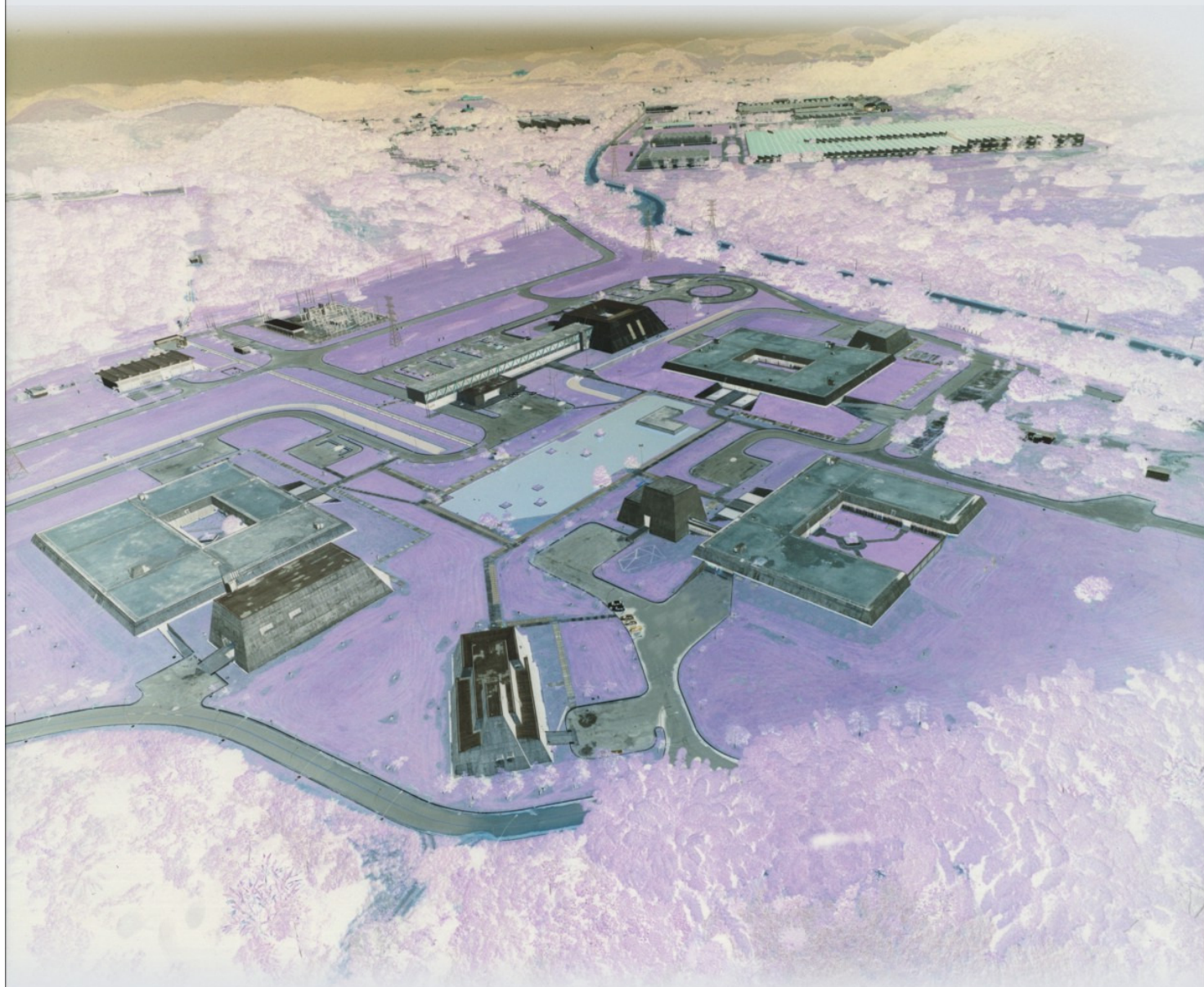


Relatório Final do Ensaio de Proficiência na
Calibração de Equipamentos Acústicos - 1ª Rodada
Medidor de Nível Sonoro (MNS), Calibrador de Nível
Sonoro (CNS), Microfone e Audiodosímetro



Inmetro

Diretoria de Metrologia Científica e Industrial

PEP-Dimci

Programa de ensaios de proficiência em metrologia científica e industrial

ENSAIO DE PROFICIÊNCIA NA CALIBRAÇÃO DE EQUIPAMENTOS ACÚSTICOS
1ª RODADA – MEDIDOR DE NÍVEL SONORO (MNS), CALIBRADOR DE NÍVEL
SONORO (CNS), MICROFONE E AUDIODOSÍMETRO

RELATÓRIO FINAL - Nº 003/2009

ORGANIZAÇÃO PROMOTORA DO ENSAIO DE PROFICIÊNCIA



Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - Inmetro
Diretoria de Metrologia, Científica e Industrial - Dimci
Endereço: Av. Nossa Senhora das Graças, 50 – Xerém – Duque de Caxias
RJ – Brasil – CEP: 25250-020
E-mail para contato: pep-dimci@inmetro.gov.br

COMITÊ DE ORGANIZAÇÃO

Damares da Silva Santos (Inmetro/Dimci/Dicep)
Paulo Roberto da Fonseca Santos (Inmetro/Dimci/Dicep)
Walter Erico Hoffmann (Inmetro/Dimci/Diavi)

COMITÊ TÉCNICO

Fábio Paduin Budel (Inmetro/Dimci/Diavi)
Joyce Costa Andrade (Inmetro/Dimci/Dicep)
Nelson Melo do Espírito Santo (Inmetro/Dimci/Diavi)
Peter Joseph Barry (IPT)
Walter Erico Hoffmann (Inmetro/Dimci/Diavi)
Zemar Martins Defilippo Soares (Inmetro/Dimci/Diavi)

SUMÁRIO

	Pag.
1. Introdução	2
2. Itens de Ensaio.....	2
3. Metodologias	3
4. Atribuição dos Valores Designados	3
5. Análise Estatística dos Resultados	5
6. Avaliação do Desempenho dos Laboratórios Participantes.....	5
6.1. Calibração de Microfone em Cavidade	5
6.2. Calibração de Microfone em Atuador Eletrostático	7
6.3. Calibração de Calibrador de Nível Sonoro.....	9
6.4. Calibração de Medidor de Nível Sonoro	12
6.5. Calibração de Audiódosímetro	31
7. Conclusões.....	38
8. Laboratórios Participantes.....	43
9. Referências Bibliográficas.....	44

1. Introdução

Ensaio de proficiência (EP) é o uso de comparações interlaboratoriais com o objetivo de avaliar a habilidade de um laboratório em realizar um determinado ensaio ou medição de modo competente e demonstrar a confiabilidade dos resultados gerados. Em um contexto geral, o ensaio de proficiência propicia aos laboratórios participantes: avaliação do desempenho e monitoração contínua; evidência de obtenção de resultados confiáveis; identificação de problemas relacionados com a sistemática de ensaios; possibilidade de tomada de ações corretivas e/ou preventivas; avaliação da eficiência de controles internos; determinação das características de desempenho e validação de métodos e tecnologias; padronização das atividades frente ao mercado e reconhecimento de resultados de ensaios, em nível nacional e internacional.

Este ensaio tem como objetivo:

- Determinar o desempenho dos laboratórios participantes para os ensaios propostos;
- Monitorar o desempenho contínuo dos laboratórios para a medição na área de Acústica;
- Contribuir na identificação de problemas nos laboratórios e na implementação, tomada e adoção de ações corretivas por parte dos laboratórios participantes;
- Verificar se os itens de ensaio foram corretamente calibrados, através da análise das informações fornecidas nos formulários de registro de resultado;
- Contribuir para o aumento da confiança nos resultados das medições dos laboratórios de Acústica.

Se inscreveram neste programa 11 laboratórios. Cada laboratório inscrito recebeu um código para cada item de ensaio a ser calibrado neste EP.

Este relatório apresenta os resultados da avaliação de desempenho dos laboratórios participantes da primeira rodada do Ensaio de Proficiência na Calibração de Equipamentos Acústicos.

2. Itens de Ensaio

Para esta rodada deste programa foram selecionados os seguintes artefatos:

- **Microfone capacitivo de ½"**
Fabricante: Brüel&Kjaer, modelo: 4134, número de série: 929633, sensibilidade nominal: - 38,0 dB ref. 1V/Pa, Tensão de polarização: 200 V.
- **Calibrador de Nível Sonoro**
Fabricante: Brüel&Kjaer, modelo: 4230, número de série: 753475, nível nominal: 94 dB e frequência nominal: 1.000 Hz
- **Medidor de Nível Sonoro**
Fabricante: Brüel&Kjaer, modelo: 2231, número de série: 1437513 e medidor de nível sonoro integrador de tipo 1.

▪ **Audiodosímetro**

Fabricante: Brüel&Kjaer, modelo: 4436, número de série: 2251824 e medidor de nível sonoro integrador de tipo 1

O audiodosímetro foi cedido pela HBM do Brasil e o calibrador de nível sonoro foi cedido pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT.

3. Metodologias

- O método de calibração de microfones em cavidade está descrito na norma IEC 61094-5:2001 - Measurement microphones - Part 5: Methods for pressure calibration of working standard microphones by comparison.
- O método de calibração de microfone em atuador eletrostático está descrito na norma IEC 61094-6:2004 - Measurement microphones - Part 6: Electrostatic actuators for determination of frequency response.
- O método de calibração de calibradores de nível sonoro está descrito na norma IEC 60942:1988 - Electroacoustics - Sound calibrators.
- O método de calibração de Medidores de Nível Sonoro está descrito nas normas IEC 60651:1979 - Sound level meters e IEC 60804:1989– Integrating-averaging sound level meters.
- O método de calibração de audiodosímetros está descrito nas normas ANSI S1.25:1991 – Specification for personal noise dosimeters, IEC 61252:1993 – Electroacoustics - Specifications for personal sound exposure meters, IEC 61252-am1-Ed. 1.0:2000 - Amendment 1 - Electroacoustics - Specifications for personal sound exposure meters, IEC 61252:2002 – Electroacoustics - Specifications for personal sound exposure meters.

4. Atribuição dos Valores Designados

Os valores de referência de todos os artefatos foram determinados pelo Laboratório de Eletroacústica – Laeta, da Divisão de Metrologia Acústica e de Vibrações do Inmetro. O laboratório também determinou a estabilidade dos artefatos calibrados.

A intercomparação foi realizada segundo um modelo misto entre “estrela” e “anel”, passando pelo laboratório de referência sempre após cada etapa, conforme figura 1:

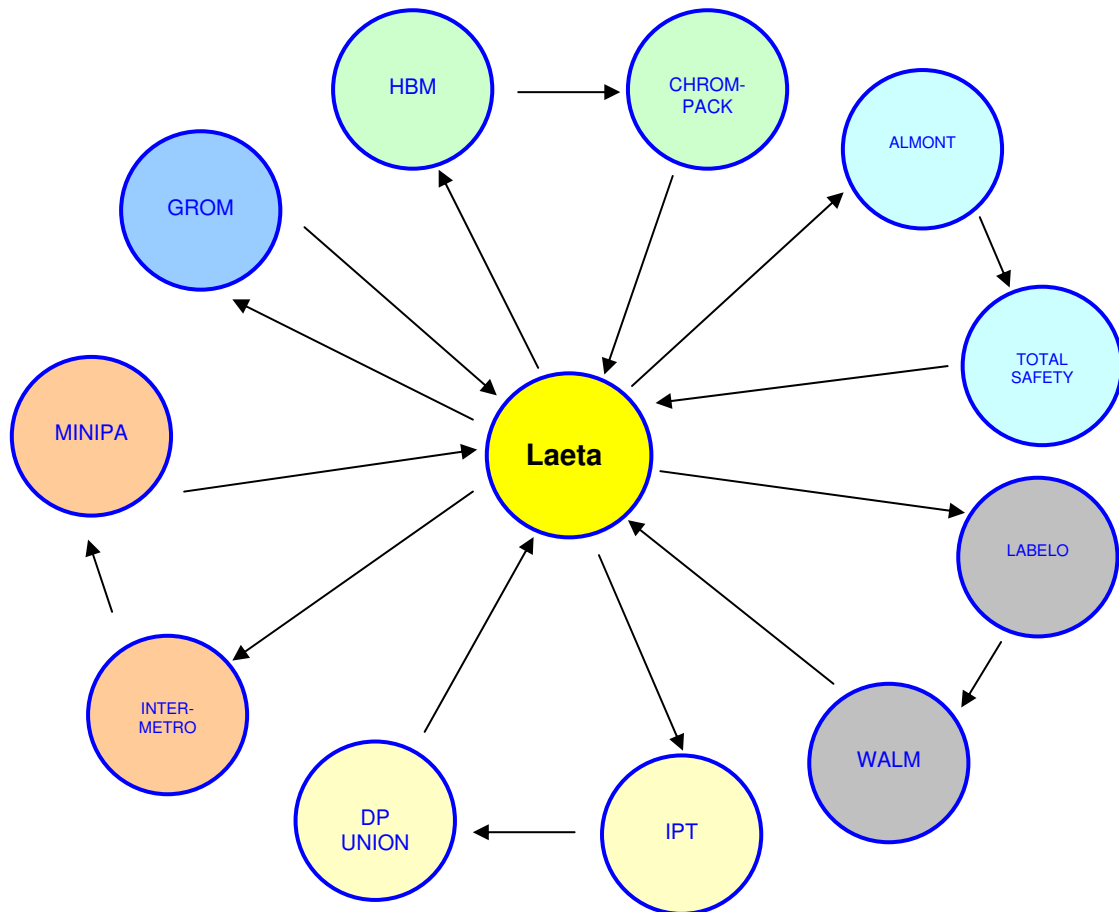


Figura 1: Seqüência de circulação dos itens de ensaio

Foi planejado que o laboratório de referência (LAETA) determinaria o valor de referência, “valor verdadeiro convencional”- VVC, de cada artefato a partir de uma série de calibrações dos itens de ensaio antes do início da circulação dos artefatos. Após essas séries de calibrações os itens de ensaio foram encaminhados ao primeiro laboratório participante, na data previamente determinada no cronograma.

Como ilustra a figura 1, o ensaio foi dividido em 6 etapas. Os itens de ensaio foram calibrados pelo LAETA sempre ao fim de cada uma das etapas, com objetivo de verificar a estabilidade dos artefatos e se os resultados dessas calibrações eram consistentes como o VVC previamente determinado.

A consistência do resultado de cada nova calibração era verificada sempre a inequação abaixo fosse verdadeira:

$$|V_{ref} - V_{NC}| \leq |I_{ref} + I_{NC}|$$

- onde
- V_{ref} Valor Verdadeiro Convencional
 - V_{NC} Valor da Nova Calibração
 - I_{ref} Incerteza do V_{ref}
 - I_{NC} Incerteza da V_{NC}

Considerando a deriva dos resultados encontrados entre as diversas calibrações realizadas no LAETA, foi decidido considerar o valor de referência para cada laboratório participante como a média das medições realizadas imediatamente antes e depois de cada uma das etapas.

5. Análise Estatística dos Resultados

Os resultados obtidos pelos laboratórios, foram comparados com os valores de referência dos itens de ensaio utilizando-se o erro normalizado (E_N) representado na equação abaixo:

$$E_N = \frac{|V_{lab} - V_{ref}|}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}}$$

- onde: V_{lab} valor obtido por determinado laboratório participante;
 V_{ref} valor obtido pelo laboratório de referência;
 U_{lab} incerteza combinada obtida pelo laboratório participante;
 U_{ref} incerteza combinada obtida pelo laboratório de referência.

6. Avaliação do Desempenho dos Laboratórios

6.1. Calibração de microfone em cavidade

A calibração de microfone em cavidade é realizada por comparação em campo de pressão, onde a referência é um microfone padrão laboratorial, calibrado por sua vez pelo método da reciprocidade em campo de pressão. A grandeza avaliada foi a sensibilidade do microfone nas bandas de frequências de 1/3 de oitavas de 31,5 Hz a 16 kHz. O comportamento do microfone durante o ensaio é mostrado na figura 2.

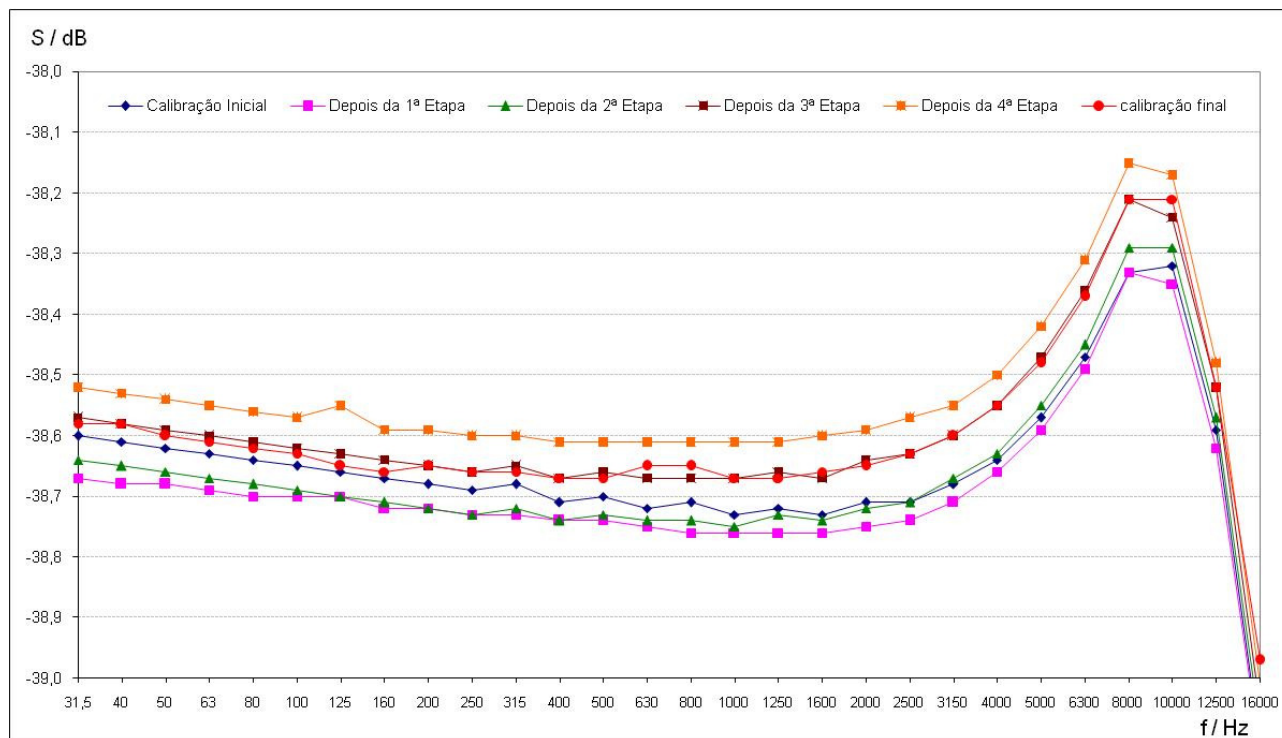


Figura 2: Resultados das calibrações do microfone em cavidade realizadas no Laeta

Os valores médios utilizados para a determinação dos erros normalizados dos laboratórios, juntamente com as respectivas estimativas das incertezas de medição associadas são apresentados na tabela 1. Os valores de referência, juntamente com as respectivas incertezas de medição associadas da tabela 1, foram determinados a partir das médias das calibrações realizadas no Laeta antes e depois da etapa específica da participação dos laboratórios .

Tabela 1 – Valores de referência utilizados para a determinação dos erros normalizados

Frequência Hz	Sensibilidade média utilizada dB	U dB
31,5	-38,61	0,15
40	-38,60	0,13
50	-38,59	0,13
63	-38,60	0,12
80	-38,60	0,12
100	-38,59	0,12
125	-38,59	0,12
160	-38,59	0,12
200	-38,59	0,12
250	-38,59	0,12
315	-38,60	0,12
400	-38,60	0,12
500	-38,60	0,12
630	-38,60	0,13
800	-38,60	0,13
1000	-38,60	0,13
1250	-38,60	0,13
1600	-38,59	0,13
2000	-38,59	0,13
2500	-38,57	0,13
3150	-38,55	0,13
4000	-38,52	0,13
5000	-38,49	0,13
6300	-38,41	0,13
8000	-38,37	0,14
10000	-38,32	0,14
12500	-38,35	0,16
16000	-38,78	0,21

Os erros normalizados obtidos são mostrados na figura 3.

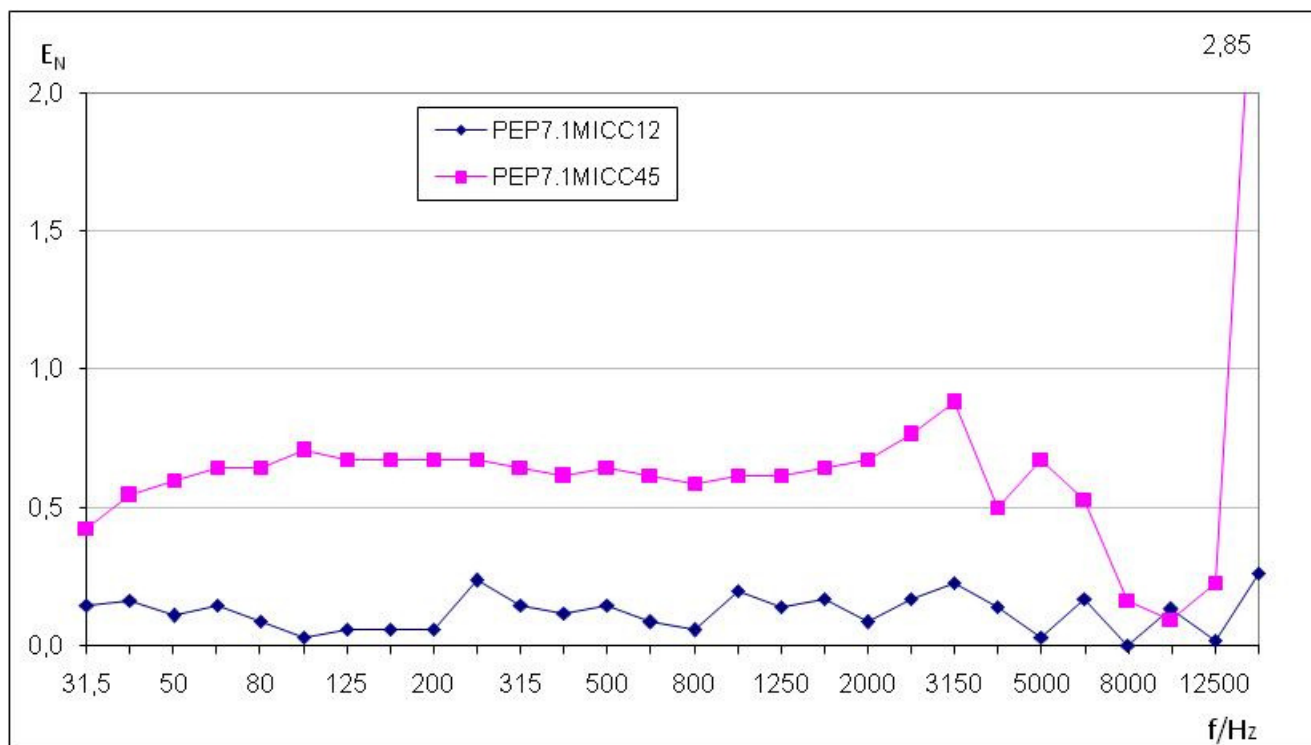


Figura 3: Valores do erro normalizado E_N para a calibração de microfone em cavidade

Nenhum laboratório participante informou se houve a aplicação de qualquer tipo de correção nos dados apresentados.

6.2. Calibração de Microfone em Atuador Eletrostático

Nesta calibração, a resposta em frequência do microfone é determinada com a utilização do atuador eletrostático, enquanto sua sensibilidade é obtida por comparação com um microfone padrão laboratorial, calibrado por sua vez pelo método da calibração por reciprocidade em campo de pressão ou pela aplicação de um calibrador de nível sonoro padrão laboratorial. A grandeza avaliada neste programa foi a sensibilidade do microfone nas bandas de frequências de 1/3 de oitavas de 25 Hz a 16 kHz.

O acompanhamento do padrão durante o programa demonstrou uma boa estabilidade em sua sensibilidade, sendo encontrada uma deriva de 0,18 dB para uma incerteza de medição associada ao método estimada entre 0,2 dB e 0,5 dB.

Ainda assim, para efeitos de determinação dos erros normalizados, foi utilizado o critério geral de utilizar-se como valor verdadeiro convencional (VVC) a média entre as duas medições realizadas no laboratório de referência imediatamente antes e depois das respectivas etapas em que os laboratórios participaram.

O comportamento do padrão durante o desenrolar do processo é mostrado na figura 4

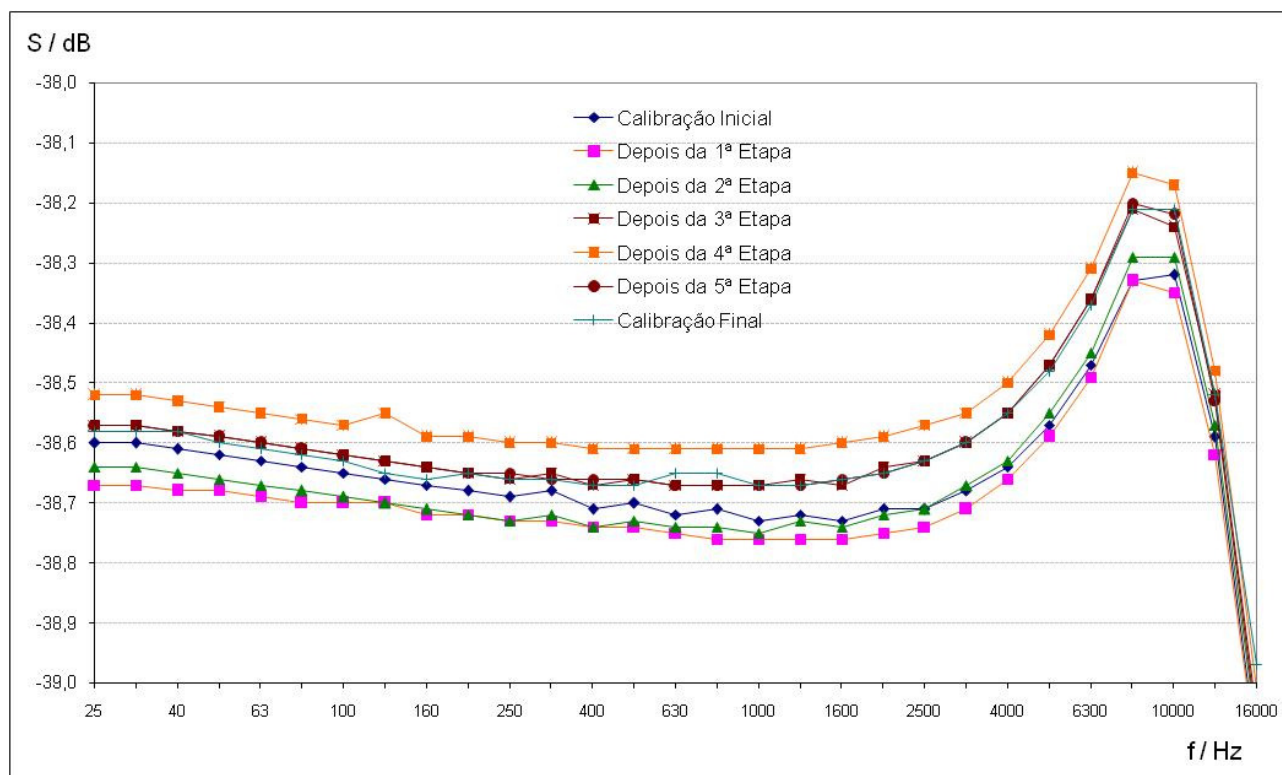


Figura 4: Resultados das calibrações do microfone em atuador eletrostático realizadas no Laeta

Os valores médios utilizados para a determinação dos erros normalizados, juntamente com as respectivas estimativas das incertezas de medição associadas são apresentados na tabela 2.

Tabela 2: Valores de referência da sensibilidade para cada etapa, juntamente com as respectivas estimativas das incertezas de medição associadas.

Frequência (Hz)	1ª. Etapa (dB)	2ª. Etapa (dB)	3ª. Etapa (dB)	4ª. Etapa (dB)	5ª. Etapa (dB)	Incerteza de medição (dB)
25	-38,64	-38,66	-38,61	-38,55	-38,58	0,2
31,5	-38,64	-38,66	-38,61	-38,55	-38,58	0,2
40	-38,65	-38,67	-38,62	-38,56	-38,58	0,2
50	-38,65	-38,67	-38,63	-38,57	-38,60	0,2
63	-38,66	-38,68	-38,64	-38,58	-38,61	0,2
80	-38,67	-38,69	-38,65	-38,59	-38,62	0,2
100	-38,68	-38,70	-38,66	-38,60	-38,63	0,2
125	-38,68	-38,70	-38,67	-38,59	-38,64	0,2
160	-38,70	-38,72	-38,68	-38,62	-38,65	0,2
200	-38,70	-38,72	-38,69	-38,62	-38,65	0,2
250	-38,71	-38,73	-38,70	-38,63	-38,66	0,2
315	-38,71	-38,73	-38,69	-38,63	-38,66	0,2
400	-38,73	-38,74	-38,71	-38,64	-38,67	0,2
500	-38,72	-38,74	-38,70	-38,64	-38,67	0,2
630	-38,74	-38,75	-38,71	-38,64	-38,66	0,2
800	-38,74	-38,75	-38,71	-38,64	-38,66	0,2
1000	-38,75	-38,76	-38,71	-38,64	-38,67	0,2
1250	-38,74	-38,75	-38,70	-38,64	-38,67	0,2

1600	-38,75	-38,75	-38,71	-38,64	-38,66	0,2
2000	-38,73	-38,74	-38,68	-38,62	-38,65	0,2
2500	-38,73	-38,73	-38,67	-38,60	-38,63	0,2
3150	-38,70	-38,69	-38,64	-38,58	-38,60	0,2
4000	-38,65	-38,65	-38,59	-38,53	-38,55	0,2
5000	-38,58	-38,57	-38,51	-38,45	-38,48	0,2
6300	-38,48	-38,47	-38,41	-38,34	-38,37	0,2
8000	-38,33	-38,31	-38,25	-38,18	-38,21	0,3
10000	-38,34	-38,32	-38,27	-38,21	-38,22	0,3
12500	-38,61	-38,60	-38,55	-38,50	-38,53	0,3
16000	-39,12	-39,10	-39,07	-39,03	-39,02	0,5

Os erros normalizados obtidos são mostrados na figura 5.

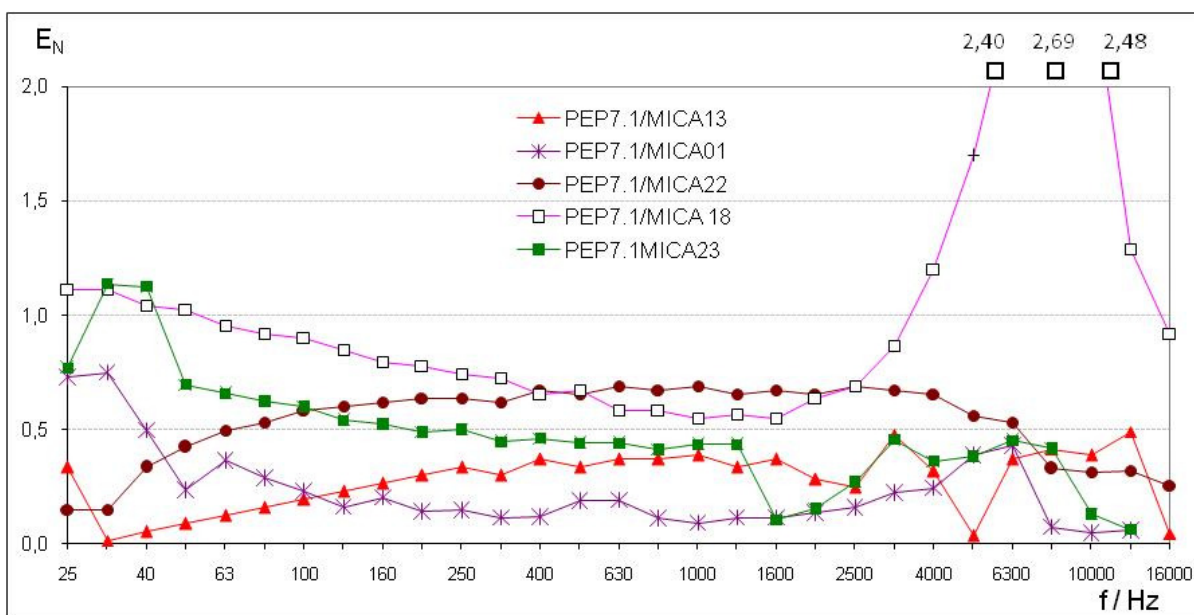


Figura 5: Valores do erro normalizado E_N para a calibração de microfones em atuador eletrostático.

6.3. Calibração de Calibrador de Nível Sonoro

A calibração de calibradores de nível sonoro é realizada com a utilização de diversos métodos, entre eles, o método da comparação com um padrão laboratorial e o método da inserção de tensão. As grandezas avaliadas neste programa foram o nível do sinal gerado, a sua frequência e a distorção harmônica total (THD). O calibrador de nível sonoro foi propositalmente desajustado na geração do nível acústico gerado.

A seguir, são apresentados os resultados encontrados para cada uma das grandezas avaliadas.

Nível

O acompanhamento do padrão durante o programa demonstrou uma excelente estabilidade em nível, sendo encontrada uma deriva de apenas 0,04 dB para uma incerteza de medição associada ao método estimada em 0,09 dB.

Ainda assim, para efeitos de determinação dos erros normalizados, foi utilizado o critério geral de utilizar-se como valor verdadeiro convencional (VVC) a média entre as duas medições realizadas no LAETA imediatamente antes e depois das respectivas etapas em que os laboratórios participaram.

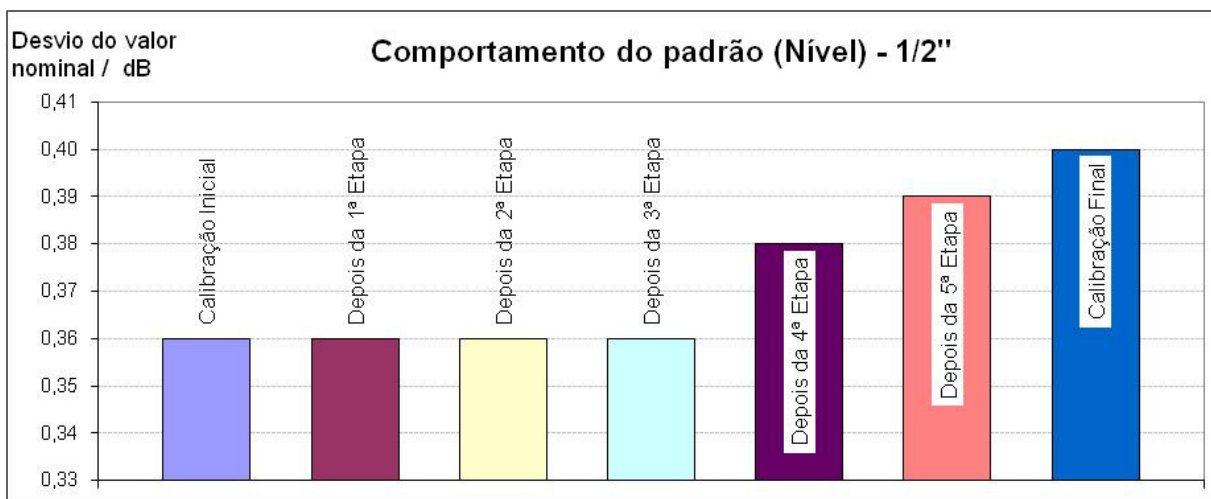


Figura 6: Resultados das calibrações em nível do CNS realizadas no Laeta (desvios do valor nominal)

Os valores de referência utilizados para a determinação dos erros normalizados, juntamente com as respectivas estimativas das incertezas de medição associadas são apresentados na tabela 3.

Tabela 3 : Valores de referência dos desvios dos níveis, para cada etapa, juntamente com as respectivas estimativas das incertezas de medição associadas

Etapa	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	U
Desvio do valor nominal dB	0,360	0,360	0,360	0,370	0,385	0,395	0,09

Os erros normalizados obtidos são mostrados na figura 7:

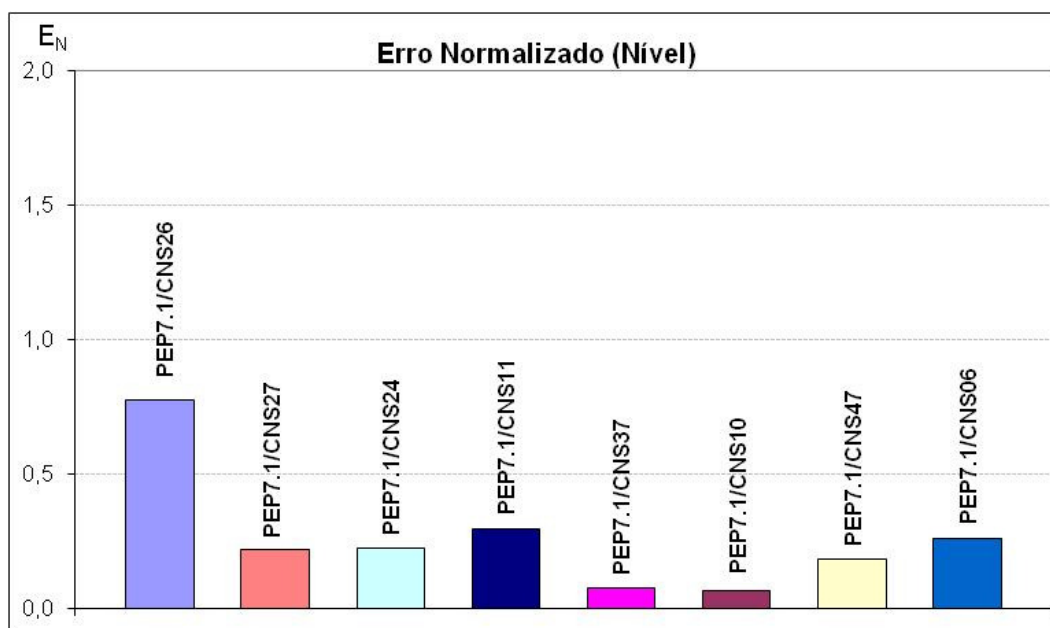


Figura 7: Valores do erro normalizado E_N para a calibração dos níveis gerados pelo CNS.

Nenhum laboratório informou se houve a aplicação de qualquer tipo de correção nos dados apresentados.

Frequência

O acompanhamento do padrão durante o programa demonstrou uma grande instabilidade em frequência, sendo encontrada uma deriva de 0,9 Hz com uma incerteza de medição associada ao método estimada em 0,2 Hz. De acordo com o critério adotado para a avaliação da frequência do sinal gerado, os resultados obtidos no Laeta não podem ser considerados consistentes para a análise dos resultados dos laboratórios participantes do EP. Assim, como o padrão se mostrou instável nas calibrações realizadas no laboratório de referência, não consta deste relatório qualquer referência aos resultados dos laboratórios em relação a medição de frequência.

Distorção harmônica total - THD

Similarmente às duas grandezas anteriormente analisadas, o acompanhamento do padrão durante o programa com respeito à distorção harmônica total demonstrou uma excelente estabilidade. Encontrou-se uma deriva de 0,1 % entre a calibração após 5ª. etapa e a última calibração, realizada após as medições do último laboratório participante no EP, como demonstrado na figura 8. A incerteza de medição associada ao método para o Laeta é estimada em 0,1 % para k=2.

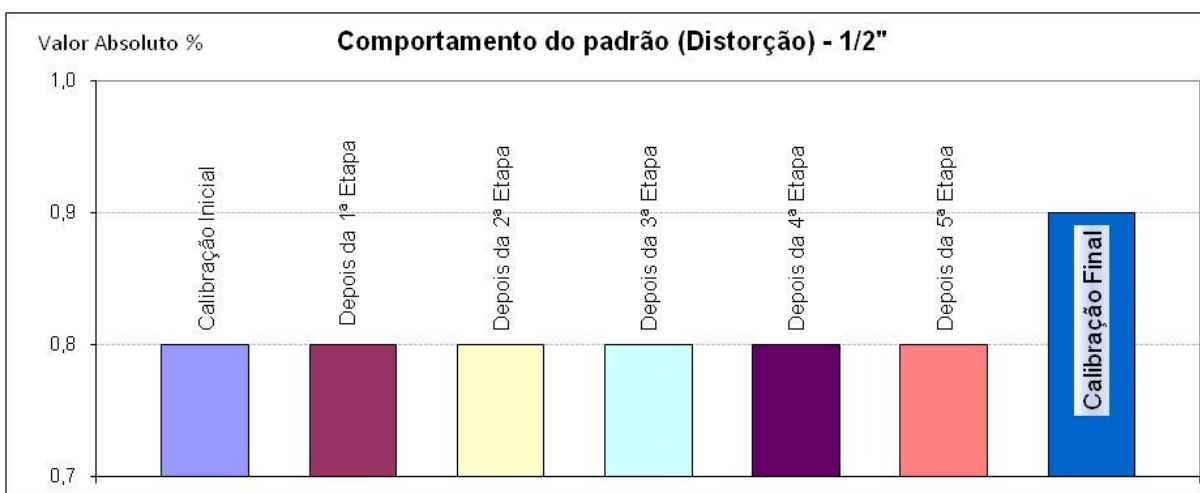


Figura 8: Resultados das calibrações do CNS em distorção harmônica realizadas no Laeta

Seguindo a metodologia de análise aplicada às duas grandezas anteriores, os valores fornecidos pelos laboratórios participantes foram confrontados com as médias obtidas no laboratório piloto nas medições realizadas imediatamente antes e depois de cada etapa e estes valores estão tabulados na tabela 4.

Tabela 4: Valores médios utilizados para a determinação dos erros normalizados para os resultados do THD, juntamente com as respectivas estimativas das incertezas de medição associadas.

Etapa	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	U
Valor absoluto %	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,85	0,1

Os erros normalizados obtidos são mostrados na figura 9.

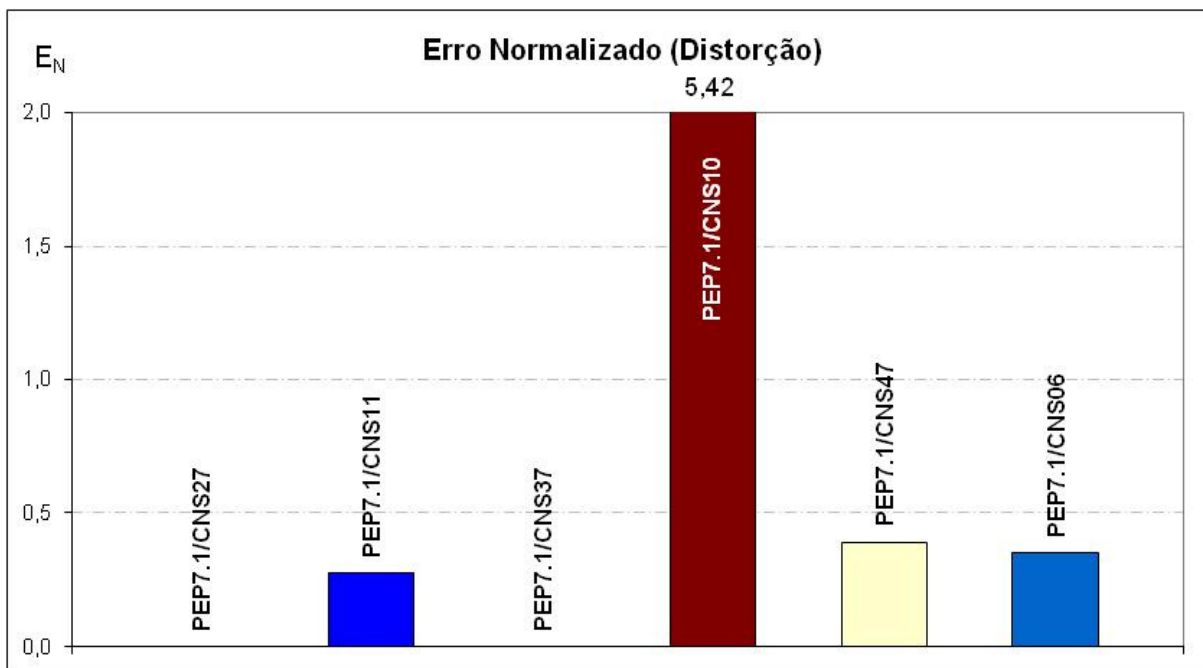


Figura 9: Valores do erro normalizado E_N para o THD, calculados a partir das médias das calibrações realizadas no Inmetro antes e depois de cada uma das etapas da circulação.

Os laboratórios PEP7.1/CNS26 e PEP7.1/CNS24 não informaram as incertezas de medição associadas para as suas medições do THD, impossibilitando a avaliação de seus resultados, sendo assim excluídos deste ensaio de proficiência para a calibração da distorção harmônica total de calibradores de nível sonoro.

6.4. Calibração de Medidor de Nível Sonoro

A calibração de medidores de nível sonoro de acordo com as normas de referência é realizada pela aplicação de determinados sinais elétricos definidos nas normas e a confrontação dos resultados obtidos com as tolerâncias fornecidas nas normas.

A seguir, serão apresentados os resultados encontrados para cada uma das grandezas avaliadas.

Linearidade

Por uma questão especial que será elucidada no tópico Principais problemas detectados, a análise dos dados fornecidos pelos laboratórios se restringiu, para este parâmetro, à faixa de níveis de 124 dB a 34 dB. Nesta faixa, foi detectada uma boa repetibilidade dos desvios de linearidade encontrados, conforme pode ser visualizado na figura 10.

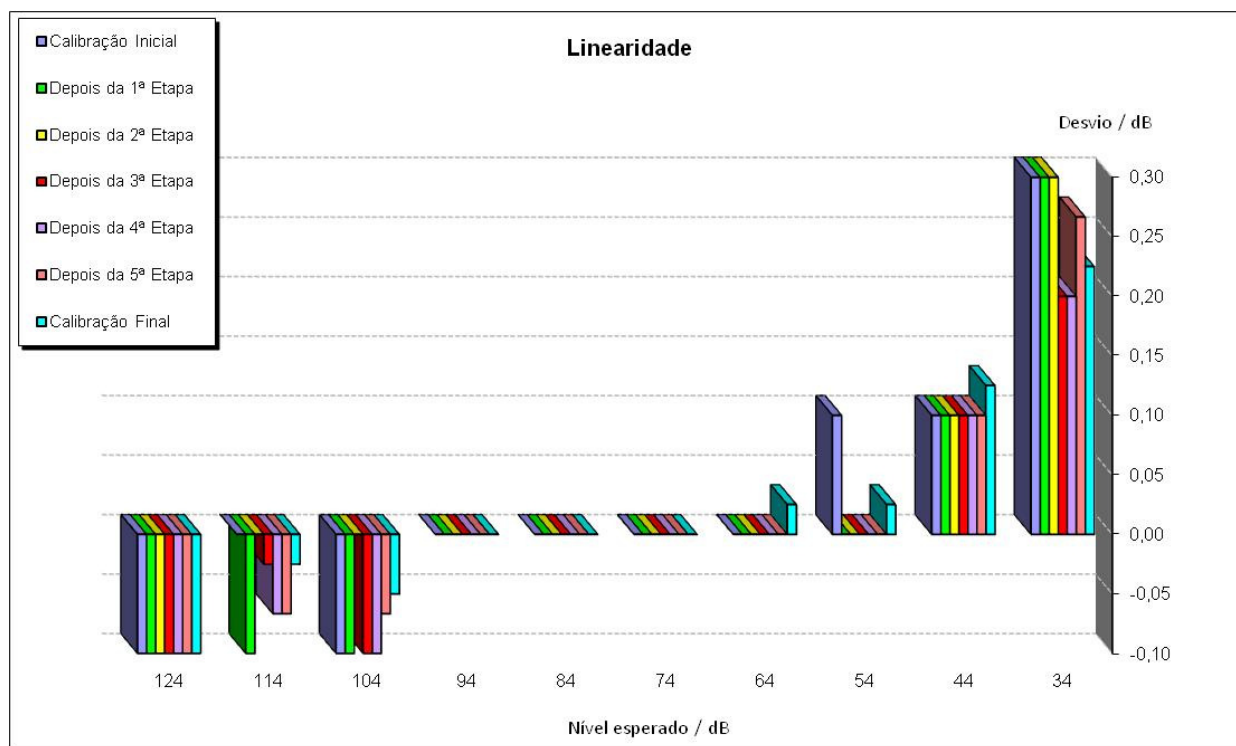


Figura 10: Comportamento da linearidade do MNS

Ainda assim, para efeitos de determinação dos erros normalizados, foi utilizado o critério geral de utilizar-se como valor verdadeiro convencional (VVC) a média entre as duas medições realizadas no LAETA antes e depois das respectivas etapas em que os laboratórios participaram.

Os valores médios utilizados para a determinação dos erros normalizados para a linearidade, juntamente com as respectivas estimativas das incertezas de medição associadas são apresentados na tabela 5.

Tabela 5: Valores médios utilizados para a determinação dos erros normalizados para os desvios de linearidade, juntamente com as respectivas estimativas das incertezas de medição associadas

Etapa Nível esperado	1ª (dB)	2ª (dB)	3ª (dB)	4ª (dB)	5ª (dB)	6ª (dB)	U (dB)
124	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	0,1
114	-0,05	-0,05	-0,01	-0,05	-0,07	-0,05	0,1
104	-0,10	-0,05	-0,05	-0,10	-0,08	-0,06	0,1
94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,1
84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,1
74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,1
64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,1
54	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,1
44	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11	0,1
34	0,30	0,30	0,25	0,20	0,23	0,25	0,1

Os erros normalizados obtidos são mostrados na figura 11:

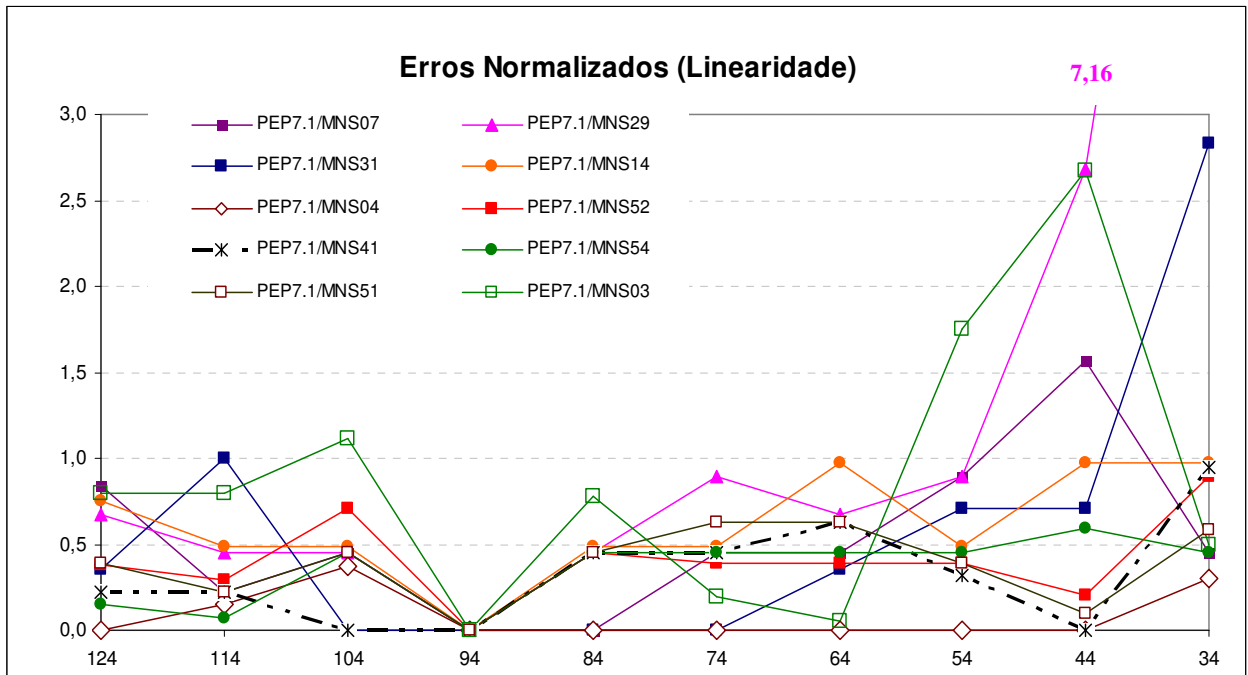


Figura 11: Valores do erro normalizado E_N para a linearidade, calculados a partir das médias das calibrações realizadas no Inmetro antes e depois de cada uma das etapas da circulação do padrão.

Ponderação A

Como para as demais grandezas avaliadas, foi realizado um acompanhamento do padrão durante o programa e os resultados podem ser visualizados na figura 12.

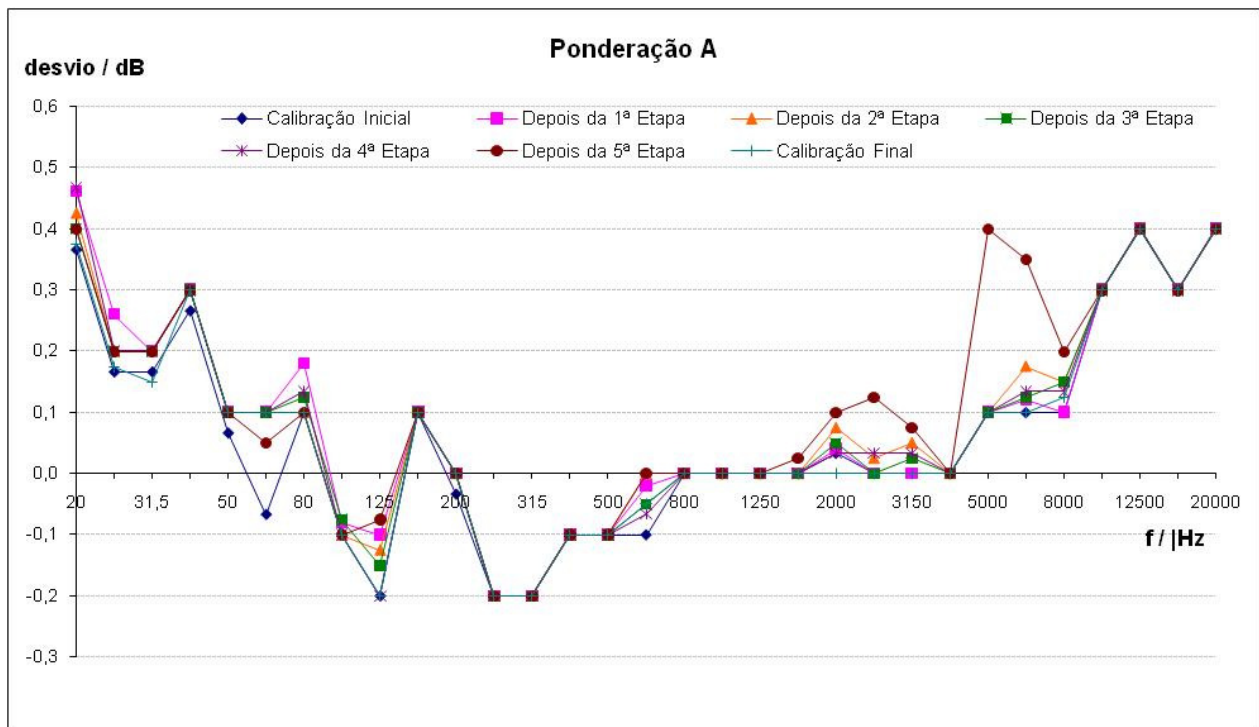


Figura 12: Comportamento da ponderação A do MNS

Os valores médios utilizados para a determinação dos erros normalizados para a ponderação A, juntamente com as respectivas estimativas das incertezas de medição associadas são apresentados na tabela 6.

Tabela 6: Valores médios utilizados para a determinação dos erros normalizados para os desvios obtidos na ponderação A, juntamente com as respectivas estimativas das incertezas de medição associadas

Etapa Freq. (Hz)	1ª (dB)	2ª (dB)	3ª (dB)	4ª (dB)	5ª (dB)	6ª (dB)	U (dB)
20	0,41	0,44	0,41	0,43	0,43	0,39	0,2
25	0,21	0,23	0,20	0,20	0,20	0,19	0,2
31,5	0,18	0,20	0,20	0,20	0,20	0,17	0,2
40	0,28	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,2
50	0,08	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,2
63	0,02	0,10	0,10	0,10	0,08	0,08	0,2
80	0,14	0,14	0,11	0,13	0,12	0,10	0,2
100	-0,09	-0,09	-0,09	-0,09	-0,10	-0,10	0,2
125	-0,15	-0,11	-0,14	-0,18	-0,14	-0,14	0,2
160	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,2
200	-0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
250	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20	0,2
315	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20	0,2
400	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	0,2
500	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	0,2
630	-0,06	-0,01	-0,02	-0,06	-0,03	-0,02	0,2
800	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
1000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
1250	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
1600	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,2
2000	0,04	0,06	0,06	0,04	0,07	0,05	0,2
2500	0,00	0,01	0,01	0,02	0,08	0,06	0,2
3150	0,00	0,03	0,04	0,03	0,05	0,04	0,2
4000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
5000	0,10	0,10	0,10	0,10	0,25	0,25	0,2
6300	0,11	0,15	0,15	0,13	0,24	0,22	0,2
8000	0,10	0,12	0,15	0,14	0,17	0,16	0,2
10000	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,2
12500	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,2
16000	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,2
20000	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,2

Os erros normalizados obtidos com a utilização dos dados fornecidos pelos laboratórios e a utilização da média associada à etapa em que o laboratório participou são representados na figura 13.

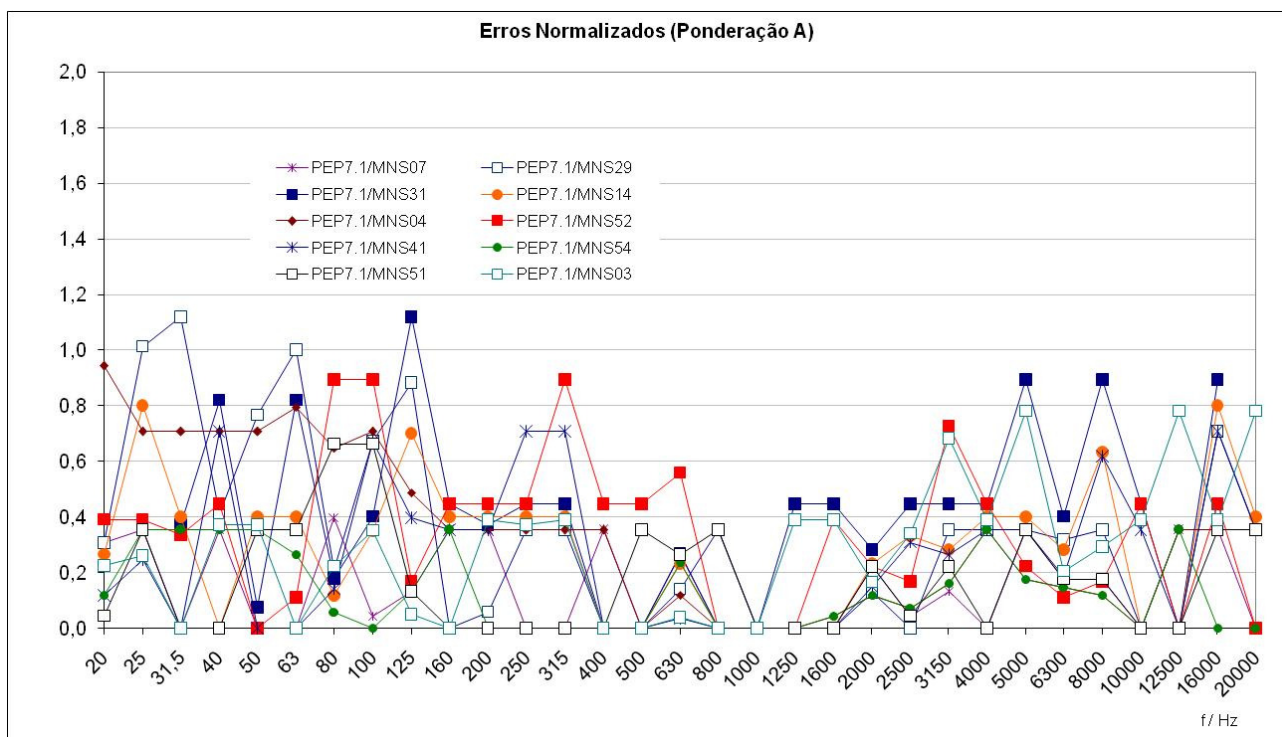


Figura 13: Valores do erro normalizado E_N para a ponderação A, calculados a partir das médias das calibrações realizadas no Inmetro antes e depois de cada uma das etapas da circulação.

O laboratório PEP7.1/MNS31 realizou as calibrações na faixa de 31,5 Hz a 16 kHz. Por questões técnicas (limitação do editor de gráficos) os valores apresentados para este laboratório nas frequências de 20 Hz e 25 Hz devem portanto ser ignorados.

Ponderação C

Similarmente à análise dos resultados para caso anterior, o comportamento do padrão para a ponderação C pode ser visualizado na figura 14.

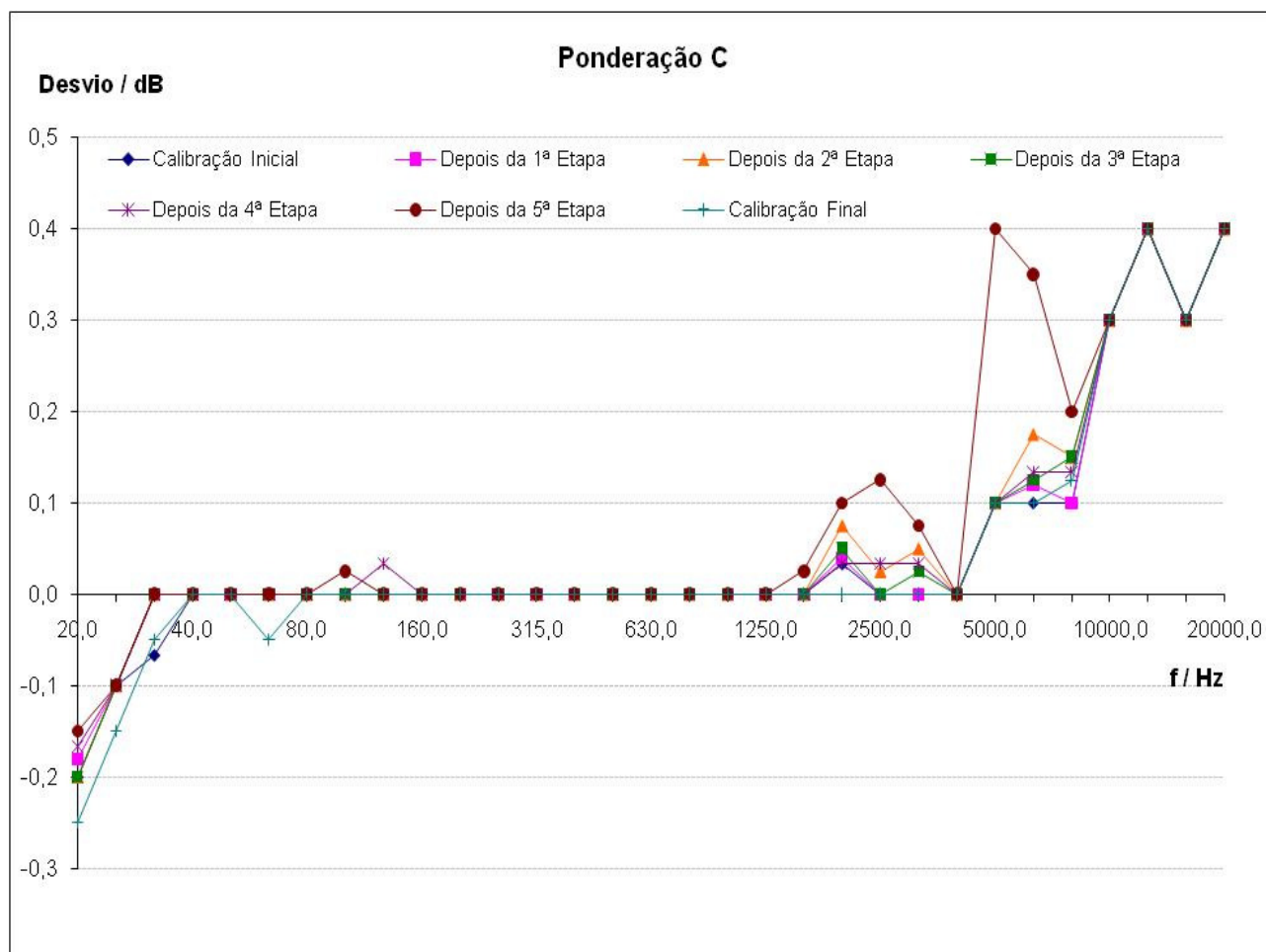


Figura 14: Comportamento da ponderação A do MNS

Os valores médios utilizados para a determinação dos erros normalizados para a ponderação C, juntamente com as respectivas estimativas das incertezas de medição associadas são apresentados na tabela 7.

Tabela 7: Valores médios utilizados para a determinação dos erros normalizados para os desvios obtidos na ponderação C, juntamente com as respectivas estimativas das incertezas de medição associadas

Etapa Freq. (Hz)	1ª (dB)	2ª (dB)	3ª (dB)	4ª (dB)	5ª (dB)	6ª (dB)	U (dB)
20	-0,19	-0,19	-0,20	-0,18	-0,16	-0,20	0,2
25	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,13	0,2
31,5	-0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,03	0,2
40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,02	0,2
80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,2
125	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,2
160	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
200	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
250	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
315	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2

400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
500	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
630	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
800	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
1000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
1250	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
1600	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,2
2000	0,04	0,06	0,06	0,04	0,07	0,05	0,2
2500	0,00	0,01	0,01	0,02	0,08	0,06	0,2
3150	0,00	0,03	0,04	0,03	0,05	0,04	0,2
4000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
5000	0,10	0,10	0,10	0,10	0,25	0,25	0,2
6300	0,11	0,15	0,15	0,13	0,24	0,22	0,2
8000	0,10	0,12	0,15	0,14	0,17	0,16	0,2
10000	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,2
12500	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,2
16000	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,2
20000	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,2

Os erros normalizados obtidos com a utilização dos dados fornecidos pelos laboratórios e a utilização da média associada à etapa em que o laboratório participou são representados na figura 15.

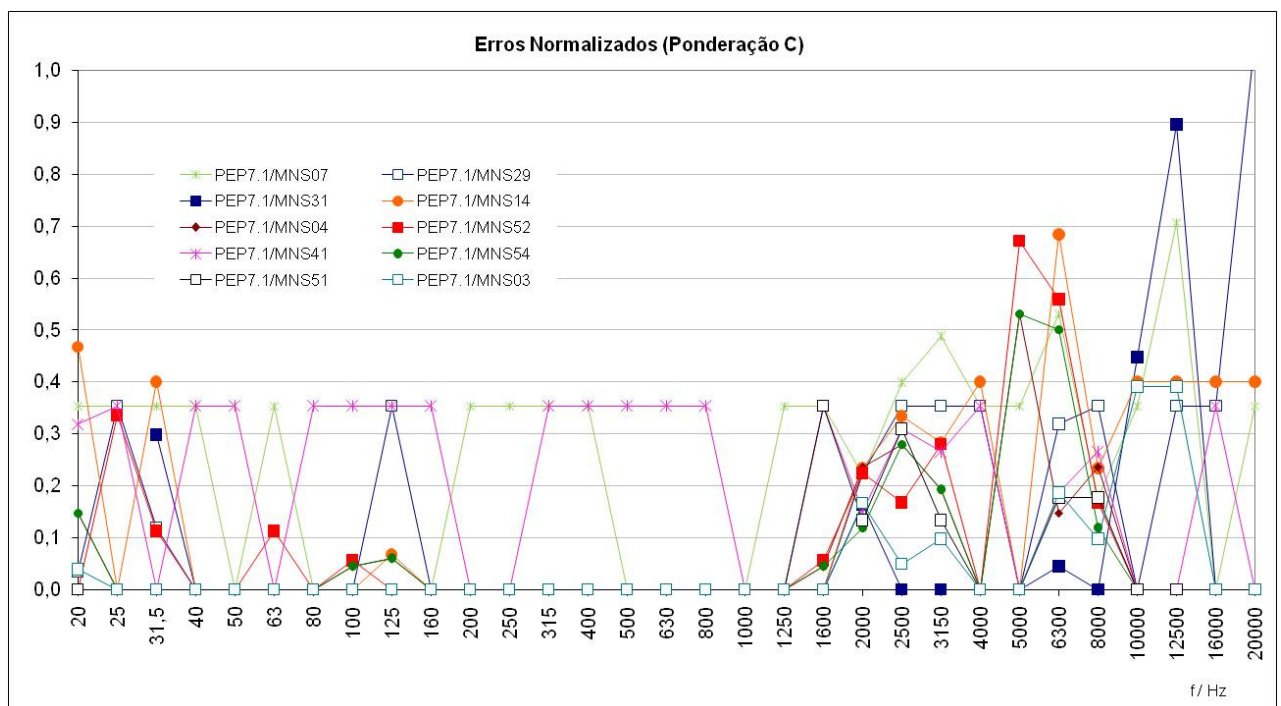


Figura 15: Valores do erro normalizado E_N para a ponderação C, calculados a partir das médias das calibrações realizadas no Inmetro antes e depois de cada uma das etapas da circulação.

O laboratório PEP7.1/MNS31 realizou as calibrações na faixa de 31,5 Hz a 16 kHz. Por questões técnicas (limitação do editor de gráficos) os valores apresentados para este laboratório nas frequências de 20 Hz e 25 Hz devem portanto ser ignorados.

Ponderação Linear

Similarmente à análise dos resultados para os casos anteriores, o comportamento do padrão para a ponderação linear pode ser visualizado na figura 16.

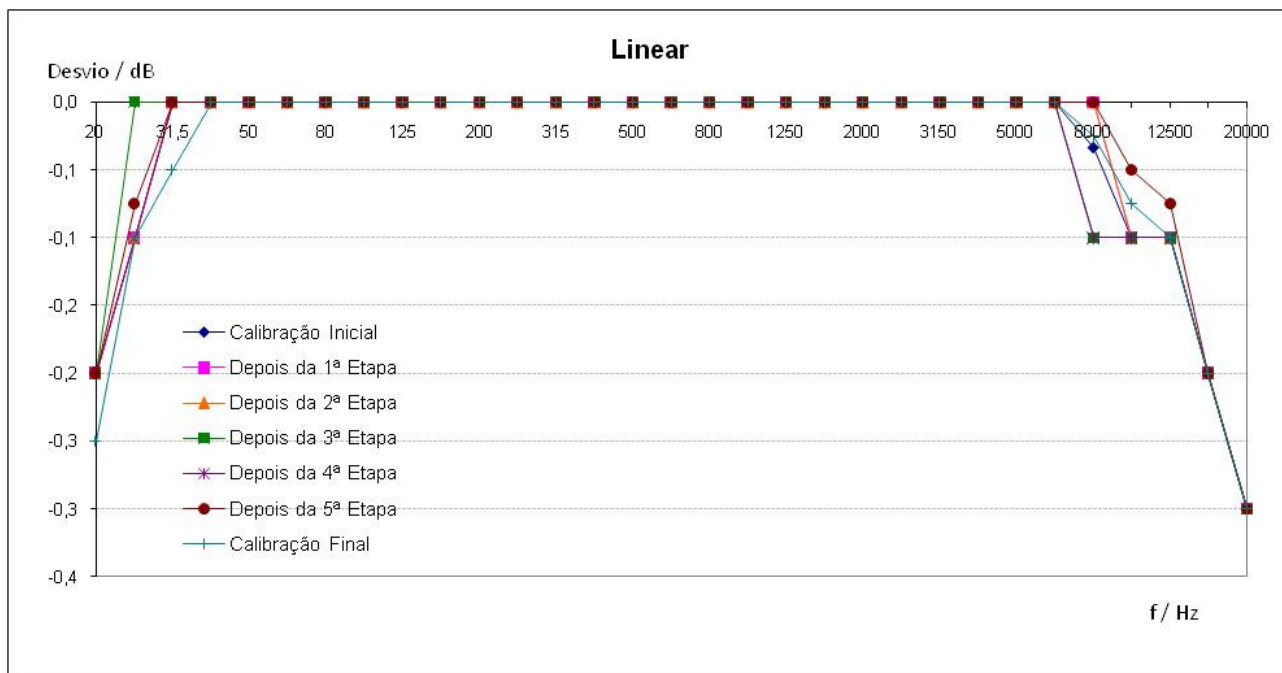


Figura 16: Comportamento da ponderação linear do MNS durante o programa de proficiência

Os valores médios utilizados para a determinação dos erros normalizados para a ponderação linear, juntamente com as respectivas estimativas das incertezas de medição associadas são apresentados na tabela 8.

Tabela 8: Valores médios utilizados para a determinação dos erros normalizados para os desvios obtidos na ponderação linear, juntamente com as respectivas estimativas das incertezas de medição associadas

Etapa Freq. (Hz)	1ª (dB)	2ª (dB)	3ª (dB)	4ª (dB)	5ª (dB)	6ª (dB)	U (dB)
20	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20	-0,23	0,2
25	-0,10	-0,10	-0,05	-0,05	-0,09	-0,09	0,2
31,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,03	0,2
40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
125	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
160	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
200	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
250	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
315	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
500	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
630	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2

800	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
1000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
1250	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
1600	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
2000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
2500	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
3150	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
4000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
5000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
6300	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
8000	-0,02	0,00	-0,05	-0,10	-0,05	-0,01	0,2
10000	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,07	-0,06	0,2
12500	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,09	-0,09	0,2
16000	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20	0,2
20000	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	0,2

Os erros normalizados obtidos com a utilização dos dados fornecidos pelos laboratórios e a utilização da média associada à etapa em que o laboratório participou são representados na figura 17.

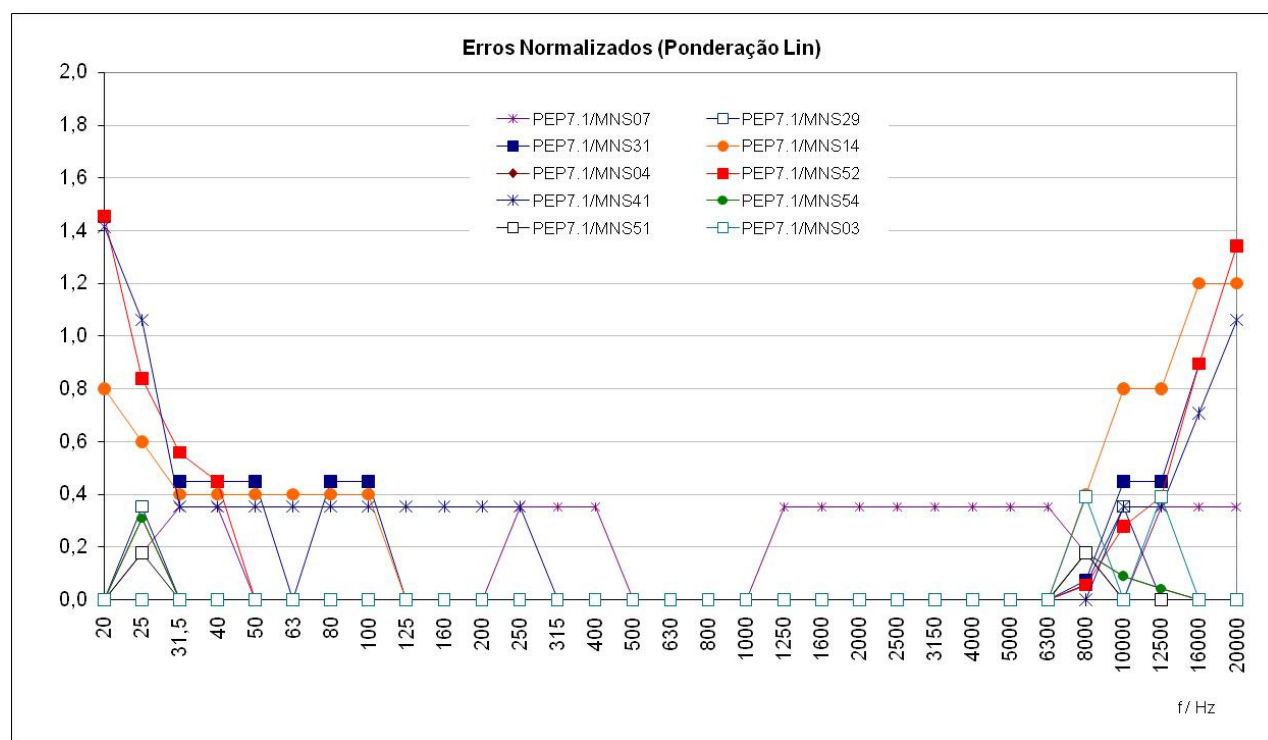


Figura 17: Valores do erro normalizado E_N para a ponderação Lin, calculados a partir das médias das calibrações realizadas no Inmetro antes e depois de cada uma das etapas da circulação

O laboratório PEP7.1/MNS31 realizou as calibrações na faixa de 31,5 Hz a 16 kHz. Por questões técnicas (limitação do editor de gráficos) os valores apresentados para este laboratório nas frequências de 20 Hz e 25 Hz devem portanto ser ignorados.

Ponderação Temporal F

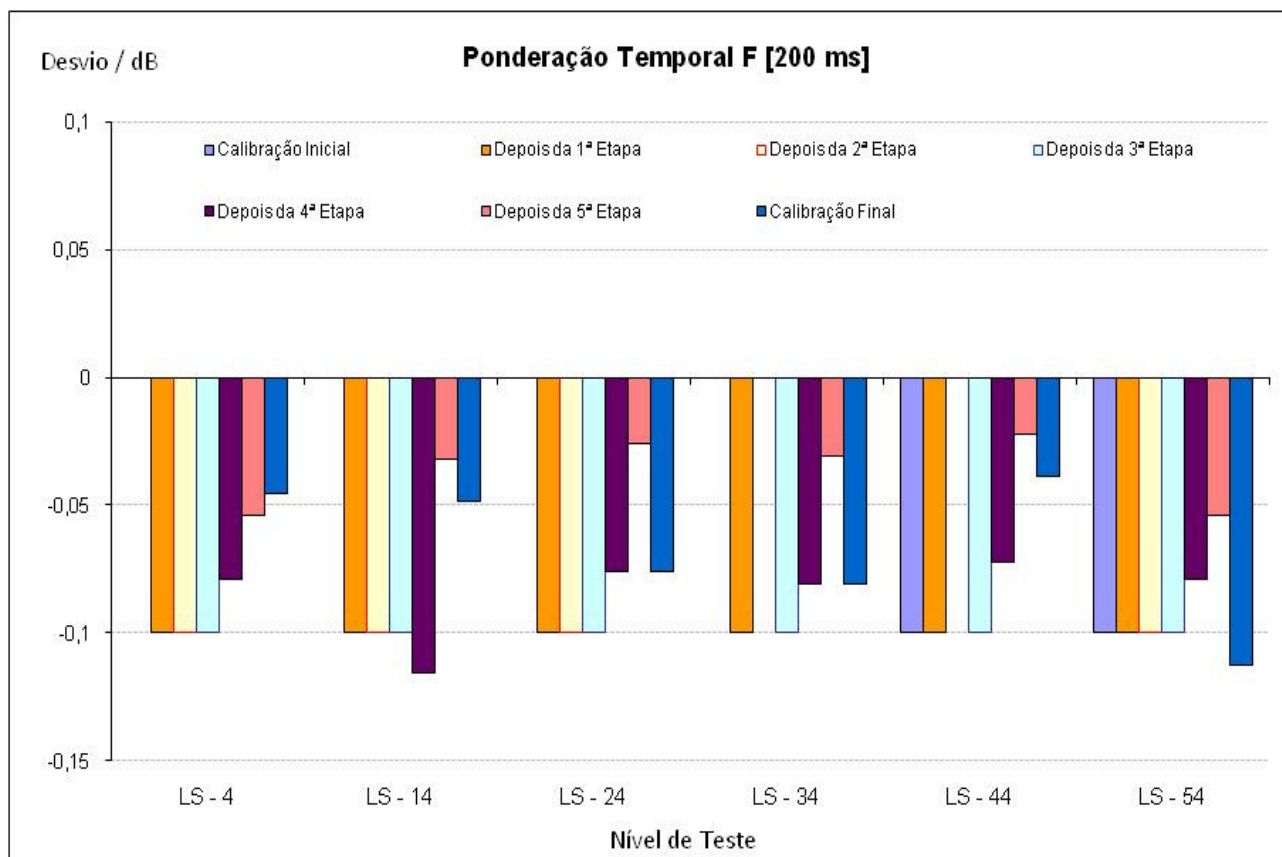


Figura 18: Comportamento da ponderação temporal F do MNS

Tabela 9: Valores médios utilizados para a determinação dos erros normalizados para os desvios obtidos na ponderação temporal F, juntamente com as respectivas estimativas das incertezas de medição associadas.

Etapa Nível de teste	1ª (dB)	2ª (dB)	3ª (dB)	4ª (dB)	5ª (dB)	6ª (dB)	U (dB)
LS - 4	-0,05	-0,10	-0,10	-0,09	-0,07	-0,05	0,2
LS - 14	-0,05	-0,10	-0,10	-0,11	-0,07	-0,04	0,2
LS - 24	-0,05	-0,10	-0,10	-0,09	-0,05	-0,05	0,2
LS - 34	-0,05	-0,05	-0,05	-0,09	-0,06	-0,06	0,2
LS - 44	-0,10	-0,05	-0,05	-0,09	-0,05	-0,03	0,2
LS - 54	-0,10	-0,10	-0,10	-0,09	-0,07	-0,08	0,2

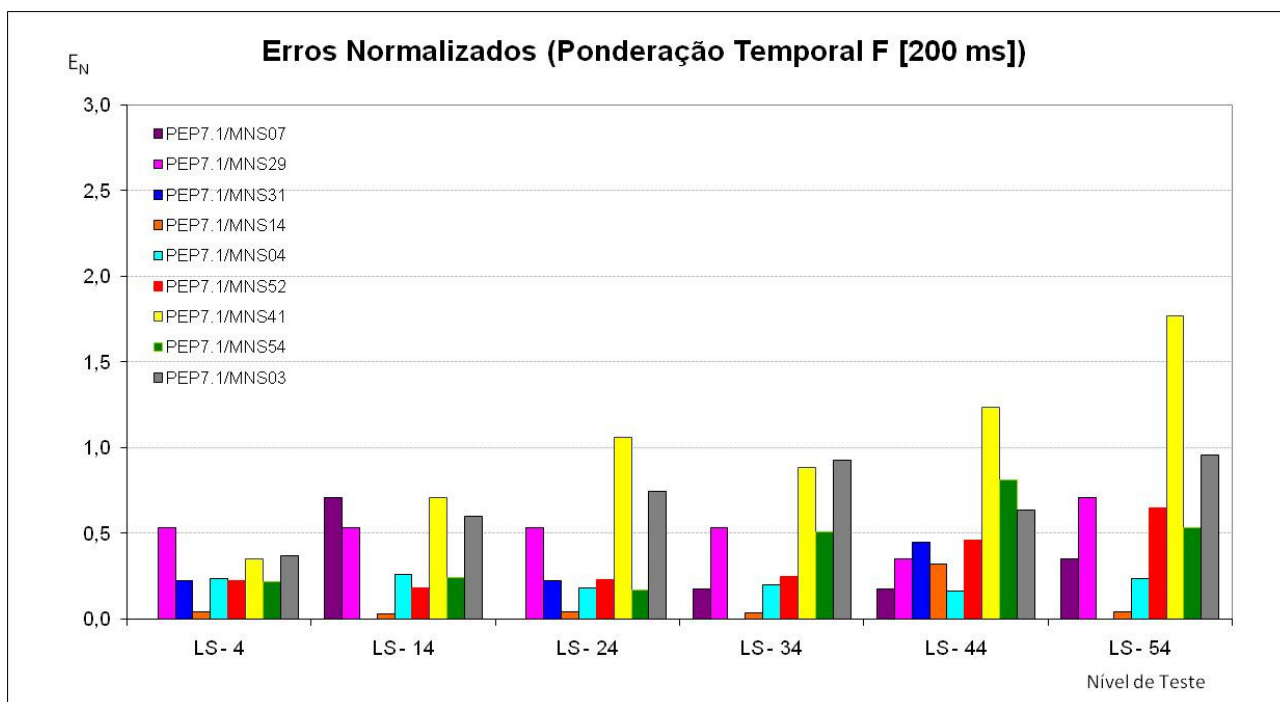


Figura 19: Valores do erro normalizado E_N para a ponderação temporal F, calculados a partir das médias das calibrações realizadas no Inmetro antes e depois de cada uma das etapas da circulação.

O laboratório PEP7.1/MNS31 não realizou as calibrações para os níveis LS-14, LS-34 e LS-54. Os valores E_N (zero) apresentados para este laboratório nestes níveis devem portanto ser ignorados.

Ponderação Temporal S

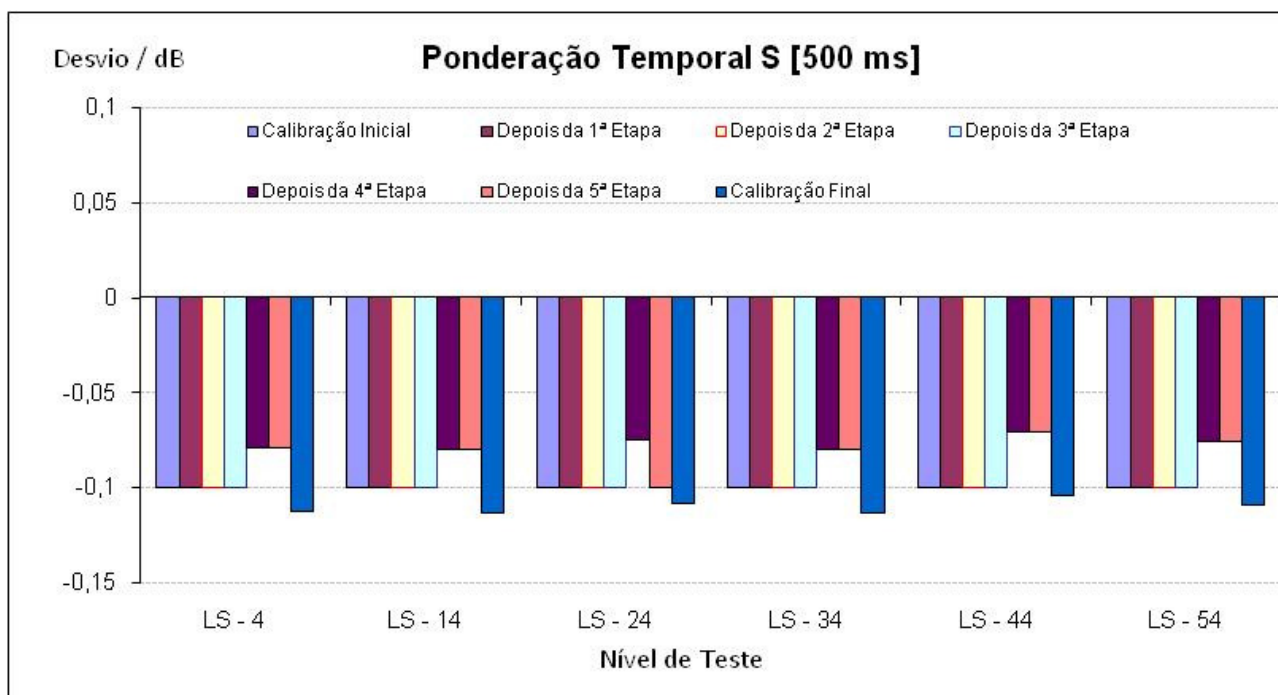


Figura 20: Comportamento da ponderação temporal S do MNS

Tabela 10: Valores médios utilizados para a determinação dos erros normalizados para os desvios obtidos na ponderação temporal S, juntamente com as respectivas estimativas das incertezas de medição associadas.

Etapa Nível de teste	1ª (dB)	2ª (dB)	3ª (dB)	4ª (dB)	5ª (dB)	6ª (dB)	U (dB)
LS - 4	-0,10	-0,10	-0,10	-0,09	-0,08	-0,10	0,2
LS - 14	-0,10	-0,10	-0,10	-0,09	-0,08	-0,10	0,2
LS - 24	-0,10	-0,10	-0,10	-0,09	-0,09	-0,10	0,2
LS - 34	-0,10	-0,10	-0,10	-0,09	-0,08	-0,10	0,2
LS - 44	-0,10	-0,10	-0,10	-0,09	-0,07	-0,09	0,2
LS - 54	-0,10	-0,10	-0,10	-0,09	-0,08	-0,09	0,2

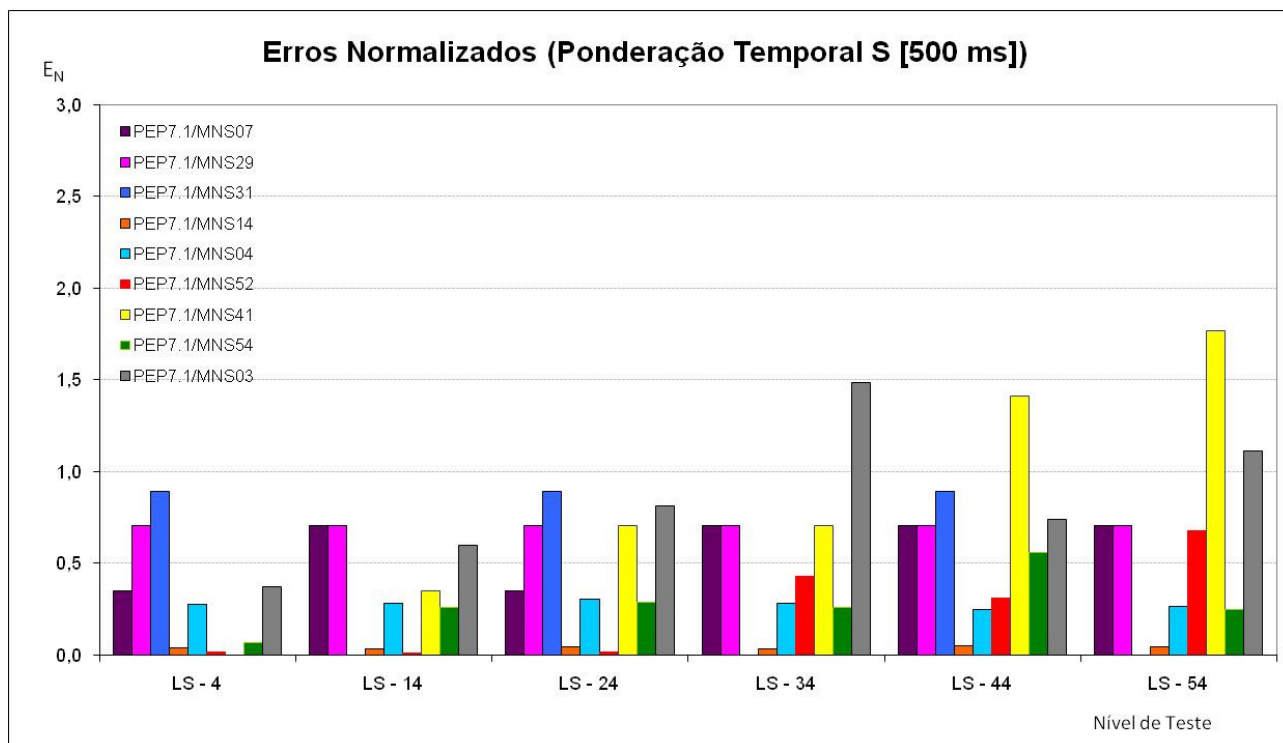


Figura 21: Valores do erro normalizado E_N para a ponderação temporal S, calculados a partir das médias das calibrações realizadas no Inmetro antes e depois de cada uma das etapas da circulação.

O laboratório PEP7.1/MNS31 não realizou as calibrações para os níveis LS-14, LS-34 e LS-54. Os valores E_N (zero) apresentados para este laboratório nestes níveis devem portanto ser ignorados.

Ponderação Temporal I (2 ms)

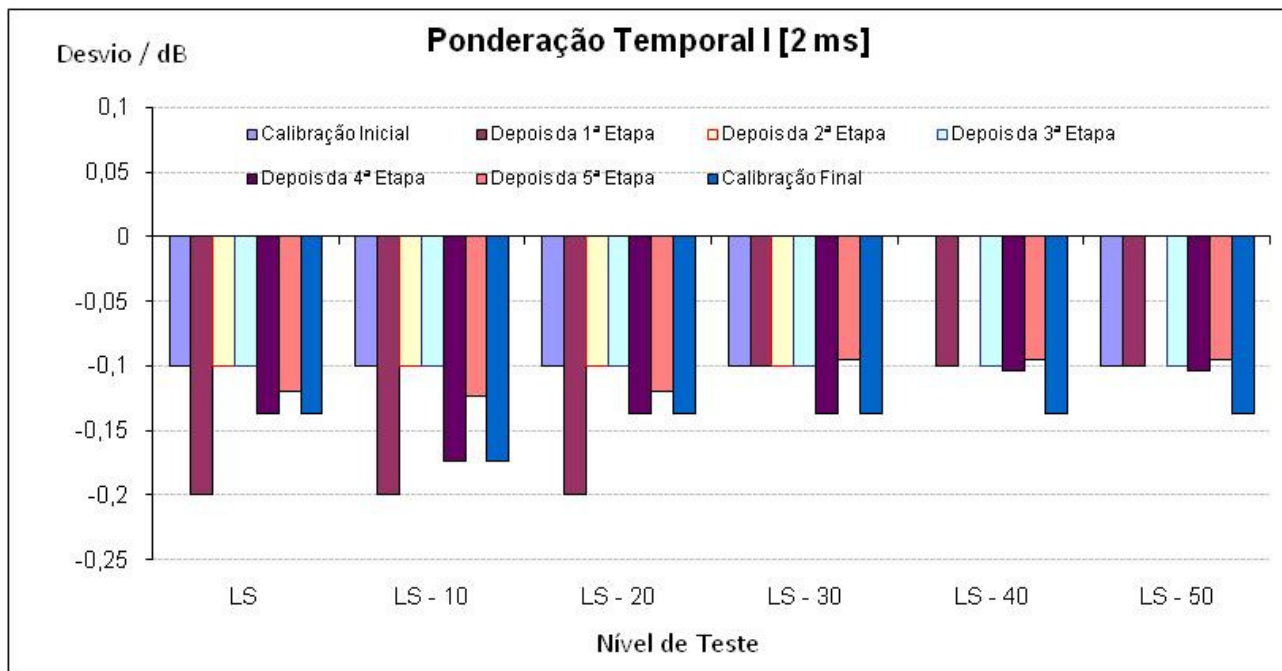


Figura 22 - Comportamento da ponderação temporal I (2 ms) do MNS

Tabela 11: Valores médios utilizados para a determinação dos erros normalizados para os desvios obtidos na ponderação temporal I (2 ms), juntamente com as respectivas estimativas das incertezas de medição associadas.

Etapa Nível de teste	1ª (dB)	2ª (dB)	3ª (dB)	4ª (dB)	5ª (dB)	6ª (dB)	U (dB)
LS - 4	-0,15	-0,15	-0,10	-0,12	-0,13	-0,13	0,2
LS - 14	-0,15	-0,15	-0,10	-0,14	-0,15	-0,15	0,2
LS - 24	-0,15	-0,15	-0,10	-0,12	-0,13	-0,13	0,2
LS - 34	-0,10	-0,10	-0,10	-0,12	-0,12	-0,12	0,2
LS - 44	-0,05	-0,05	-0,05	-0,10	-0,10	-0,12	0,2
LS - 54	-0,10	-0,05	-0,05	-0,10	-0,10	-0,12	0,2

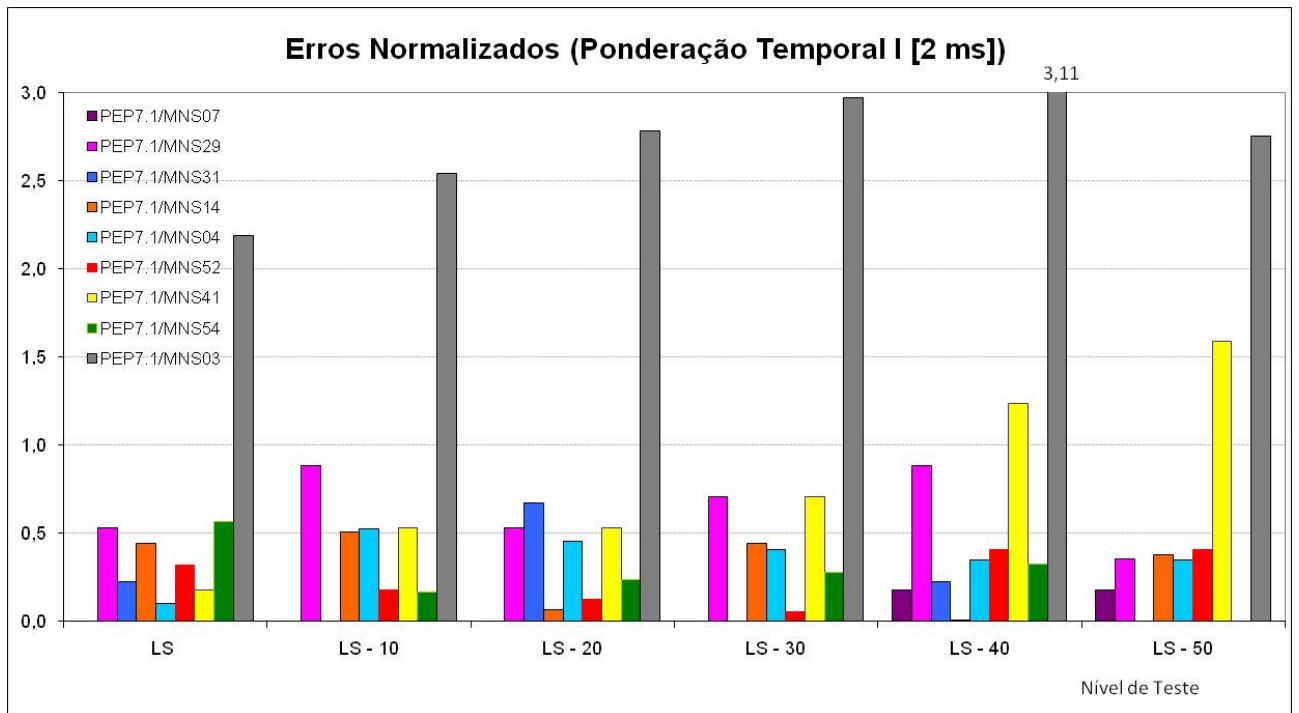


Figura 23: Valores do erro normalizado E_N para a ponderação temporal I (2 ms), calculados a partir das médias das calibrações realizadas no Inmetro antes e depois de cada uma das etapas da circulação

O laboratório PEP7.1/MNS31 não realizou as calibrações para os níveis LS-14, LS-34 e LS-54. Os valores E_N (zero) apresentados para este laboratório nestes níveis devem portanto ser ignorados.

Ponderação Temporal I (5 ms)

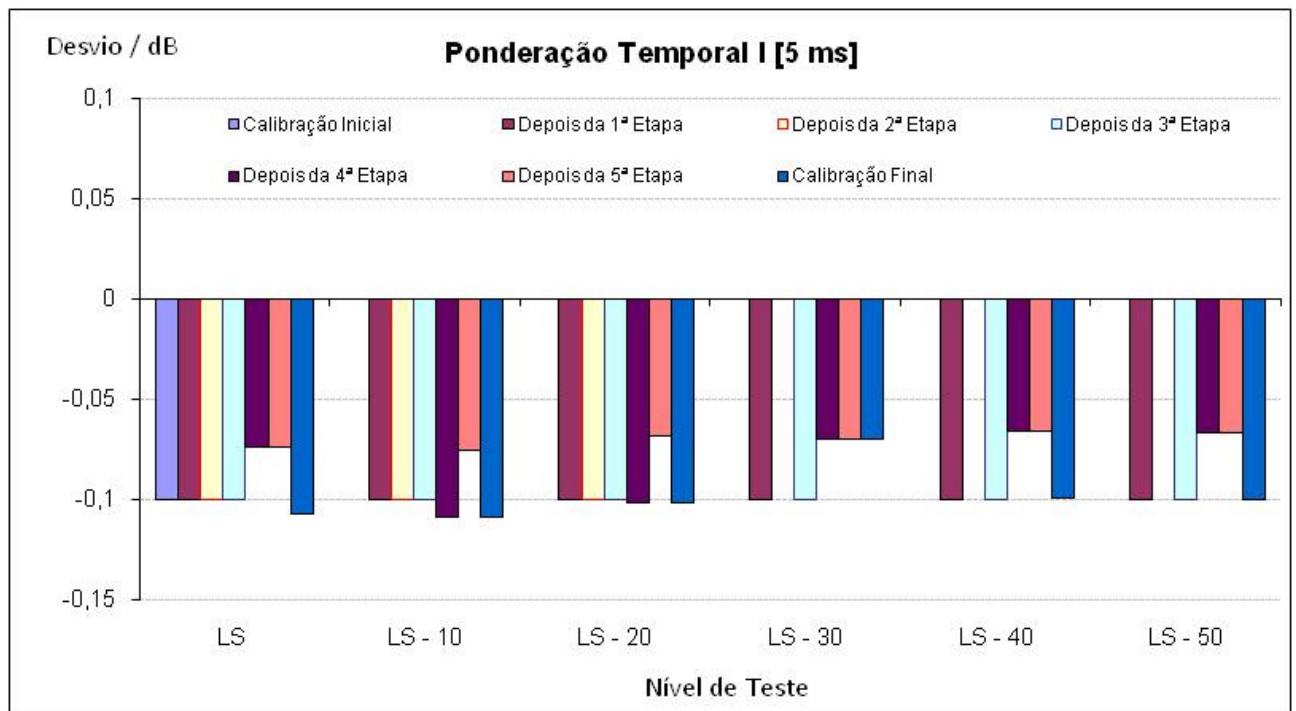


Figura 24: Comportamento da ponderação temporal I (5 ms) do MNS

Tabela 12: Valores médios utilizados para a determinação dos erros normalizados para os desvios obtidos na ponderação temporal I (5 ms), juntamente com as respectivas estimativas das incertezas de medição associadas.

Etapa Nível de teste	1ª (dB)	2ª (dB)	3ª (dB)	4ª (dB)	5ª (dB)	6ª (dB)	U (dB)
LS - 4	-0,10	-0,10	-0,10	-0,09	-0,07	-0,09	0,2
LS - 14	-0,05	-0,10	-0,10	-0,10	-0,09	-0,09	0,2
LS - 24	-0,05	-0,10	-0,10	-0,10	-0,09	-0,09	0,2
LS - 34	-0,05	-0,05	-0,05	-0,09	-0,07	-0,07	0,2
LS - 44	-0,05	-0,05	-0,05	-0,08	-0,07	-0,08	0,2
LS - 54	-0,05	-0,05	-0,05	-0,08	-0,07	-0,08	0,2

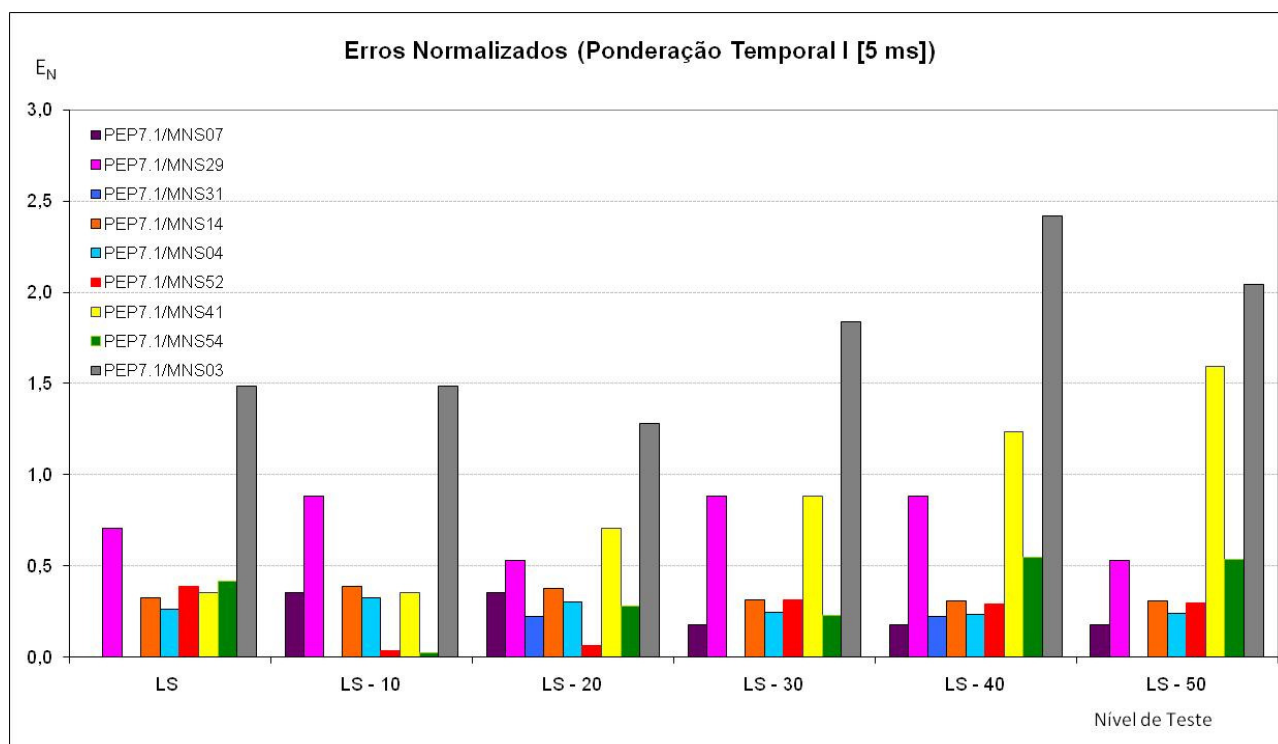


Figura 25: Valores do erro normalizado E_N para a ponderação temporal I (5 ms), calculados a partir das médias das calibrações realizadas no Inmetro antes e depois de cada uma das etapas da circulação

O laboratório PEP7.1/MNS31 não realizou as calibrações para os níveis LS-14, LS-34 e LS-54. Os valores E_N (zero) apresentados para este laboratório nestes níveis devem portanto ser ignorados.

Ponderação Temporal I (20 ms)

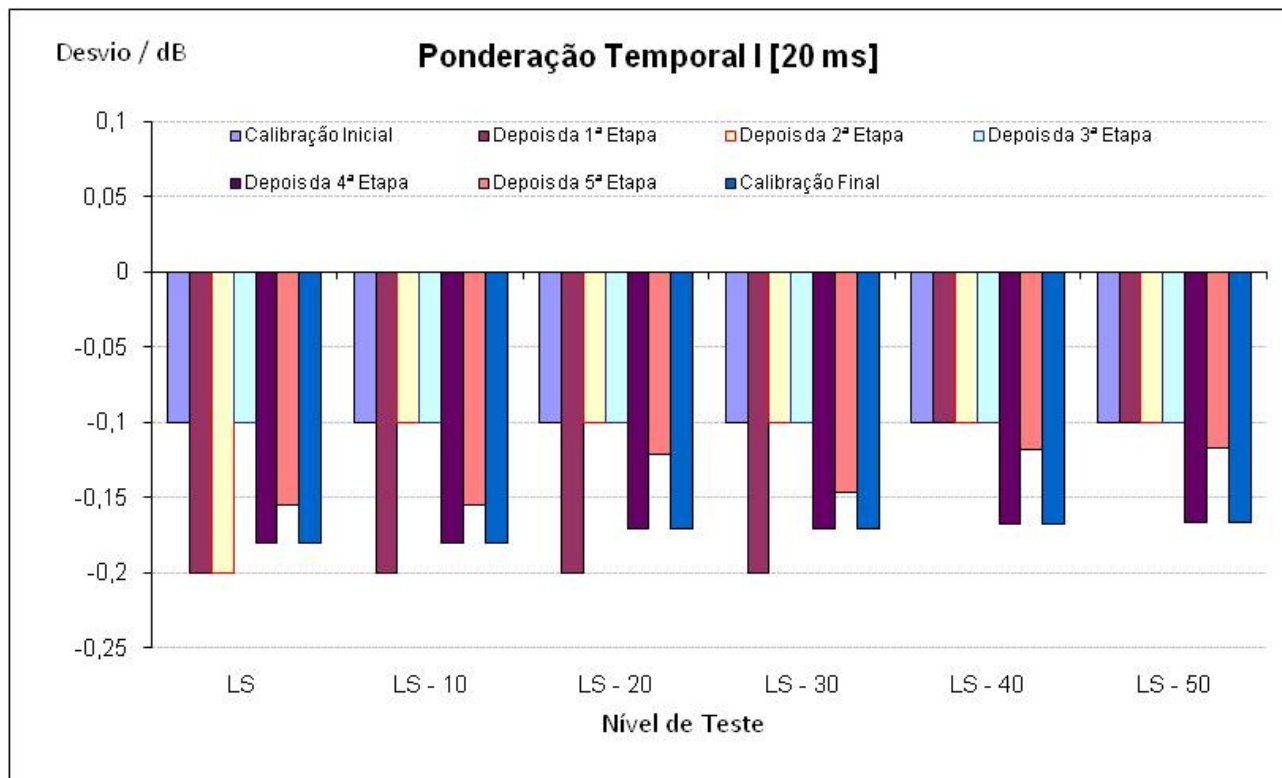


Figura 26: Comportamento da ponderação temporal I (20 ms) do MNS

Tabela 13: Valores médios utilizados para a determinação dos erros normalizados para os desvios obtidos na ponderação temporal I (20 ms), juntamente com as respectivas estimativas das incertezas de medição associadas.

Etapa Nível de teste	1ª (dB)	2ª (dB)	3ª (dB)	4ª (dB)	5ª (dB)	6ª (dB)	U (dB)
LS - 4	-0,15	-0,20	-0,15	-0,14	-0,17	-0,17	0,2
LS - 14	-0,15	-0,15	-0,10	-0,14	-0,17	-0,17	0,2
LS - 24	-0,15	-0,15	-0,10	-0,14	-0,15	-0,15	0,2
LS - 34	-0,15	-0,15	-0,10	-0,14	-0,16	-0,16	0,2
LS - 44	-0,10	-0,10	-0,10	-0,13	-0,14	-0,14	0,2
LS - 54	-0,10	-0,10	-0,10	-0,13	-0,14	-0,14	0,2

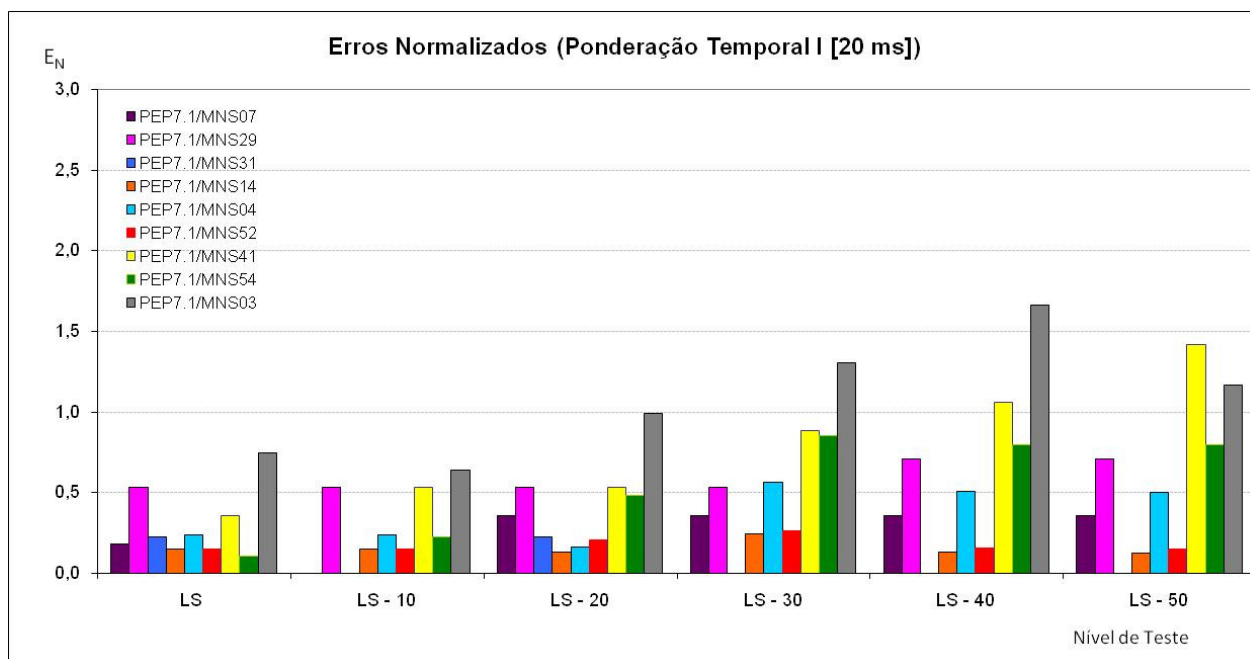


Figura 27: Valores do erro normalizado E_N para a ponderação temporal I (20 ms), calculados a partir das médias das calibrações realizadas no Inmetro antes e depois de cada uma das etapas da circulação

O laboratório PEP7.1/MNS31 não realizou as calibrações para os níveis LS-14, LS-34 e LS-54. Os valores E_N (zero) apresentados para este laboratório nestes níveis devem portanto ser ignorados.

Detector RMS

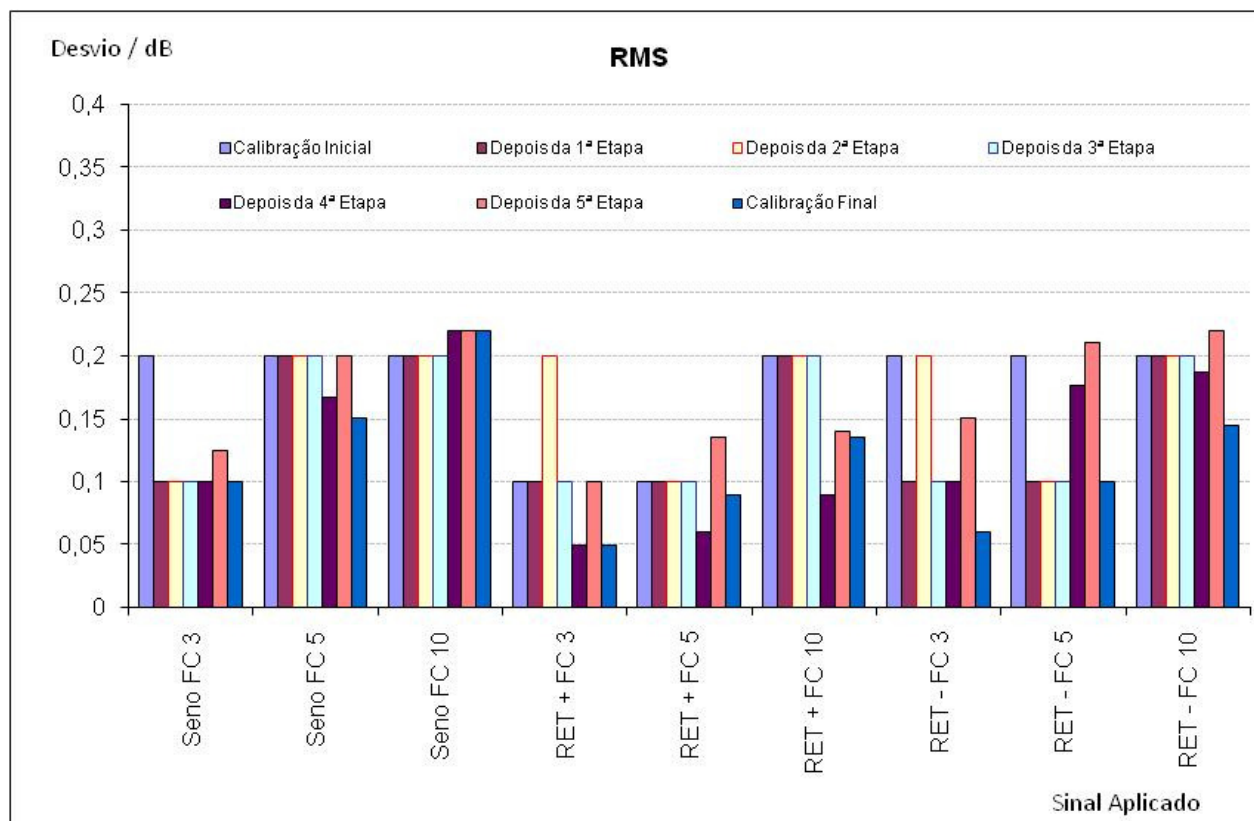


Figura 28: Comportamento do detector RMS do MNS durante o programa de proficiência

Tabela 14: Valores médios utilizados para a determinação dos erros normalizados para os desvios obtidos no detector RMS, juntamente com as respectivas estimativas das incertezas de medição associadas.

Etapa Sinal aplicado	1ª (dB)	2ª (dB)	3ª (dB)	4ª (dB)	5ª (dB)	6ª (dB)	U (dB)
Seno FC 3	0,15	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11	0,2
Seno FC 5	0,20	0,20	0,20	0,18	0,18	0,17	0,2
Seno FC 10	0,20	0,20	0,20	0,21	0,22	0,22	0,2
RET + FC 3	0,10	0,15	0,15	0,08	0,08	0,08	0,2
RET + FC 5	0,10	0,10	0,10	0,08	0,10	0,11	0,2
RET + FC 10	0,20	0,20	0,20	0,15	0,12	0,14	0,2
RET - FC 3	0,15	0,15	0,15	0,10	0,13	0,11	0,2
RET - FC 5	0,15	0,10	0,10	0,14	0,19	0,15	0,2
RET - FC 10	0,20	0,20	0,20	0,19	0,20	0,18	0,2

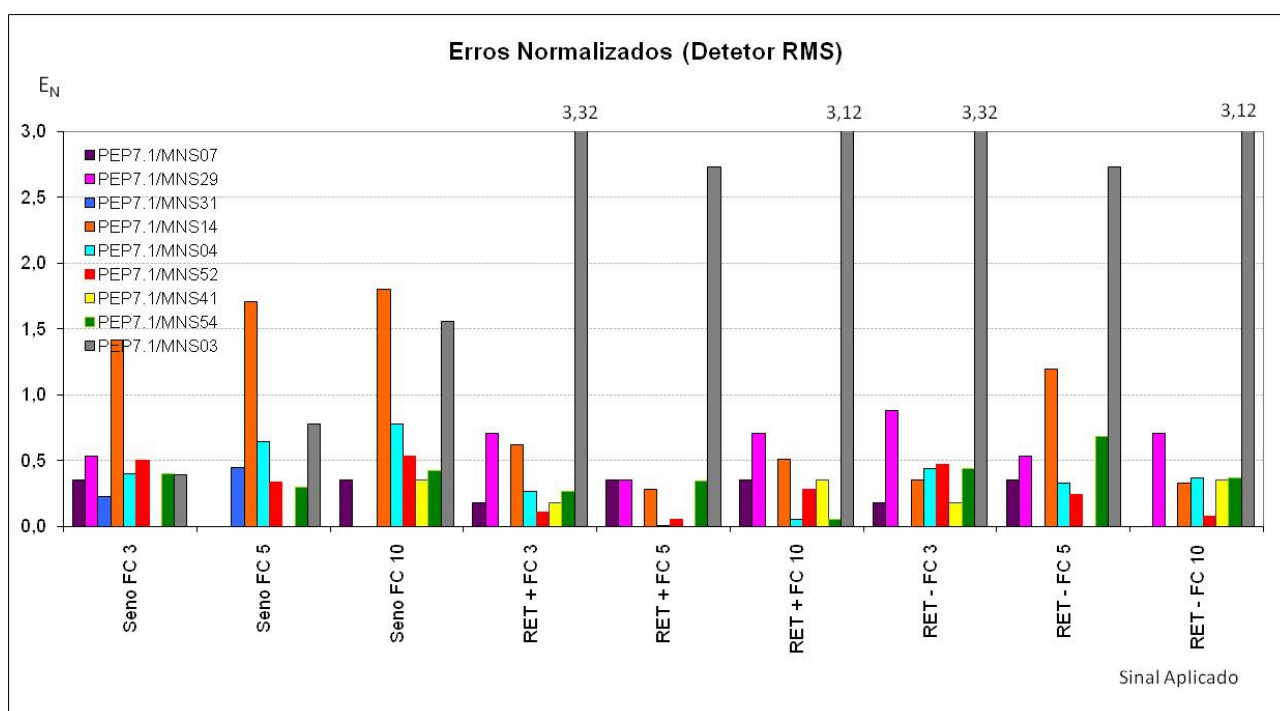


Figura 29: Valores do erro normalizado E_N para o detector RMS, calculados a partir das médias das calibrações realizadas no Inmetro antes e depois de cada uma das etapas da circulação

O laboratório PEP7.1/MNS31 não realizou as calibrações para os pulsos retangulares. Os valores E_N (zero) apresentados para este laboratório nestes níveis devem portanto ser ignorados.

Média Temporal (Leq)

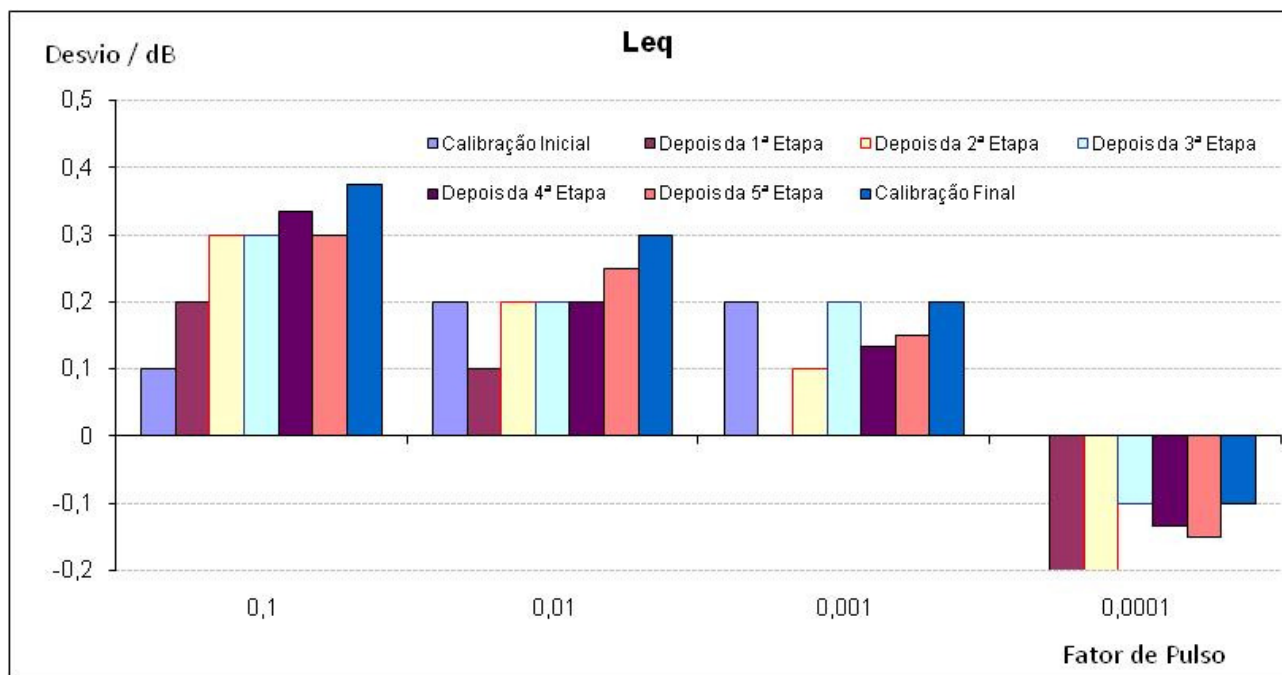


Figura 30: Comportamento do circuito de Leq do MNS

Tabela 15: Valores médios utilizados para a determinação dos erros normalizados para os desvios obtidos no circuito de Leq, juntamente com as respectivas estimativas das incertezas de medição associadas.

Etapa Fator de pulso	1ª (dB)	2ª (dB)	3ª (dB)	4ª (dB)	5ª (dB)	6ª (dB)	U (dB)
0,1	0,15	0,25	0,30	0,32	0,32	0,34	0,2
0,01	0,15	0,15	0,20	0,20	0,23	0,27	0,2
0,001	0,10	0,05	0,15	0,17	0,14	0,18	0,2
0,0001	-0,10	-0,20	-0,15	-0,12	-0,14	-0,13	0,2

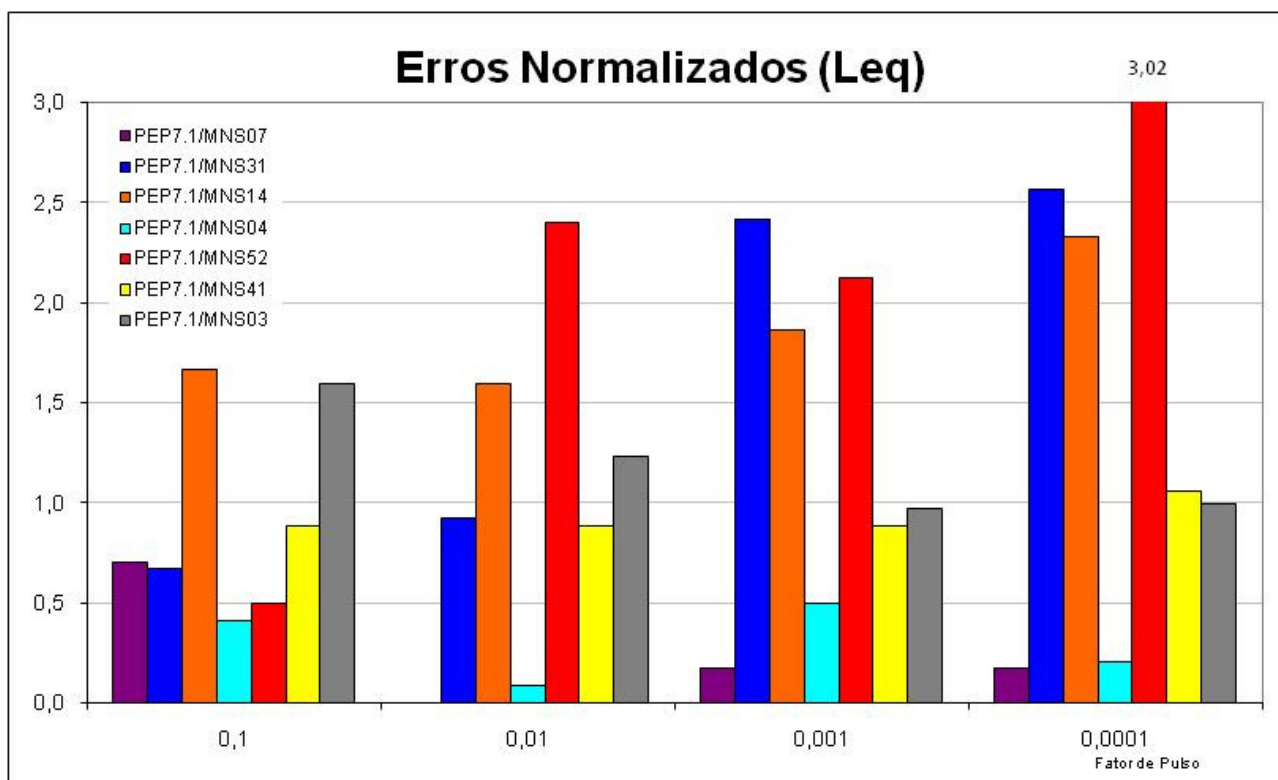


Figura 31 - Valores do erro normalizado E_N para o detector RMS, calculados a partir das médias das calibrações realizadas no Inmetro antes e depois de cada uma das etapas da circulação

6.5. Calibração de Audiódosímetro

A calibração de audiódosímetro de acordo com as normas de referência é realizada pela aplicação de determinados sinais elétricos definidos nas normas e a confrontação dos resultados obtidos com as tolerâncias fornecidas nas normas.

A seguir, serão apresentados os resultados encontrados para cada uma das grandezas avaliadas.

Linearidade

Foi detectada uma boa repetibilidade dos desvios de linearidade encontrados na faixa de 130 dB a 50 dB. Abaixo destes níveis, foram detectados desvios de até 0,72 dB, conforme pode ser visualizado na figura 32.

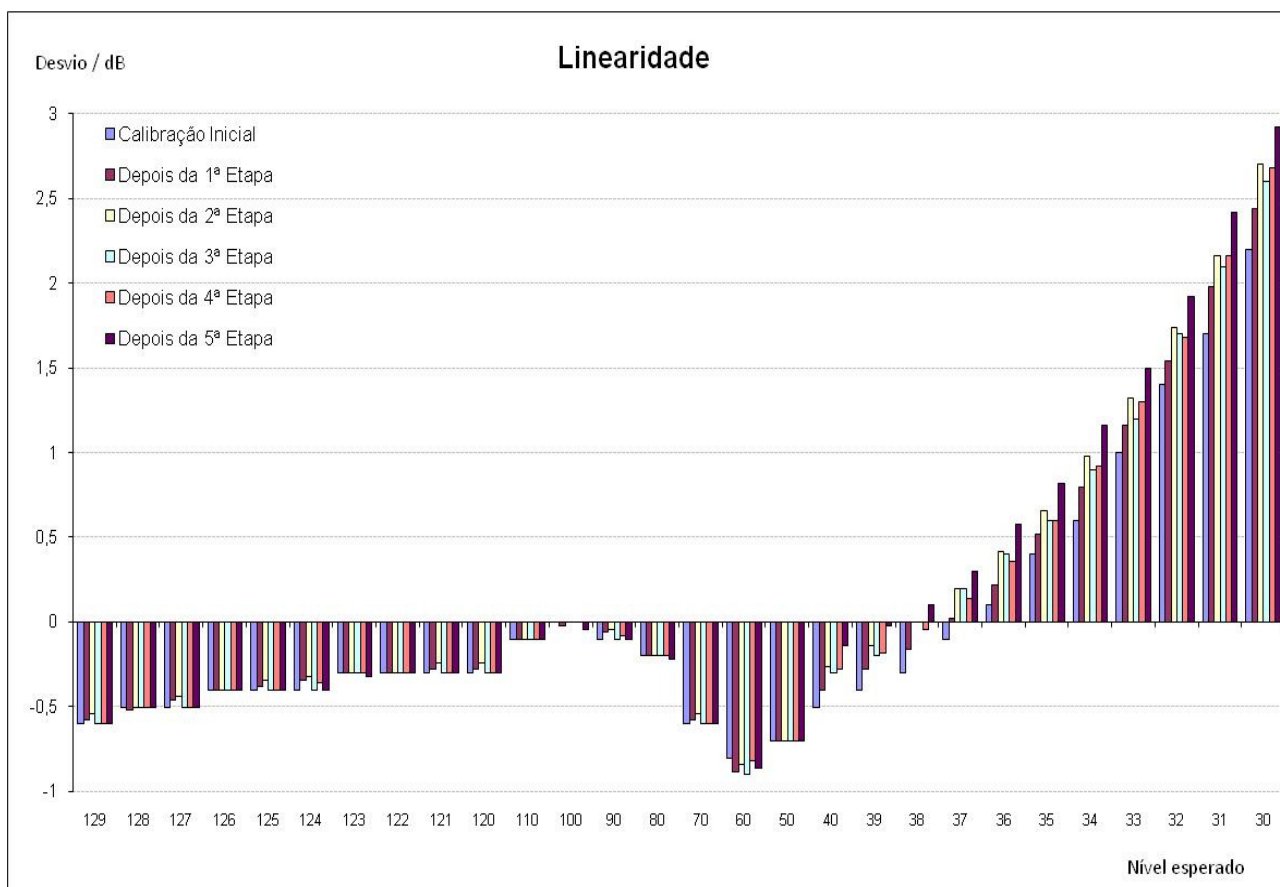


Figura 32: Comportamento da linearidade do audiodosímetro

Assim, para efeitos de determinação dos erros normalizados, foi utilizado o critério geral de utilizar-se como valor verdadeiro convencional (VVC) a média entre as duas medições realizadas no LAETA imediatamente antes e depois das respectivas etapas em que os laboratórios participaram.

Os valores médios utilizados para a determinação dos erros normalizados para a linearidade, juntamente com as respectivas estimativas das incertezas de medição associadas são apresentados na tabela 16.

Tabela 16: Valores médios utilizados para a determinação dos erros normalizados para os desvios de linearidade, juntamente com as respectivas estimativas das incertezas de medição associadas (valores em dB).

Etapa	1ª		2ª		3ª		4ª		5ª	
	Nível esperado	Desvio	U	Desvio	U	Desvio	U	Desvio	U	Desvio
120	-0,29	0,11	-0,26	0,11	-0,27	0,11	-0,30	0,10	-0,30	0,10
50	-0,70	0,10	-0,70	0,10	-0,70	0,10	-0,70	0,10	-0,70	0,10
40	-0,45	0,13	-0,33	0,13	-0,28	0,11	-0,29	0,11	-0,21	0,11

Os erros normalizados obtidos são mostrados na figura 33.

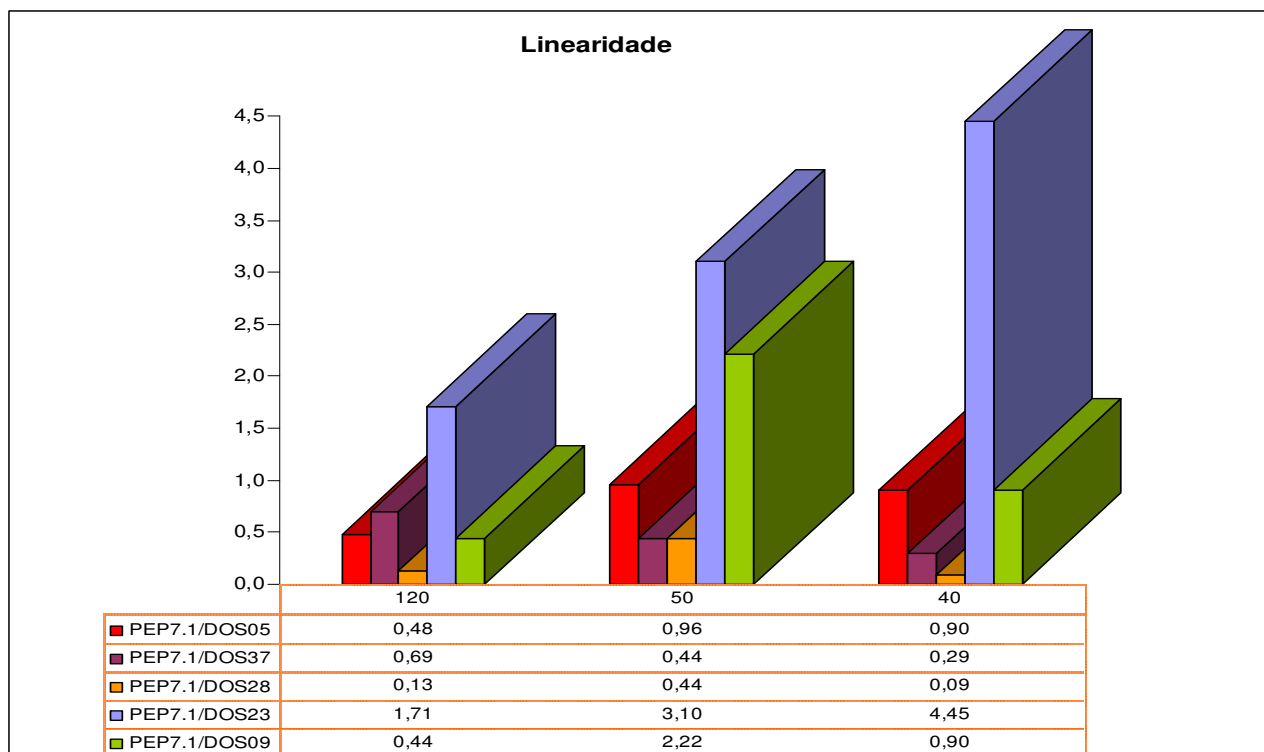


Figura 33: Valores do erro normalizado E_N para a linearidade, calculados a partir das médias das calibrações realizadas no Inmetro antes e depois de cada uma das etapas da circulação.

Ponderação A

Como para as demais grandezas avaliadas, foi realizado um acompanhamento do padrão durante o programa e os resultados podem ser visualizados na figura 34.

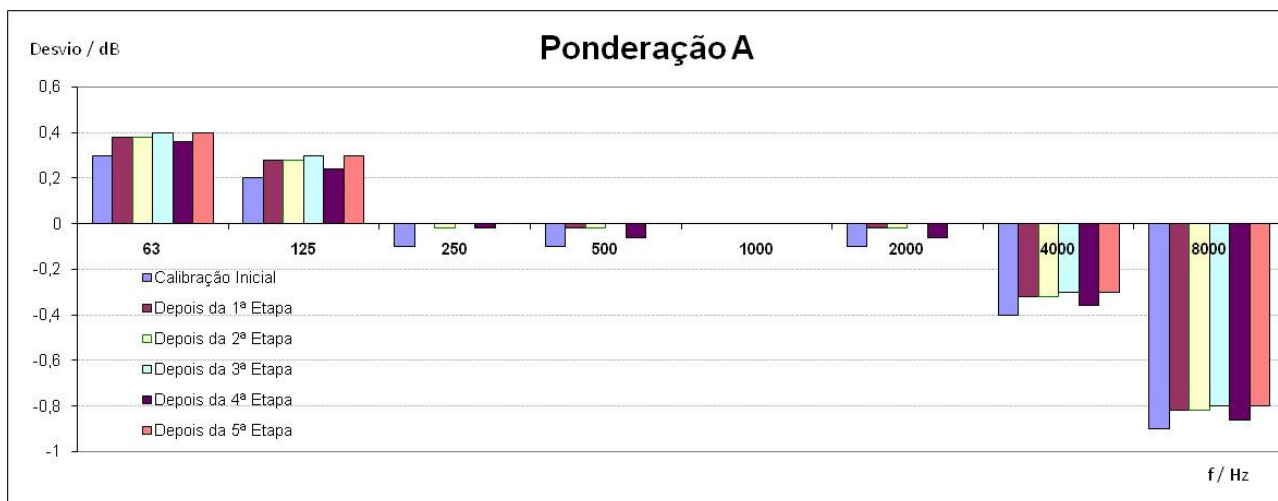


Figura 34: Comportamento da ponderação A do audiodosímetro

Os valores médios utilizados para a determinação dos erros normalizados para a ponderação A, juntamente com as respectivas estimativas das incertezas de medição associadas são apresentados na tabela 17.

Tabela 17: Valores médios utilizados para a determinação dos erros normalizados para os desvios obtidos na ponderação A, juntamente com as respectivas estimativas das incertezas de medição associadas.

Etapa	1ª		2ª		3ª		4ª		5ª	
Freq. (Hz)	Desvio	U	Desvio	U	Desvio	U	Desvio	U	Desvio	U
63	0,34	0,12	0,38	0,12	0,39	0,12	0,38	0,12	0,38	0,12
125	0,24	0,12	0,28	0,12	0,29	0,12	0,27	0,12	0,27	0,12
250	-0,05	0,11	-0,01	0,12	-0,01	0,12	-0,01	0,12	-0,01	0,12
500	-0,06	0,12	-0,02	0,12	-0,01	0,12	-0,03	0,12	-0,03	0,12
1000	0,00	0,11	0,00	0,11	0,00	0,11	0,00	0,11	0,00	0,11
2000	-0,06	0,12	-0,02	0,12	-0,01	0,12	-0,03	0,12	-0,03	0,12
4000	-0,36	0,12	-0,32	0,12	-0,31	0,12	-0,33	0,12	-0,33	0,12
8000	-0,86	0,12	-0,82	0,12	-0,81	0,12	-0,83	0,12	-0,83	0,12

Os erros normalizados obtidos com a utilização dos dados fornecidos pelos laboratórios e a utilização da média associada à etapa em que o laboratório participou são representados na figura 35.

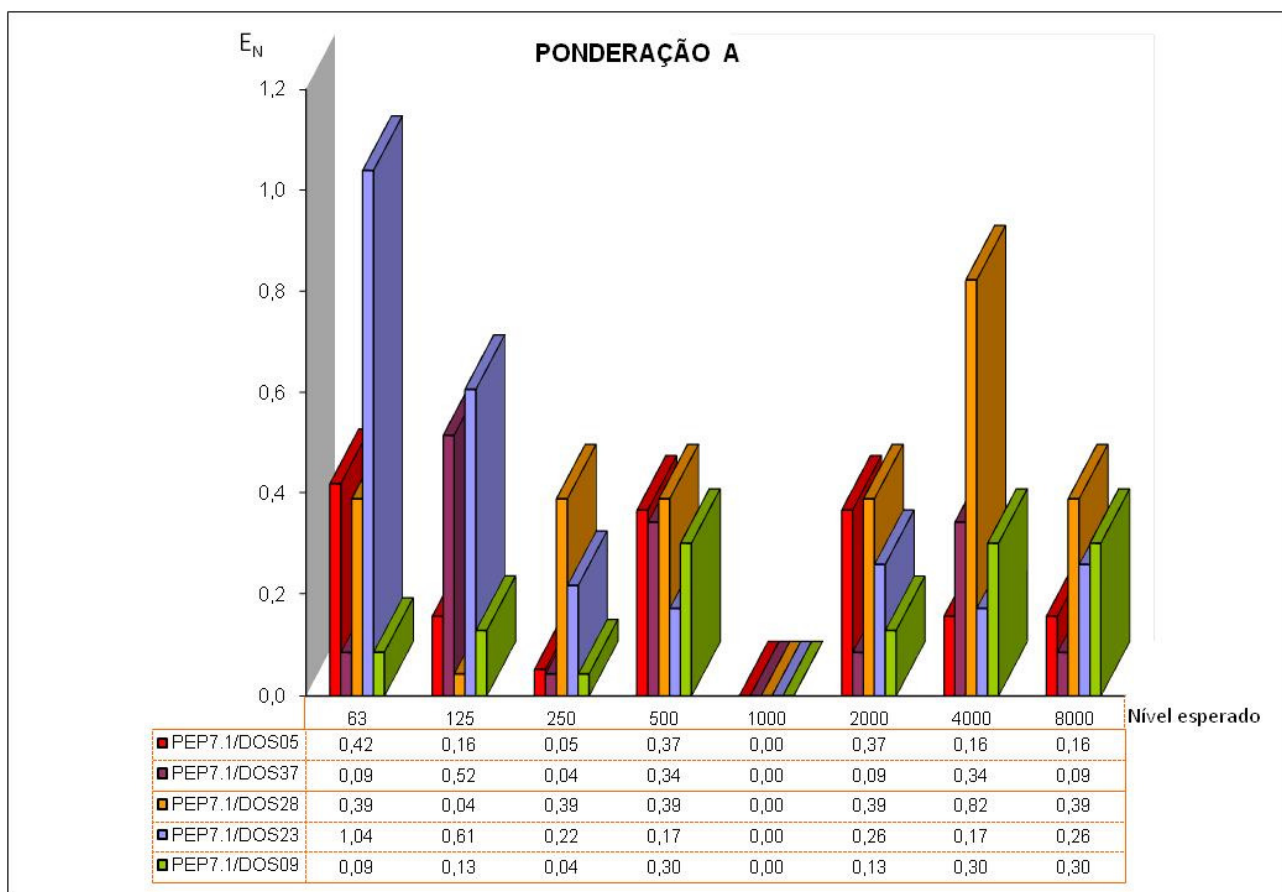


Figura 35: Valores do erro normalizado E_N para a ponderação A, calculados a partir das médias das calibrações realizadas no Inmetro antes e depois de cada uma das etapas da circulação.

Resposta a sinais de curta duração

Similarmente à análise dos resultados para caso anterior, o comportamento do padrão para as respostas a sinais de curta duração pode ser visualizado na figura 36.

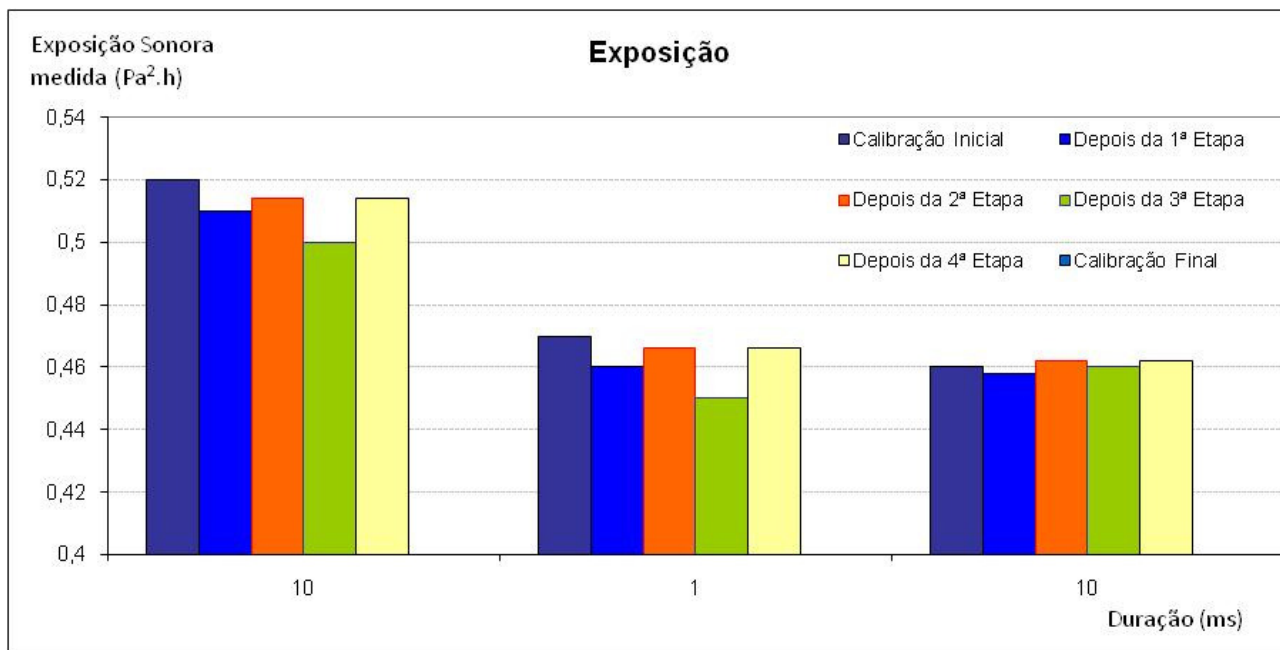


Figura 36: Comportamento das respostas a sinais de curta duração do audiodosímetro

Os valores médios utilizados para a determinação dos erros normalizados para as respostas a sinais de curta duração, juntamente com as respectivas estimativas das incertezas de medição associadas são apresentados na tabela 18.

Tabela 18: Valores médios utilizados para a determinação dos erros normalizados para os desvios obtidos para as respostas a sinais de curta duração, juntamente com as respectivas estimativas das incertezas de medição associadas.

Etapa	1ª		2ª		3ª		4ª		5ª	
	Desvio	U	Desvio	U	Desvio	U	Desvio	U	Desvio	U
10	0,52	1,77	0,51	1,81	0,51	1,68	0,51	1,75	0,51	1,85
1	0,47	1,72	0,46	1,93	0,46	1,85	0,46	1,85	0,47	1,97
10	0,46	1,68	0,46	1,71	0,46	1,68	0,46	1,68	0,46	1,71

Os erros normalizados obtidos com a utilização dos dados fornecidos pelos laboratórios e a utilização da média associada a etapa em que o laboratório participou são representados na figura 37.

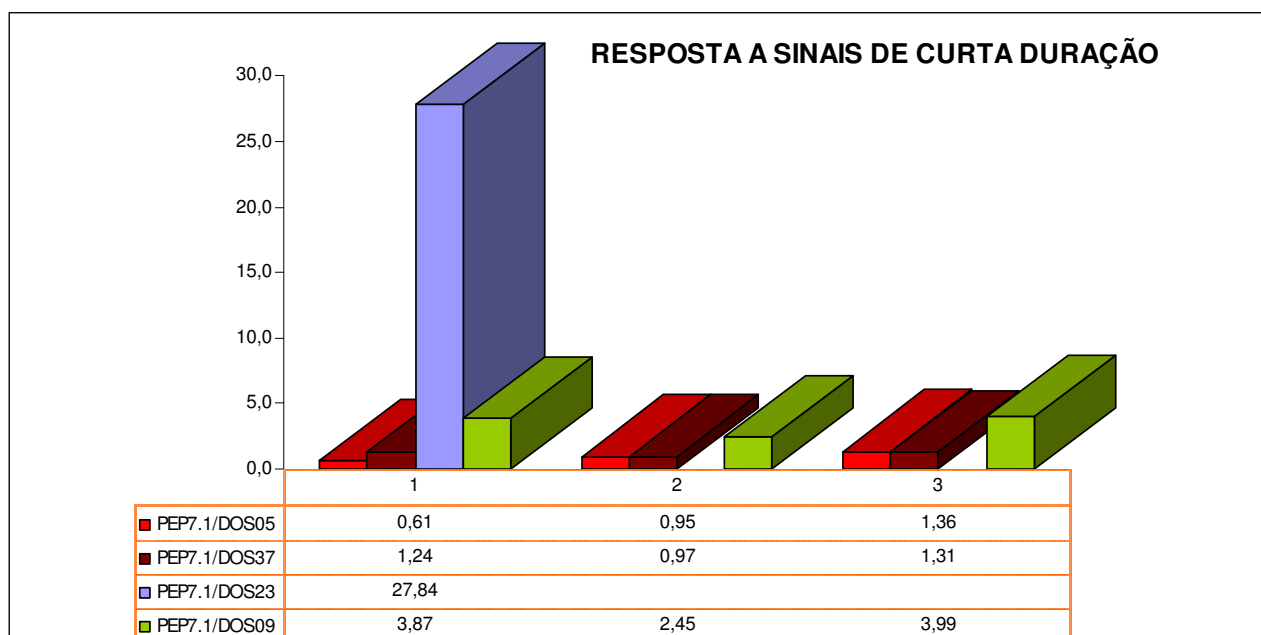


Figura 37: Valores do erro normalizado E_N para as respostas a sinais de curta duração, calculados a partir das médias das calibrações realizadas no Inmetro antes e depois de cada uma das etapas da circulação.

Média temporal (dose)

Similarmente à análise dos resultados para os casos anteriores, o comportamento do padrão para a determinação das médias temporais pode ser visualizado na figura 38.

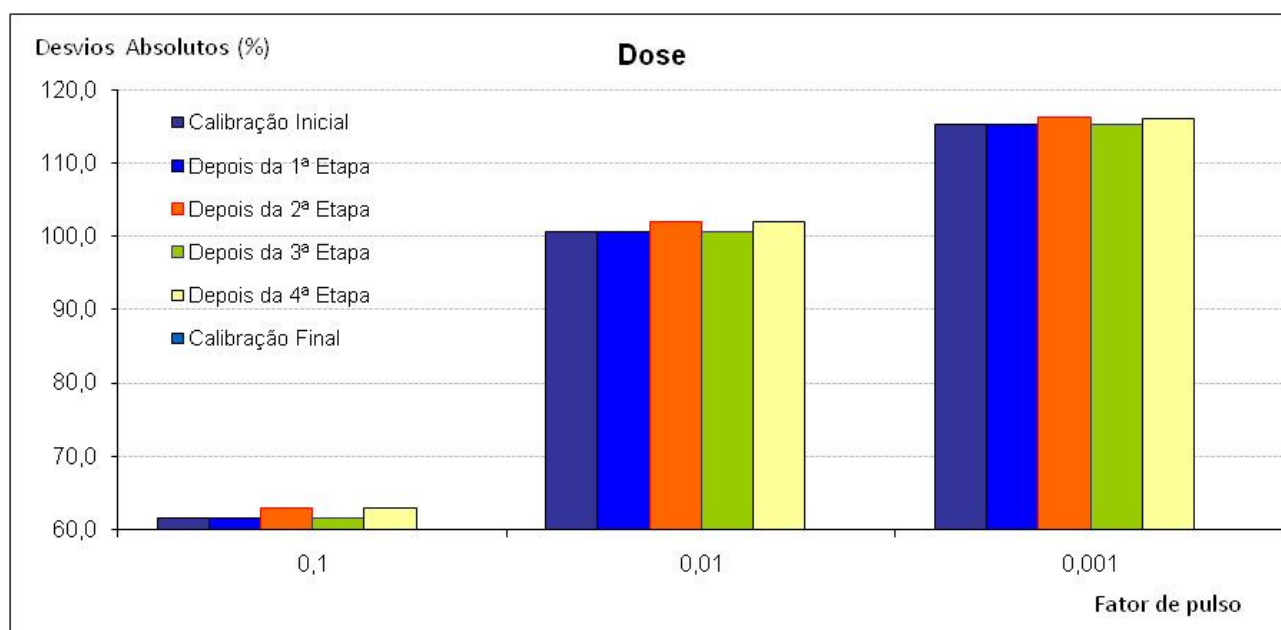


Figura 38: Comportamento das médias temporais do Audiódosímetro

Os valores médios utilizados para a determinação dos erros normalizados para as médias temporais, juntamente com as respectivas estimativas das incertezas de medição associadas são apresentados na tabela 19.

Tabela 19: Valores médios utilizados para a determinação dos erros normalizados para os desvios obtidos as médias temporais, juntamente com as respectivas estimativas das incertezas de medição associadas.

Fator de pulso	Desvios absolutos (%)	Incerteza de medição (%) relativo	Desvios absolutos (%)	Incerteza de medição (%) relativo	Desvios absolutos (%)	Incerteza de medição (%) relativo	Desvios absolutos (%)	Incerteza de medição (%) relativo	Desvios absolutos (%)	Incerteza de medição (%) relativo
Etapa	1		2		3		4		5	
0,1	61,6	2,0	62,3	2,0	62,3	1,4	62,3	1,4	63	1,4
0,01	100,6	2,3	101,3	2,3	101,3	1,4	101,3	1,4	102	1,4
0,001	115,2	2,2	115,7	2,3	115,7	1,4	115,6	1,4	116	1,4

Os erros normalizados obtidos com a utilização dos dados fornecidos pelos laboratórios e a utilização da média associada à etapa em que o laboratório participou são representados na figura 39.

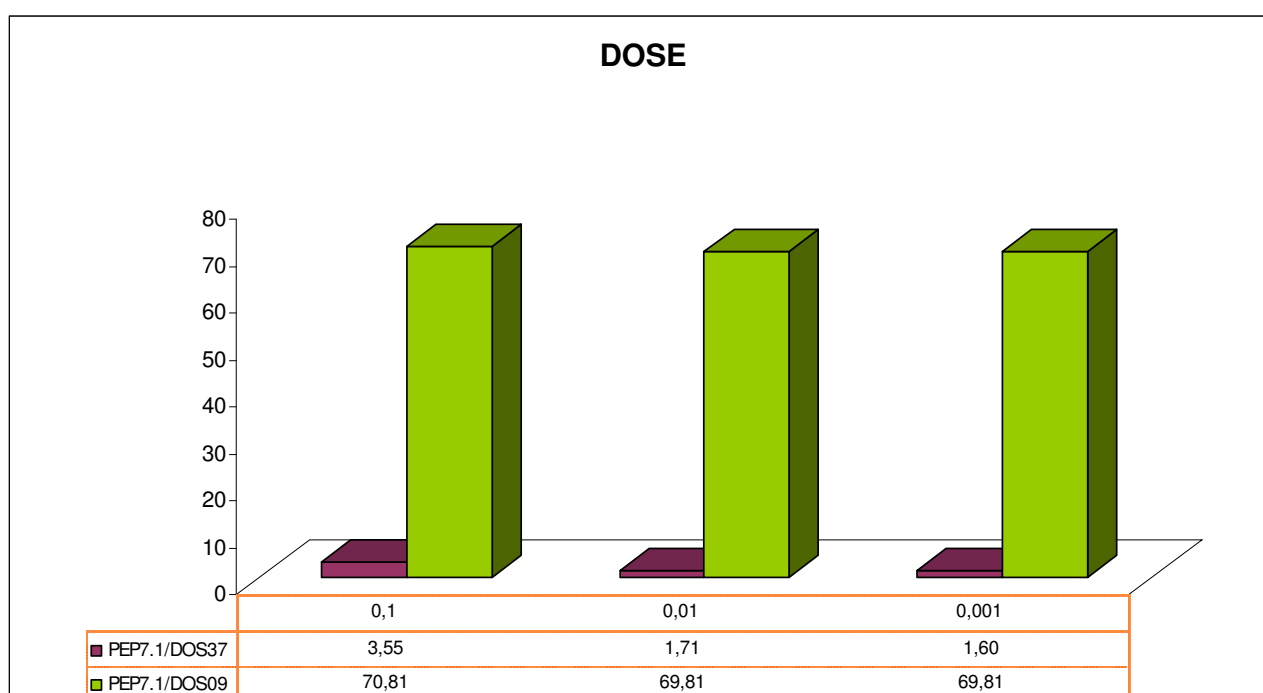


Figura 39: Valores do erro normalizado E_N para as médias temporais, calculados a partir das médias das calibrações realizadas no Inmetro antes e depois de cada uma das etapas da circulação.

7. Conclusões

Participaram do EP na Calibração de Equipamentos Acústicos dez laboratórios, sendo que nem todos os laboratórios se inscreveram para calibrar os quatro artefatos nas cinco metodologias propostas nesta rodada.

Diversos foram os problemas encontrados durante as avaliações dos dados, tornando a consistência dos mesmos, em alguns casos, de difícil compatibilização. Alguns laboratórios, por problemas diversos, não realizaram todas as calibrações para as quais inicialmente se inscreveram e alguns não calibraram todos os parâmetros constantes no protocolo ou mesmo não completaram as informações solicitadas, necessárias para a avaliação dos seus dados.

Na calibração do microfone em cavidade, quatro laboratórios se inscreveram, mas apenas dois enviaram resultados. O anel adaptador UA 0825, necessário para o acoplamento da cavidade ao microfone durante o processo de calibração teve sua junta substituída, uma vez que a original foi perdida durante a circulação.

Na calibração do microfone em atuador eletrostático, seis laboratórios se inscreveram e todos enviaram resultados. O participante PEP7.1/MICA08 não forneceu as sensibilidades medidas, mas apenas os desvios de linearidade encontrados durante a medição da resposta em frequência do microfone, sem informar o valor de referência. Também não forneceu os valores da sensibilidade em mV/Pa. Por estes motivos seus dados não puderam ser avaliados e assim fica excluído do programa.

Nenhum dos laboratórios participantes declarou se aplicou eventuais correções para as condições ambientais em que foram realizadas as calibrações.

Os participantes PEP7.1/MICA01, PEP7.1/MICA13 e PEP7.1/MICA23 apresentaram valores de sensibilidade em mV/Pa incongruentes com os valores fornecidos em dB.

Na calibração do Calibrador de Nível Sonoro, oito laboratórios se inscreveram e todos enviaram resultados. O laboratório PEP7.1/CNS26 não declarou as suas estimativas da incerteza de medição associada para as frequências nem para a distorção harmônica total, enquanto o participante PEP7.1/CNS24 não declarou a incerteza para o THD.

Nenhum dos laboratórios participantes declarou se aplicou eventuais correções para as condições ambientais em que foram realizadas as calibrações. O participante PEP7.1/CNS26 não declarou as condições ambientais em que foram realizadas as medições.

Na calibração do Medidor de Nível Sonoro, onze laboratórios se inscreveram, mas apenas dez enviaram resultados. Em alguns parâmetros foram detectados problemas:

Linearidade

Na medição da linearidade, o laboratório PEP7.1/MNS03 realizou as calibrações de 54 dB a 34 dB no range de (20-90) dB enquanto o Laeta utilizou o range de (10-80) dB em 54 dB, e o range de (0-90) dB em 44 dB e 34 dB. O laboratório PEP7.1/MNS31 utilizou o range de (50-120) dB para as medições em 54 dB e 44 dB, não sendo este o range mais adequado, impossibilitando inclusive a medição de 44 dB. Soma-se a isto o fato do laboratório não possuir seu padrão calibrado no Laeta. O laboratório PEP7.1/MNS29 realizou as calibrações de 44 dB e 34 dB com o range de (30-100) dB e o Laeta utilizou o range de (0-90) dB.

Ponderação A

Os laboratórios PEP7.1/MNS31 e PEP7.1/MNS29 utilizaram o range de (50-120) dB em todas as medições, impossibilitando as medições nas frequências de 20 Hz e 25 Hz, pois o nível esperado ficaria abaixo de 50 dB. Para as outras frequências essa desigualdade entre os ranges ocasiona diferença significativa entre os resultados do laboratório e do Laeta. O laboratório PEP7.1/MNS14 utilizou a curva “All Pass” (2 Hz a 70 kHz) do medidor, ou seja, o técnico não consultou o manual do B&K2231.

Ponderação linear

Os laboratórios PEP7.1/MNS31, PEP7.1/MNS41 e PEP7.1/MNS52 provavelmente utilizaram a curva “All Pass” (2 Hz a 70 kHz) do medidor ao invés de utilizar a curva Linear (10 Hz a 20 kHz), ou seja, os técnicos não consultaram o manual do B&K2231.

Ponderação temporal

O laboratório PEP7.1/MNS52 provavelmente utilizou um range inadequado para a realização deste teste. Os laboratórios PEP7.1/MNS41 e PEP7.1/MNS31 provavelmente utilizaram um único range no medidor para todos os pulsos tonais, o que está em desacordo com a norma IEC 60651 que exige que em medidores que têm range selecionável, seja feita pelo menos uma medição em cada range.

Detector RMS

Os laboratórios PEP7.1/MNS 14 e PEP7.1/MNS31, podem não ter aplicado as correções obtidas nos respectivos certificados de calibração dos seus padrões.

Média temporal

Para o laboratório PEP7.1/MNS31, o limite inferior de linearidade reportado não está de acordo com os valores apresentados no teste de linearidade o que compromete a confiabilidade dos resultados, além do range escolhido não ser adequado para este teste. O laboratório PEP7.1/MNS14 pode não ter aplicado a correção obtida no certificado de calibração do seu padrão.

Na calibração do Audiódosímetro, nove laboratórios se inscreveram, mas apenas cinco laboratórios enviaram resultados. Em alguns parâmetros foram detectados problemas:

Linearidade

A comparação dos resultados na medição da linearidade do audiodosímetro foi bastante prejudicada, pois os pontos de medição escolhidos por cada laboratório, não coincidiram entre si, dificultando o processo de análise dos resultados. Uma das causas que levou a esta “diversidade” na escolha dos pontos de medição, foi o fato de o protocolo ter sido elaborado antes de se saber exatamente qual modelo de audiodosímetro iria circular entre os participantes. Com isto, quando o artefato foi finalmente definido, percebeu-se que os pontos de medição determinados pelo protocolo, não eram em sua totalidade, adequados para caracterizar a linearidade do padrão escolhido. Uma instrução complementar circulou entre os participantes, instruindo para que os mesmos alterassem a tabela de linearidade presente no protocolo, mas aparentemente a mesma não foi recebida a tempo por todos, ou talvez tenha sido ignorada. Diante da falta de harmonização entre as tabelas de linearidade recebidas, optou-se por fazer a comparação apenas nos pontos onde todos os participantes tenham realizado a medição. Estes pontos foram: 120, 50 e 40 dB.

Outro fator que provavelmente contribuiu para uma maior deriva nos resultados da comparação, foi a falta de harmonização na realização do ajuste inicial do equipamento. Embora o protocolo tenha definido que o nível de referência para o teste seria de 94 dB, não ficou claro se este nível (nível inicial a ser ajustado no equipamento) deveria ser estabelecido acusticamente (através de um calibrador) ou eletricamente. Mesmo que se julgue estar “subentendido” que o ajuste deveria ser feito eletricamente, seria necessário definir o valor da tensão AC a ser aplicada para uma indicação de 94 dB no instrumento.

A indefinição do ponto de ajuste inicial pode causar um certo “deslocamento” na escala de medição do instrumento, e levar a resultados diferentes para um mesmo ponto nominal de medição.

Cabe ainda ressaltar que alguns laboratórios não perceberam que o protocolo pedia para que fossem informados os “erros” de linearidade e não as “correções” de linearidade. Repare-se que estas duas informações têm sinais opostos. Mais uma vez, foi circulada uma instrução solicitando que cada laboratório revisasse as informações enviadas, mas nem todos os laboratórios perceberam ter cometido este erro.

Uma última consideração, é a determinação dos desvios de linearidade em níveis muito baixos. Como exemplo, consideremos a medição de linearidade no nível de 40 dB. Na maioria dos medidores da marca utilizada (Bruel&Kjaer), é necessário um sinal de entrada na ordem de 100 μ V, para que se tenha uma indicação de 40 dB. Isto requer um sistema de geração e cabeamento com níveis de ruídos bem baixo. Além disso, é recomendável que o ruído do sistema de geração possua uma margem mínima de 10 dB abaixo do nível de ruído interno do audiodosímetro, a fim de evitar que o ruído do sistema de geração termine por aumentar o nível de ruído do audiodosímetro. Diante

disto fica evidenciado que, para um resultado de medição razoável neste nível (40 dB), o sistema de geração deve ser capaz de gerar um sinal em torno de 31,6 μV , ou seja, 30 dB.

Ponderação A

Dentre os principais fatores que podem ter contribuído para a elevação do erro normalizado (E_N) na comparação dos resultados das medições da curva de ponderação A, destacam-se alguns já mencionados como fatores de influência na comparação dos resultados de linearidade. Estes fatores são: a falta de um procedimento harmonizado para o ajuste do nível de referência (definido pelo protocolo como 124 dB), e ainda a interpretação equivocada sobre qual a informação a enviar (erros ou correções).

Resposta a sinais de curta duração

O protocolo inicial estabelecia 4 pontos para medição da resposta a sinais de curta duração. Os sinais foram escolhidos a partir de valores presentes na norma IEC 61252, tendo sofrido adaptações em nível e duração para que, num medidor ideal, estes sinais provocassem uma indicação de 0,5 Pa²h.

Conforme mencionado anteriormente, os pontos de medição do protocolo foram definidos antes da escolha do artefato. Posteriormente, percebeu-se que alguns pontos de medição não poderiam ser alcançados com o instrumento escolhido (excediam a faixa dinâmica nominal do instrumento). Outros pontos de medição foram escolhidos, e as instruções quanto à mudança nos pontos circuladas entre os participantes.

Média Temporal (dose)

Para a medição da média temporal (dose), o protocolo estabeleceu como sinal de teste os mesmos sinais definidos IEC 60804, para medição de *Leq*. Infelizmente o protocolo foi omisso em relação à configuração do audiodosímetro para realização deste teste. Numa instrução complementar circulada entre os participantes, foi estabelecida a configuração a ser realizada no audiodosímetro, antes da medição ser iniciada. Esta instrução estabelecia entre outras coisas, que um fator de dobra 5 deveria ser utilizado. A razão da escolha para este fator se deve à sua adoção na NR-15 do MTE, enquanto a NHO 01 da Fundacentro adota o critério $Q=3$.

Causou estranheza o fato de apenas dois laboratórios terem enviado resultados da medição de dose, especialmente quando se leva em consideração que o sinal de teste é o mesmo utilizado na medição de *Leq*. Muito provavelmente surgiram dúvidas no cálculo da dose esperada (o protocolo pedia o desvio).

Outro fato que talvez tenha inibido os laboratórios de apresentarem seus resultados, foi o erro cometido pelo item de ensaio quando este é ajustado para fator de dobra 5. Logo nos testes iniciais, o laboratório de referência detectou que os erros do padrão eram muito altos, quando este estava

ajustado para medições com $Q=5$. A magnitude destes erros é bem maior que o tipicamente encontrados neste tipo de equipamento.

Um fator que pode ter contribuído para o aumento do E_N , foi o entendimento de como relatar a incerteza de medição. A tabela do protocolo trazia o percentual como unidade de incerteza, mas não definia se este percentual era absoluto ou relativo. A instrução repassada aos participantes definia que a incerteza deveria ser informada em percentuais relativos, mas não existe a certeza de que a recomendação foi seguida na íntegra.

8. Laboratórios participantes

Onze laboratórios se inscreveram na 1ª Rodada do Programa de Ensaio de Proficiência na Calibração de Equipamentos Acústicos e dez enviaram os resultados. A lista dos laboratórios que enviaram os resultados à coordenação do programa é apresentada abaixo:

Instituição
Almont do Brasil Importação, Comércio e Representação Ltda Almont Lab
CHROMPACK Instrumentação Científicos Ltda
Grom Equipamentos Eletromecânicos Ltda Laboratório de Calibração e ensaios GROM-LAB
HBM do Brasil LACEL B&K
Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT Laboratório de Conforto Ambiental e Sustentabilidade dos Edifícios
INTER-METRO Serviços Especiais Ltda
Minipa Indústria e Comércio Ltda
Total Safety Ltda CALILAB – Laboratório de Eletroacústica
UBEA – União Brasileira de Educação e Assistência LABELO/PUC RS Laboratórios Especializados em Eletroeletrônica
Walm Lab Equipamentos Eletrônicos Ltda

- Total de participantes: 10 laboratórios
- O código de cada participante não está associado à ordem da lista de participantes.

A identidade dos participantes em relação aos resultados da comparação é confidencial, sendo apenas do conhecimento da organização deste ensaio. Os laboratórios foram codificados de forma a não haver possibilidade de associação do resultado com o respectivo laboratório. Os laboratórios participantes não têm conhecimento da identificação dos outros laboratórios.

9. Referências Bibliográficas

- Guia para a expressão da Incerteza de Medição: terceira edição brasileira. 3. ed. Rio de Janeiro: INMETRO, 2003.
- IEC 61094-5:2001 - Measurement microphones - Part 5: Methods for pressure calibration of working standard microphones by comparison.
- IEC 61094-6:2004 - Measurement microphones - Part 6: Electrostatic actuators for determination of frequency response.
- IEC 60942:1988 - Electroacoustics - Sound calibrators.
- IEC 60651:1979 - Sound level meters e IEC 60804:1989– Integrating-averaging sound level meters.
- ANSI S1.25:1991 – Specification for personal noise dosimeters.
- IEC 61252:1993 – Electroacoustics - Specifications for personal sound exposure meters.
- IEC 61252-am1-Ed. 1.0:2000 - Amendment 1 - Electroacoustics - Specifications for personal sound exposure meters.
- IEC 61252:2002 – Electroacoustics - Specifications for personal sound exposure meters.



Programa de Ensaios de Proficiência da Diretoria de Metrologia Científica e Industrial - PEP Dimci
Av. Nossa Senhora das Graças, 50 - Xerém / Duque de Caxias - RJ - Brasil CEP: 25250 - 020
Fax: +55 21 2679-9745 / www.inmetro.gov.br / pep-dimci@inmetro.gov.br