1,8
1	250	-14,5	4,0
16	250	-12,75	2,3
26	250	-8,68	1,8
48	250	-11,5	1,8
50	250	4,4	1,8

Fonte: Participantes da 1ª Rodada do EP em Medição de Sismógrafos de Engenharia.

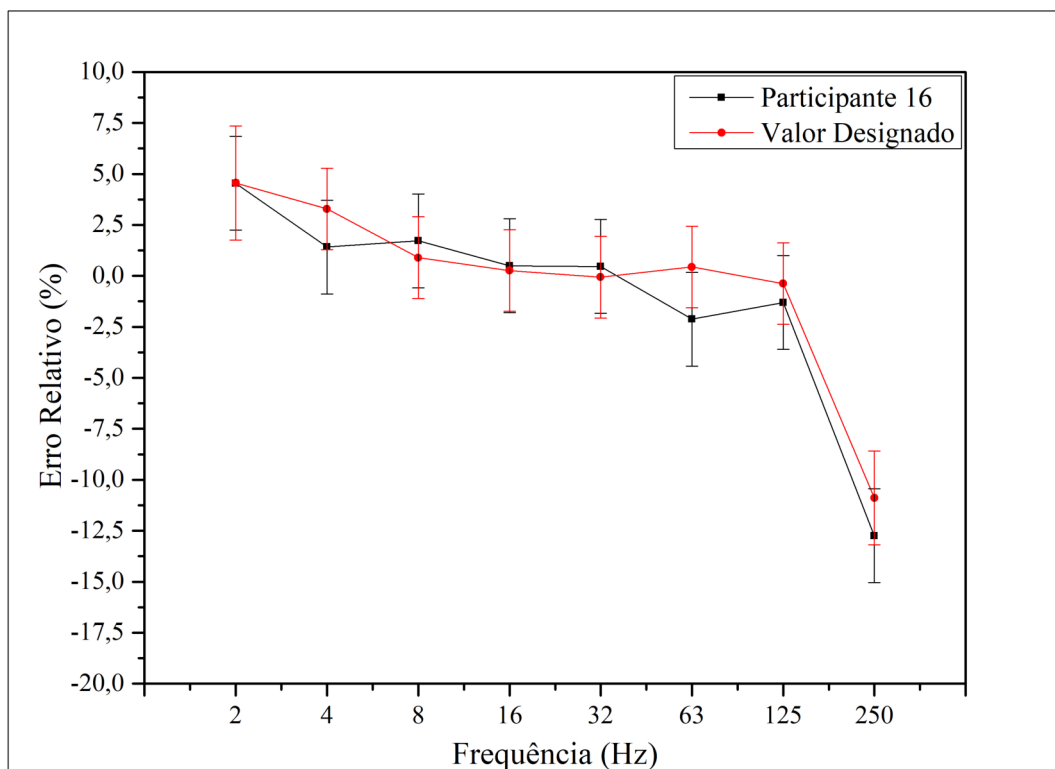
As figuras 6 a 10 apresentam os resultados reportados para cada ponto de calibração dos participantes em relação aos valores designados para o sismógrafo UM 16270 e Geofone UM 16270. As barras de erro nos gráficos representam a incerteza expandida de cada ponto de calibração.

Figura 6: Comparativo entre os resultados dos pontos de calibração reportadas pelo participante 01 e os resultados das calibrações realizadas pelos laboratórios do Inmetro – Sismógrafo UM 16270 e Geofone UM 16270.



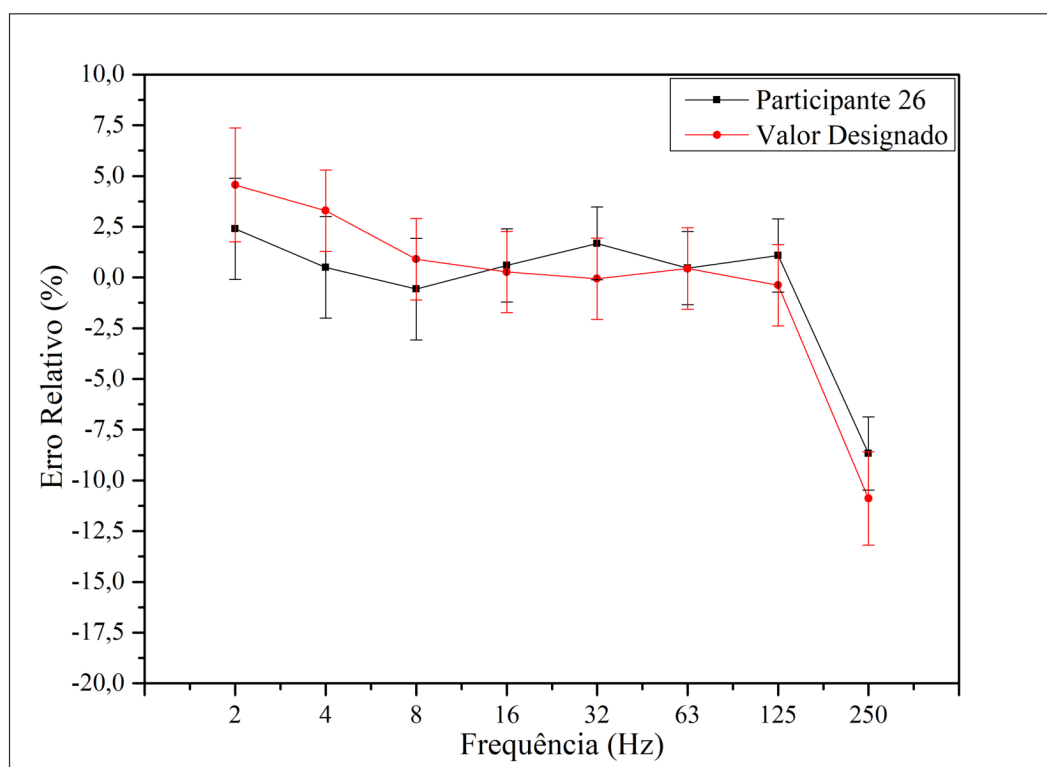
Fonte: Inmetro/Dimci/Lapep

Figura 7: Comparativo entre os resultados dos pontos de calibração reportadas pelo participante 16 e os resultados das calibrações realizadas pelos laboratórios do Inmetro – Sismógrafo UM 16270 e Geofone UM 16270.



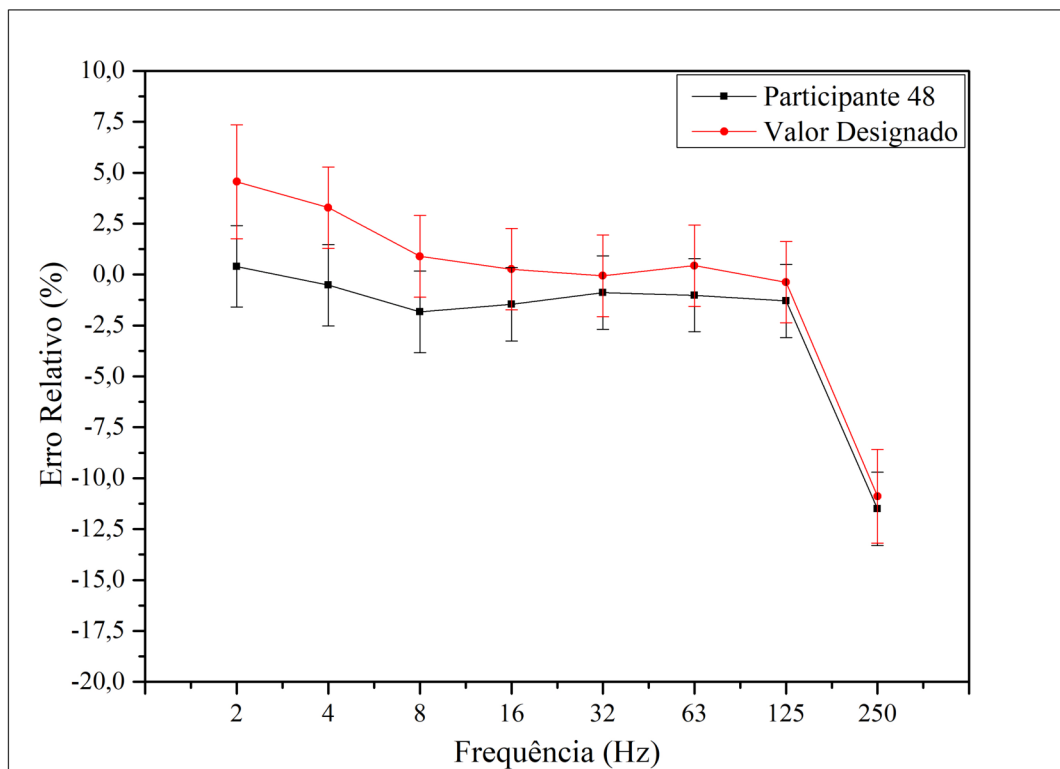
Fonte: Inmetro/Dimci/Lapep

Figura 8: Comparativo entre os resultados dos pontos de calibração reportadas pelo participante 26 e os resultados das calibrações realizadas pelos laboratórios do Inmetro – Sismógrafo UM 16270 e Geofone UM 16270.



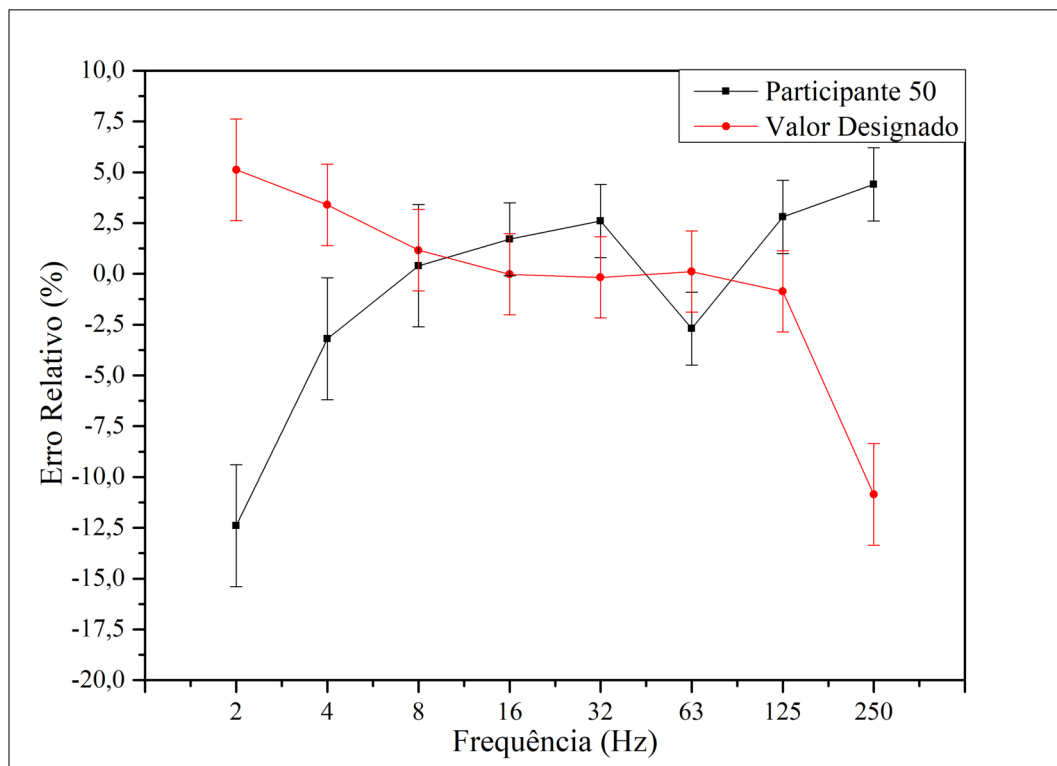
Fonte: Inmetro/Dimci/Lapep

Figura 9: Comparativo entre os resultados dos pontos de calibração reportadas pelo participante 48 e os resultados das calibrações realizadas pelos laboratórios do Inmetro – Sismógrafo UM 16270 e Geofone UM 16270.



Fonte: Inmetro/Dimci/Lapep

Figura 10: Comparativo entre os resultados dos pontos de calibração reportadas pelo participante 50 e os resultados das calibrações realizadas pelos laboratórios do Inmetro – Sismógrafo UM 16270 e Geofone UM 16270.



Fonte: Inmetro/Dimci/Lapep

Tabela 17: Resultados das calibrações para grandeza vibração reportados pelos participantes –
Sismógrafo UM 6196 e Geofone UM 6196.

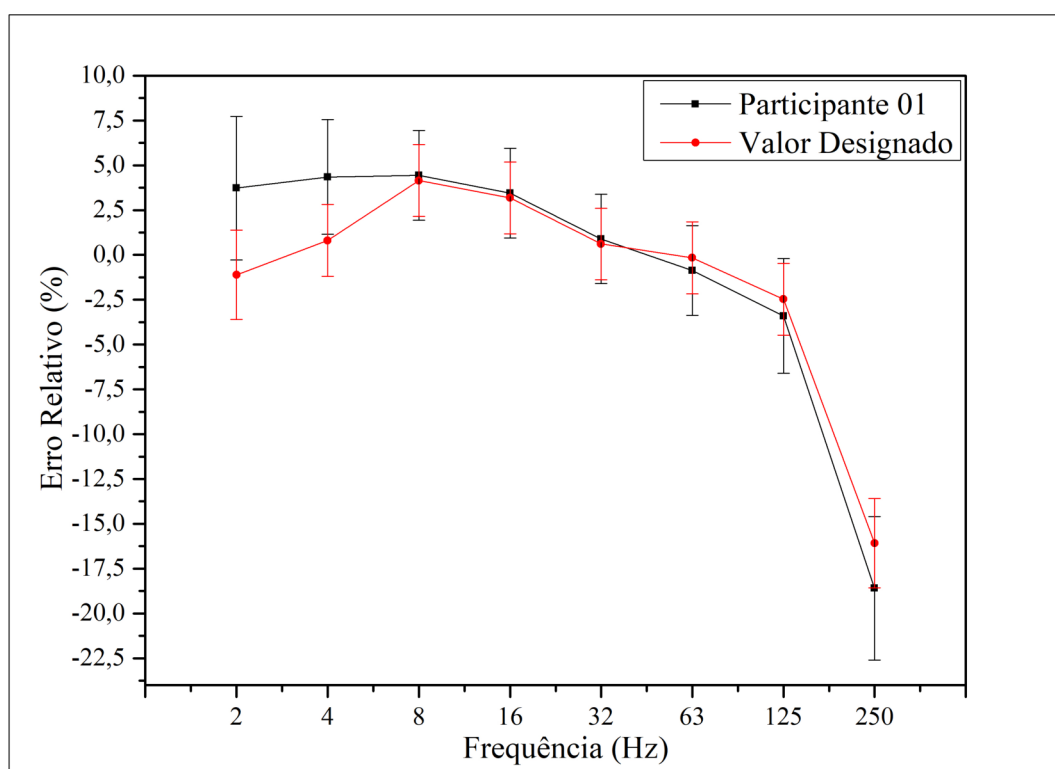
Código do Participante	Frequência (Hz)	Erro Relativo (%)	U (%)
1	2	3,7	4,0
16	2	-0,35	2,3
26	2	1,36	2,50
48	2	-3,3	2
50	2	-14,2	3
1	4	4,4	3,2
16	4	-0,08	2,3
26	4	1,53	2,50
48	4	-1,6	2
50	4	-3,7	3
1	8	4,4	2,5
16	8	4,49	2,3
26	8	3,90	2,50
48	8	-0,7	2
50	8	3,7	3
1	16	3,4	2,5
16	16	4,62	2,3
26	16	4,52	1,80
48	16	1,2	1,8
50	16	4,6	1,8
1	31,5	0,9	2,5
16	31,5	2,29	2,3
26	31,5	1,99	1,80
48	31,5	-0,4	1,8
50	31,5	2,2	1,8
1	63	-0,9	2,5
16	63	0,16	2,3
26	63	-0,54	1,80
48	63	-1,4	1,8
50	63	-1,5	1,8
1	125	-3,4	3,2
16	125	-4,21	2,3
26	125	-1,15	1,80
48	125	-3,4	1,8
50	125	10,5	1,8
1	250	-18,6	4,0

Código do Participante	Frequência (Hz)	Erro Relativo (%)	U (%)
16	250	-19,82	2,3
26	250	-14,86	1,80
48	250	-16,0	1,8
50	250	-8,4	1,8

Fonte: Participantes da 1ª Rodada do EP em Medição de Sismógrafos de Engenharia.

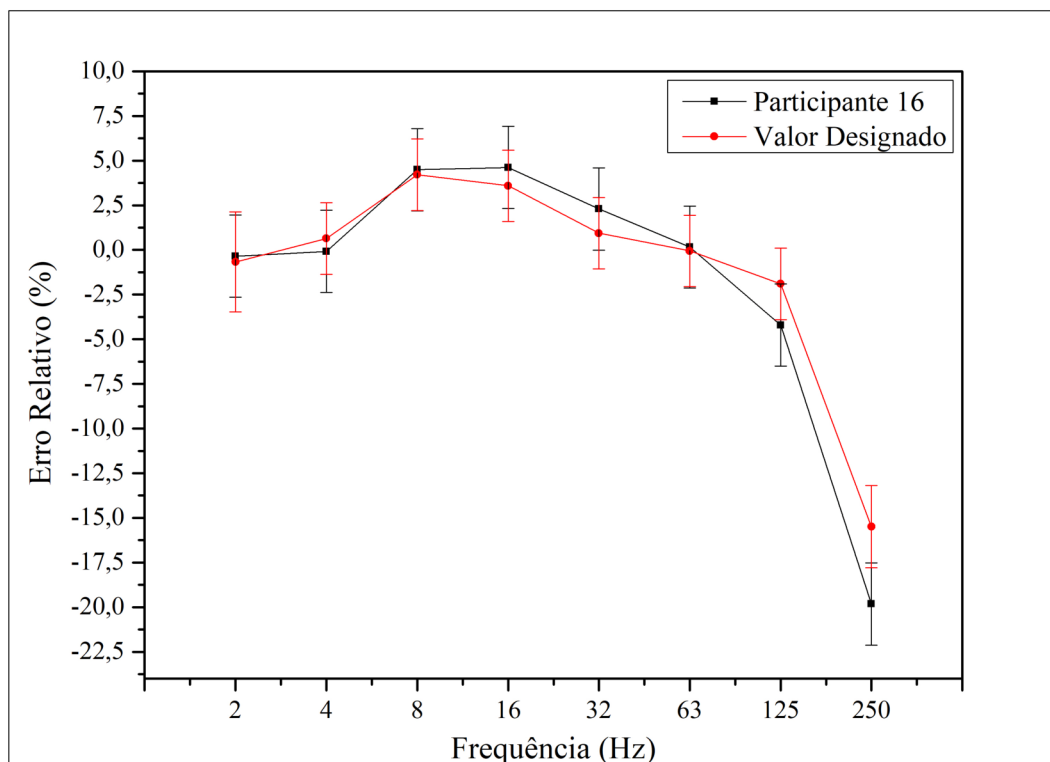
As figuras 11 a 15 apresentam os resultados reportados para cada ponto de calibração dos participantes em relação aos valores designados para o sismógrafo UM 6196 e Geofone UM 6196. As barras de erro nos gráficos representam a incerteza expandida de cada ponto de calibração.

Figura 11: Comparativo entre os resultados dos pontos de calibração reportadas pelo participante 01 e os resultados das calibrações realizadas pelos laboratórios do Inmetro – Sismógrafo UM 6196 e Geofone UM 6196.



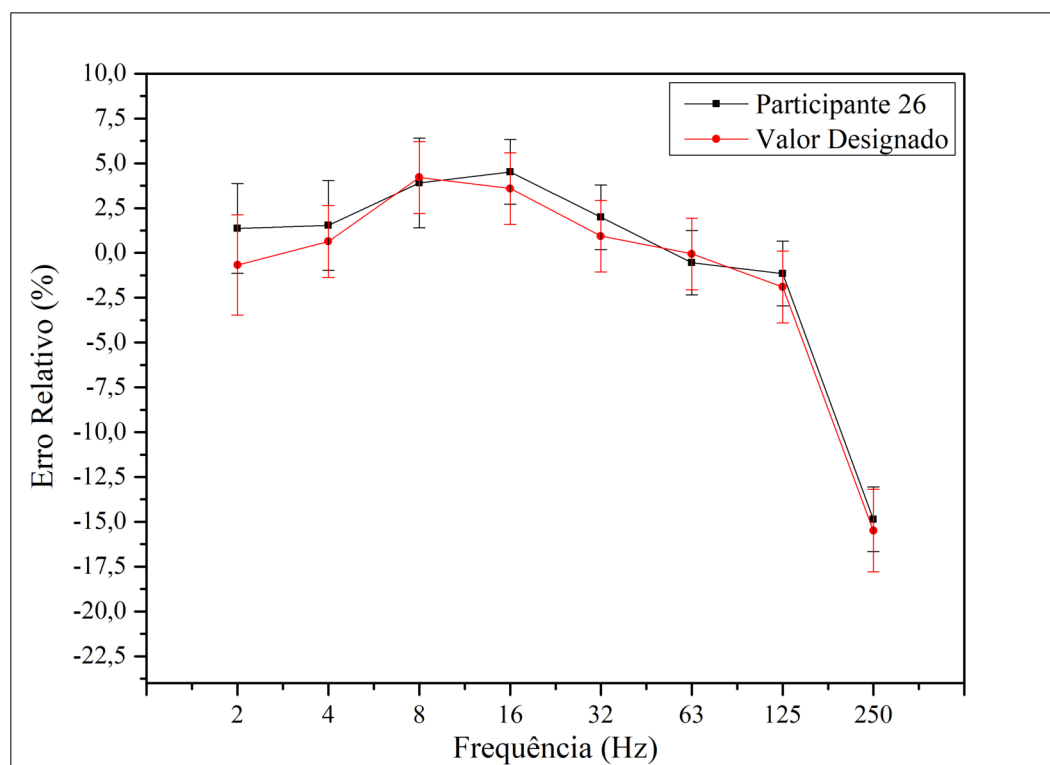
Fonte: Inmetro/Dimci/Lapep

Figura 12: Comparativo entre os resultados dos pontos de calibração reportadas pelo participante 16 e os resultados das calibrações realizadas pelos laboratórios do Inmetro – Sismógrafo UM 6196 e Geofone UM 6196.



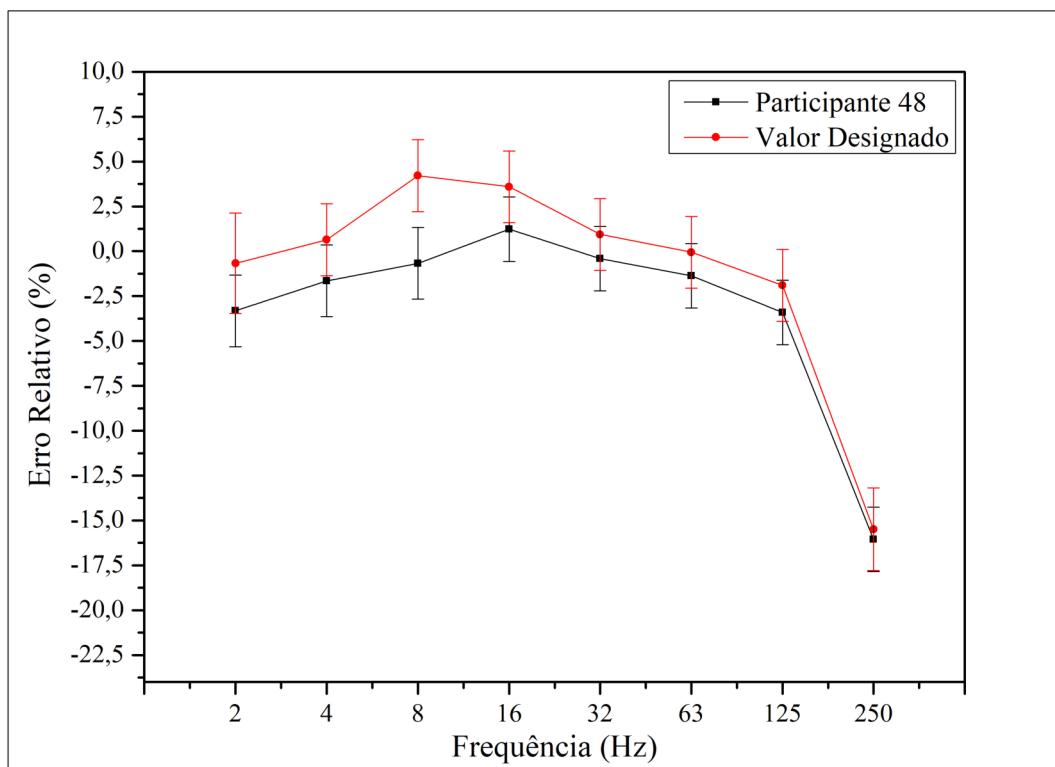
Fonte: Inmetro/Dimci/Lapep

Figura 13: Comparativo entre os resultados dos pontos de calibração reportadas pelo participante 26 e os resultados das calibrações realizadas pelos laboratórios do Inmetro – Sismógrafo UM 6196 e Geofone UM 6196.



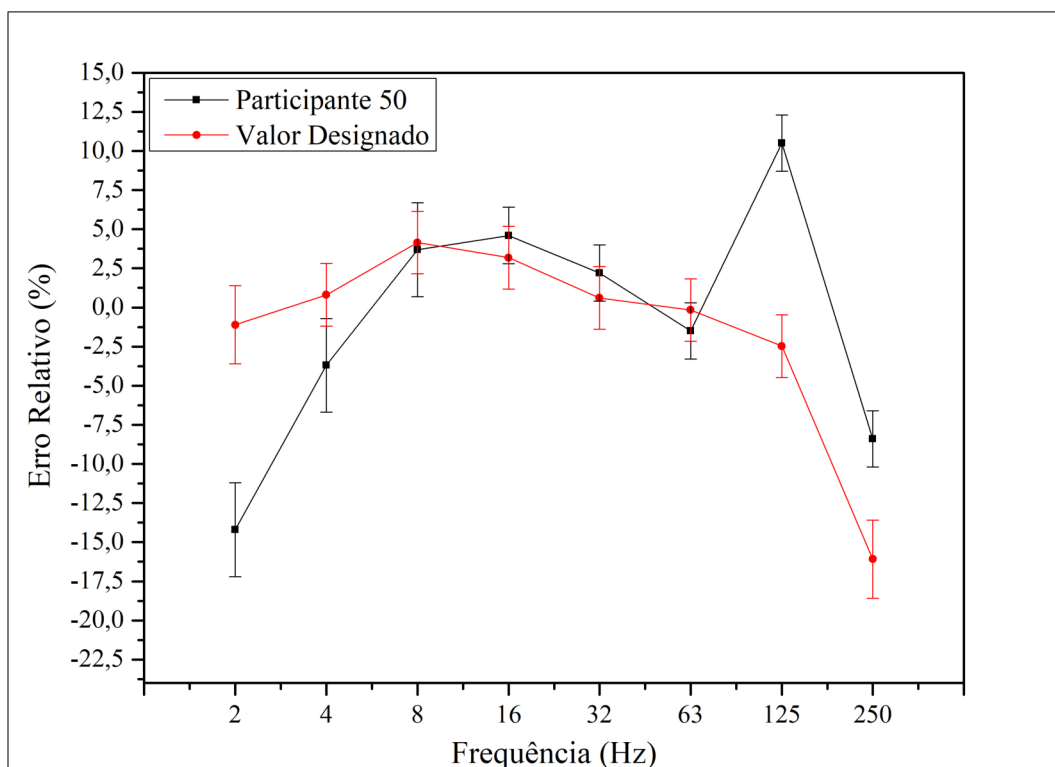
Fonte: Inmetro/Dimci/Lapep

Figura 14: Comparativo entre os resultados dos pontos de calibração reportadas pelo participante 48 e os resultados das calibrações realizadas pelos laboratórios do Inmetro – Sismógrafo UM 6196 e Geofone UM 6196.



Fonte: Inmetro/Dimci/Lapep

Figura 15: Comparativo entre os resultados dos pontos de calibração reportadas pelo participante 50 e os resultados das calibrações realizadas pelos laboratórios do Inmetro – Sismógrafo UM 6196 e Geofone UM 6196.



Fonte: Inmetro/Dimci/Lapep

3.4. Avaliação de Desempenho – Erro Normalizado

3.4.1. Pressão Sonora

A tabela 18 apresenta o resultado da avaliação de desempenho dos laboratórios por meio do erro normalizado (E_n) e a figura 16 apresenta o gráfico do erro normalizado ($|E_n|$) referente ao desempenho dos participantes do EP para a calibração da grandeza pressão sonora.

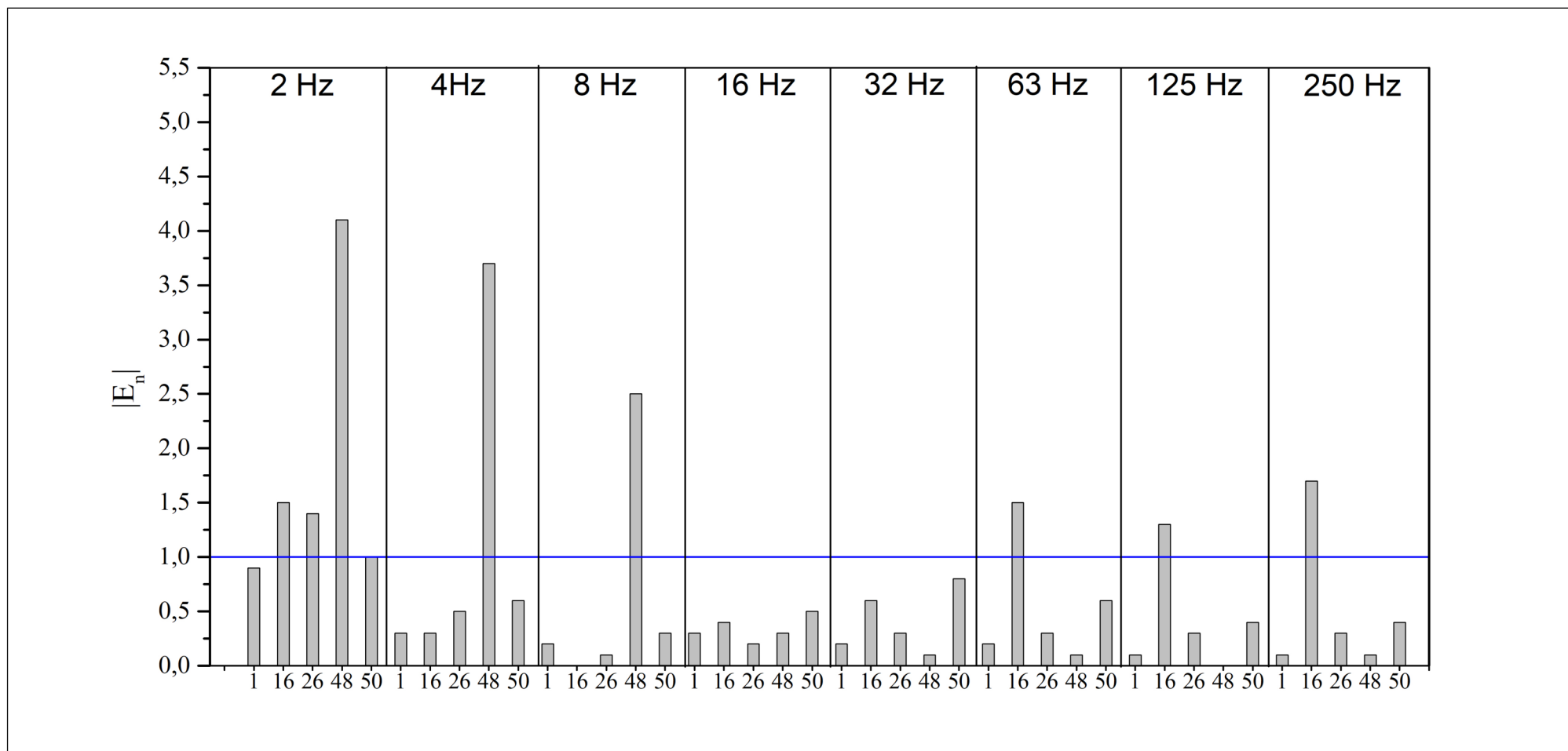
Tabela 18 – Erro normalizado referentes à calibração do Sismógrafo UM 16270 e Microfone UL 4215.

Código do Participante	Frequência (Hz)	E_n
1	2	-0,9
1	4	-0,3
1	8	0,2
1	16	0,3
1	31,5	0,2
1	63	0,2
1	125	0,1
1	250	-0,1
16	2	-1,5
16	4	-0,3
16	8	0,0
16	16	-0,4
16	31,5	-0,6
16	63	-1,5
16	125	-1,3
16	250	-1,7
26	2	-1,4
26	4	-0,5
26	8	0,1
26	16	-0,2
26	31,5	-0,3
26	63	-0,3
26	125	-0,3
26	250	-0,3
48	2	4,1
48	4	3,7
48	8	2,5
48	16	0,3
48	31,5	0,1

Código do Participante	Frequência (Hz)	E _n
48	63	0,1
48	125	0,0
48	250	0,1
50	2	-1,0
50	4	-0,6
50	8	0,3
50	16	0,5
50	31,5	0,8
50	63	0,6
50	125	0,4
50	250	-0,4

Fonte: Dimci/Lapep
Resultado satisfatório.
Resultado insatisfatório.

Figura 16: Valores de $|E_n|$ para os participantes do EP, de acordo com os pontos de calibração – Pressão Sonora – Sismógrafo UM 16270 e Microfone UL 4215.



Fonte: Inmetro/Dimci/Lapep

3.4.1. Vibração

As tabelas 19 e 20 apresentam os resultados da avaliação de desempenho dos laboratórios por meio do erro normalizado (E_n) e as figuras 17 e 18 apresentam os gráficos do erro normalizado ($|E_n|$) referente ao desempenho dos participantes do EP para calibração da grandeza vibração.

Tabela 19 – Erro normalizado referentes à calibração do Sismógrafo UM 16270 e Geofone UM 16270 (Vibração).

Código do Participante	Frequência (Hz)	E_n
1	2	0,0
1	4	0,5
1	8	0,1
1	16	0,3
1	31,5	0,0
1	63	-0,1
1	125	-0,1
1	250	-0,8
16	2	0,0
16	4	-0,6
16	8	0,3
16	16	0,1
16	31,5	0,2
16	63	-0,8
16	125	-0,3
16	250	-0,6
26	2	-0,6
26	4	-0,9
26	8	-0,5
26	16	0,1
26	31,5	0,6
26	63	0,0
26	125	0,5
26	250	0,8
48	2	-1,2
48	4	-1,3
48	8	-1,0
48	16	-0,6
48	31,5	-0,3

Código do Participante	Frequência (Hz)	E_n
48	63	-0,5
48	125	-0,3
48	250	-0,2
50	2	-4,5
50	4	-1,8
50	8	-0,2
50	16	0,6
50	31,5	1,0
50	63	-1,0
50	125	1,4
50	250	5,0

Fonte: Dimci/Lapep
Resultado satisfatório.

Resultado insatisfatório.

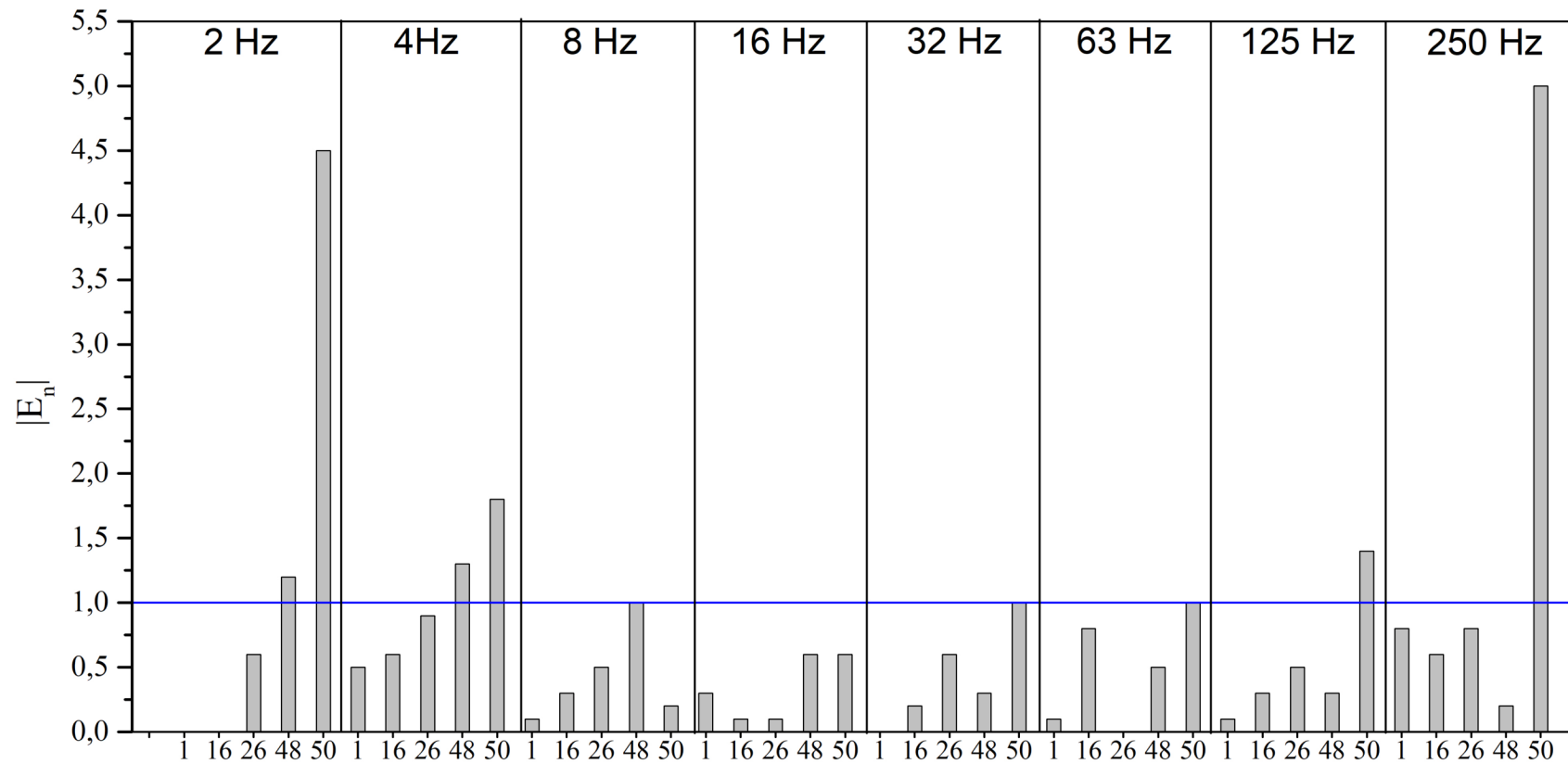
Tabela 20 – Erro normalizado referentes à calibração do Sismógrafo UM 6196 e Geofone UM 6196 (Vibração).

Código do Participante	Frequência (Hz)	E_n
1	2	1,0
1	4	0,9
1	8	0,1
1	16	0,1
1	31,5	0,1
1	63	-0,2
1	125	-0,2
1	250	-0,5
16	2	0,1
16	4	-0,2
16	8	0,1
16	16	0,3
16	31,5	0,4
16	63	0,1
16	125	-0,8
16	250	-1,3
26	2	0,5
26	4	0,3

Código do Participante	Frequência (Hz)	E_n
26	8	-0,1
26	16	0,3
26	31,5	0,4
26	63	-0,2
26	125	0,3
26	250	0,2
48	2	-0,8
48	4	-0,8
48	8	-1,7
48	16	-0,9
48	31,5	-0,5
48	63	-0,5
48	125	-0,6
48	250	-0,2
50	2	-3,4
50	4	-1,3
50	8	-0,1
50	16	0,5
50	31,5	0,6
50	63	-0,5
50	125	4,8
50	250	2,5

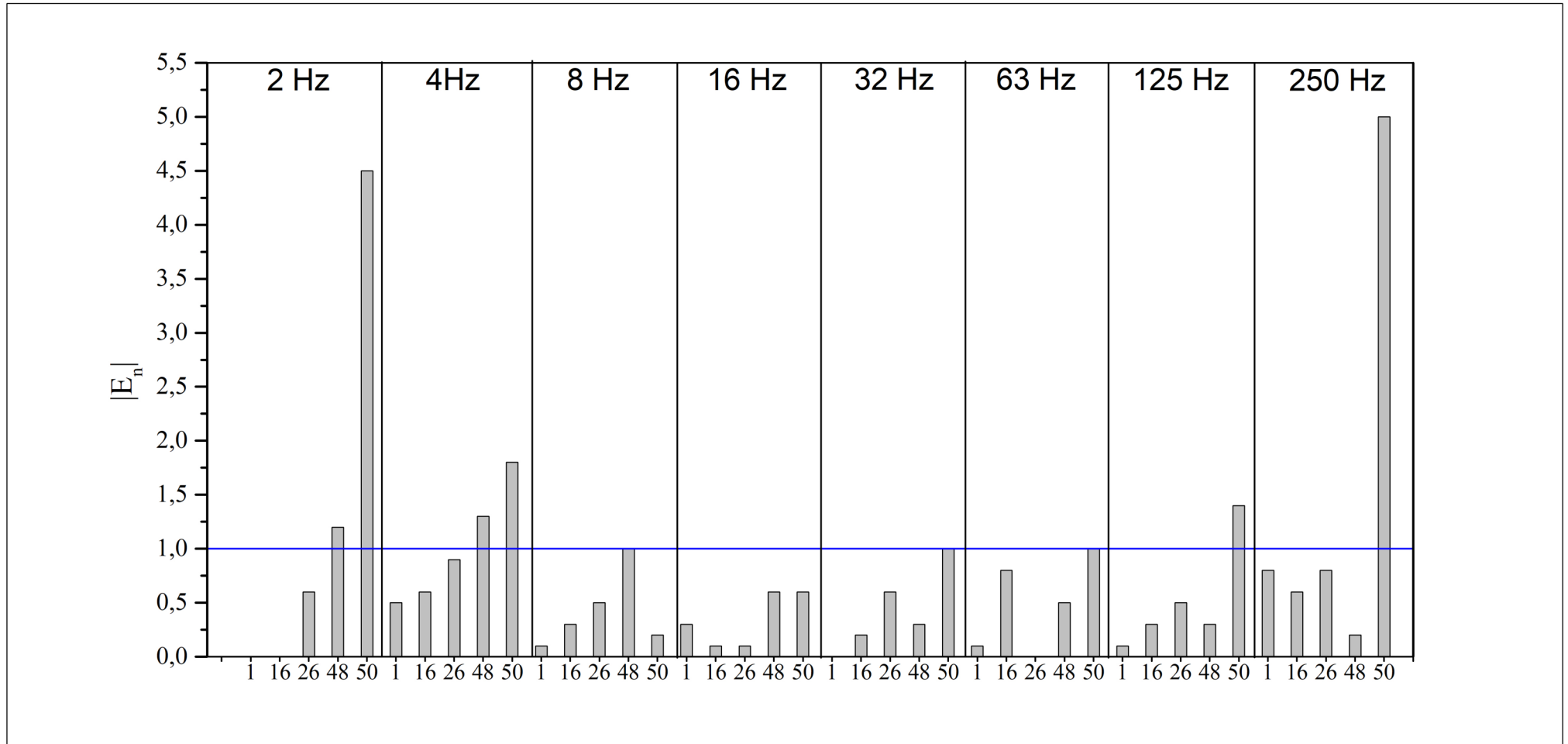
Fonte: Dimci/Lapep
 Resultado satisfatório.
 Resultado insatisfatório.

Figura 17: Valores de $|E_n|$ para os participantes do EP, de acordo com os pontos de calibração – Vibração – Sismógrafo UM 16270 e Geofone 16270.



Fonte: Inmetro/Dimci/Lapep

Figura 18: Valores de $|E_n|$ para os participantes do EP, de acordo com os pontos de calibração – Vibração – Sismógrafo UM 6196 e Geofone UM 6196.



Fonte: Inmetro/Dimci/Lapep

4. Confidencialidade

Cada participante foi identificado por código individual que é conhecido somente pelo próprio participante e pela coordenação do EP. Caso seja requisitado, a identificação dos laboratórios (acreditados e em fase de acreditação) será encaminhada à Cgcre, conforme estabelecido no protocolo deste EP. Esse código foi utilizado como identificação do participante no preenchimento do formulário de registro de resultados. Os resultados poderão ser utilizados em trabalhos e publicações pelo Inmetro respeitando-se a confidencialidade de cada participante.

Conforme estabelecido no item 4.10.4 da ABNT ISO/IEC 17043:2011 [1], em circunstâncias excepcionais, uma autoridade reguladora pode requerer os resultados e a identificação dos participantes do EP ao provedor. Se isto ocorrer, o provedor do EP notificará esta ação aos participantes.

5. Conclusões

Esta foi a primeira rodada de EP em medição de sismógrafos de engenharia que contou com a participação de 05 (cinco) laboratórios, sendo quatro acreditados e um em fase de acreditação.

Os resultados dos laboratórios participantes deste EP foram avaliados por meio do erro normalizado. Alguns participantes reportaram incerteza expandida com valores similares e/ou inferiores aos reportados pelos laboratórios do Inmetro, que são responsáveis pela disseminação das grandezas avaliadas neste EP. Portanto, seria esperado que os valores das incertezas expandidas reportadas pelos participantes fossem superiores as incertezas expandidas dos valores designados. A subestimação das incertezas reportadas pelos participantes pode ter impactado a avaliação de desempenho dos participantes que obtiveram valores de $|E_n|$ ligeiramente superior a 1,0.

Recomenda-se que os participantes que não apresentaram desempenho satisfatório analisem criticamente sua metodologia de medição. Além disso, recomenda-se também uma avaliação da ocorrência de erros grosseiros, tais como transcrição incorreta de dados, erros de conversão de unidades, de validação de planilhas e interpretação incorreta das instruções do protocolo. Essa avaliação deve ser realizada, principalmente para os laboratórios que obtiveram resultados muito acima ou abaixo do esperado.

Finalmente, deve-se ressaltar a importância da participação em exercícios de EP. Um EP constitui uma ferramenta útil para monitorar os procedimentos de análises usados na rotina e avaliar os resultados

das medições, possibilitando a melhoria da qualidade dos resultados e garantindo maior confiabilidade às medições.

6. Participantes

Cinco participantes se inscreveram na 1ª rodada do Ensaio de Proficiência em Medição de Sismógrafos de Engenharia. A lista dos participantes que enviaram os resultados à coordenação deste EP é apresentada na Tabela 21. É importante ressaltar que a numeração da tabela é apenas indicativa do número de participantes no EP, não estando, em hipótese alguma, associada à identificação dos participantes na apresentação dos resultados.

Tabela 21 – Participantes

Instituição	
1.	SEQUÊNCIA ENGENHARIA PROJETOS E MEIO AMBIENTE LTDA
2.	TECHNOBLAST SERVIÇOS DE DETONAÇÃO E SISMOGRAFIA LTDA
3.	TOTAL SAFETY LTDA
4.	VMA SOCIEDADE TÉCNICA DE VENDAS LTDA
5.	ZTEX AUTOMAÇÃO & SISTEMAS LTDA

Total de participantes: 05 participantes.

7. Referências Bibliográficas

[1] ABNT NBR ISO/IEC 17043, Avaliação de conformidade — Requisitos gerais para ensaios de proficiência, ABNT, Rio de Janeiro, 2011.



Programa de Ensaio da Proficiência do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – PEP-Inmetro
Av. Nossa Senhora das Graças, 50 – Xerém – Duque de Caxias – RJ – Brasil – CEP: 25250-020
Tel.: +55 21 2679-9745 – www.inmetro.gov.br – E-mail: pep-inmetro@inmetro.gov.br