



# Calibração de sonômetros: uma visão geral

## Calibration of sound level meter: an overview

**T A B Milhomem e E B Pinto**

Laboratório de Eletroacústica, Divisão de Metrologia Acústica e Vibrações, Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, Av. Nossa Senhora das Graças, 50, Prédio 1, Xerém, Duque de Caxias, RJ, Brasil, CEP 25.250-020

tbmilhomem@inmetro.gov.br

**Resumo.** Este artigo apresenta uma visão geral da calibração de sonômetros que consiste em gerar uma série de sinais acústico e elétricos para testar funções específicas do sonômetro e observar se a resposta do sonômetro está em conformidade com os requisitos da norma apropriada. Inicialmente, as normas aplicáveis são apresentadas. Esse é um importante tópico uma vez que os sonômetros são calibrados de acordo com a norma de projeto. Na sequência, são resumidos os testes, acústico e elétricos, conforme cada norma e são apontadas algumas potenciais componentes de incerteza de medição. Finalizando, são discutidos os procedimentos para a avaliação da conformidade aos requisitos da norma considerando a incerteza de medição e que também variam conforme a norma de projeto.

**Abstract.** This paper presents an overview of sound level meter calibration which consists of generating acoustic and electrical signals to test specific sound level meter functions and observe whether the sound level meter response complies with the requirements of the appropriate standard. Initially, the applicable standards are presented. This is an important topic since sound level meters are calibrated according to the design standard. Next, the acoustic and electrical tests are summarized according to each standard and some potential components of measurement uncertainty are pointed out. Finally, the procedures for assessing conformance with the requirements of the standard are discussed.

### 1. Introdução

A calibração de um instrumento de medição é uma atividade que relaciona as indicações (respostas) do instrumento com valores e incertezas de padrões. O objetivo é atribuir valores e incertezas ao instrumento, como, por exemplo, uma curva característica [1].

O sonômetro, também chamado de medidor de nível sonoro (o nome decibelímetro é inadequado e seu uso é desincentivado), é um equipamento utilizado, geralmente, para medir sons na faixa de audição humana. Ele, usualmente, é composto por um microfone de medição, um circuito para o processamento do sinal, um indicador e vem acompanhado por um calibrador de nível sonoro. O calibrador de nível sonoro é um equipamento que gera um nível de pressão sonora conhecido e é utilizado para ajustar a sensibilidade global do sonômetro no início da medição e verificá-la no final da medição. A figura 1 apresenta fotos de alguns sonômetros.



**Figura 1.** Fotos de sonômetros.

A calibração de um sonômetro, de forma resumida, consiste em gerar uma série de sinais acústico e elétricos para testar funções específicas do sonômetro (por exemplo, ponderação em frequência, ponderação temporal, linearidade de nível) e observar se a resposta do sonômetro está em conformidade com os requisitos da norma apropriada. Por outro lado, a calibração de um calibrador de nível sonoro, também resumidamente, consiste em determinar o nível de pressão sonora, a frequência e a distorção do sinal gerado.

Neste artigo será apresentada a calibração de sonômetros. A calibração de calibradores de nível sonoro é descrita no artigo de Milhomem e Soares [2].

## **2. Normas**

O sonômetro, assim como outros equipamentos eletroacústicos, deve ser calibrado observando a norma de projeto (incluindo sua edição) porque os testes variam conforme a norma de referência. As normas internacionais de referência para calibração de sonômetros mais recentes são: IEC 60651:1979; IEC 60804:1985; IEC 60804:2000; IEC 61672-3:2006 juntamente com a IEC 61672-1:2002; e IEC 61672-3:2013 juntamente com a IEC 61672-1:2013 [3], sendo que a IEC 61672-3:2013 e a IEC 61672-1:2013 foram traduzidas e resultaram nas normas nacionais ABNT NBR IEC 61672-3 de 2018 e ABNT NBR IEC 61672-1 de 2021 [4].

A norma IEC 60651 classifica o sonômetro em quatro classes de exatidão (Tipos 0, 1, 2 e 3), descreve os testes, apresenta as respostas esperadas em cada teste e os desvios permitidos em relação as respostas esperadas (tolerâncias) em função da classe de exatidão [5].

A norma IEC 60804 é complementar à IEC 60651 e especifica uma característica adicional para a medição do nível de pressão sonora contínuo equivalente (Leq) [6,7].

As normas IEC 60651 e IEC 60804 estão sendo gradualmente substituídas pela norma IEC 61672.

A norma IEC 61672 classifica o sonômetro em duas classes de exatidão (Classes 1 e 2), e apresenta os testes, as respostas esperadas em cada teste, as tolerâncias em função da classe de exatidão, as máximas incertezas de medição para cada teste e o critério para a avaliação da conformidade à norma considerando a incerteza de medição [8,9].

## **3. Calibração conforme a IEC 60651 e IEC 60804**

Os testes para a calibração conforme a IEC 60651 e IEC 60804 são: ponderação em frequência A, C e Lin; linearidade de nível; ponderação temporal F, S e I; detector RMS; e média temporal para sonômetros de nível equivalente (também conhecido como medidor integrador de nível sonoro) [10,11].

A ponderação em frequência deve ser testada em campo sonoro livre. Opcionalmente, ela pode ser testada utilizando um sinal elétrico e um adaptador para entrada de sinal elétrico em substituição ao microfone. A figura 2 apresenta foto de adaptador de entrada de sinal elétrico fabricado pela Brüel & Kjaer. Nesse caso, o microfone, separado do sonômetro, é testado em campo sonoro livre e deve-se considerar a influência do corpo do sonômetro no resultado final [5]. Como é custoso construir uma

instalação de campo livre, no Brasil foi acordado que o microfone pode ser testado em campo sonoro de pressão ou utilizando um atuador eletrostático [12], sendo recomendado que se aplique a devida correção para campo livre (quando disponível). O desafio é obter essa correção. A figura 3 apresenta fotos de atuadores eletrostáticos fabricados pela Brüel & Kjaer e pela G.R.A.S. A Norsonic também fabrica atuadores eletrostáticos. Para testar a ponderação em frequência do sonômetro são gerados sinais senoidais com amplitude constante e se for utilizado um adaptador para entrada de sinal elétrico ele deve ter capacitância semelhante à do microfone substituído.



**Figura 2.** Foto do adaptador para entrada de sinal elétrico fabricado pela Brüel & Kjaer de modelo JJ 2614.



(a)



(b)

**Figura 3.** Fotos de atuadores eletrostáticos: (a) Atuador eletrostático fabricado pela Brüel & Kjaer de modelo UA 0033; (b) Atuador eletrostático fabricado pela G.R.A.S. de modelo RA 0014.

Os testes de linearidade de nível, ponderação temporal e detector RMS devem ser realizados utilizando um sinal elétrico e um adaptador para entrada de sinal elétrico em substituição ao microfone [5]. Novamente, o adaptador para entrada de sinal elétrico ele deve ter capacitância semelhante à do microfone substituído.

O teste de linearidade de nível do sonômetro avalia a resposta e o controle de faixa de nível [5] e é realizado gerando-se um sinal elétrico senoidal com amplitude variável e frequência constante.

O teste de ponderação temporal F e S deve ser realizado utilizando um sinal que, repentinamente, aumenta em amplitude em 20 dB. Ele deve ser realizado em 4 dB abaixo do limite superior da faixa de nível e em intervalos de 10 dB abaixo desse nível. A duração desse pulso deve ser de 200 ms e 500 ms para as ponderações temporais F e S respectivamente. O teste de ponderação temporal I deve ser realizado utilizando pulso tonal (desta vez sem um sinal como base inicial), no nível correspondente ao limite superior da faixa de nível e em intervalos de 10 dB abaixo desse nível. As durações desse pulso devem ser 2, 5 e 20 ms [5].

O detector RMS deve ser testado comparando a resposta para uma sequência de pulsos retangulares e para uma sequência de pulsos tonais com a resposta para um sinal de referência. O teste com a sequência de pulsos retangulares só é aplicável caso o sonômetro possua a ponderação em frequência C e ou Lin e deve ser realizado usando semiciclos positivos e negativos. O pulso retangular deve ter duração de 200  $\mu$ s e um tempo de subida (*rise time*) menor que 10  $\mu$ s enquanto o pulso tonal deve consistir de um número inteiro de ondas senoidais começando e terminado em zero (*zero crossing*) com um período de repetição de 25 ms. Os sinais de teste devem possuir o mesmo valor RMS do sinal de referência [5].

O teste de média temporal compara a resposta do sonômetro de nível equivalente quando excitado por um sinal senoidal contínuo com a resposta obtida quando excitado por uma sequência de pulsos tonais que possui o mesmo nível de pressão sonora contínuo equivalente [6,7].

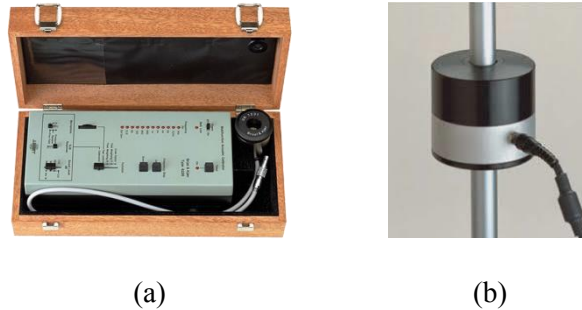
#### **4. Calibração conforme a IEC 61672**

Os testes para a calibração conforme a IEC 61672 são: ruído autogerado (com microfone instalado e com adaptador para entrada de sinal elétrico); ponderação em frequência A, C e Z (com sinais de teste acústico e elétrico); ponderações no tempo e na frequência em 1 kHz; linearidade de nível na faixa de nível de referência; linearidade de nível incluindo controle de faixa de nível; resposta a pulsos tonais nas ponderações temporais F, S, e SEL ou Leq; nível sonoro de pico ponderado em C; e indicação de sobrecarga (*overload*) para sonômetros de nível equivalente [13,14,15]. A versão de 2013 da IEC 61672 apresenta ainda dois novos testes em relação a versão de 2006: estabilidade de longa duração; e estabilidade em resposta a nível alto [14,15].

O teste de ruído autogerado deve ser realizado com o microfone instalado (ruído autogerado acústico) e com o microfone substituído por um adaptador para entrada de sinal elétrico (ruído autogerado elétrico) [13,14,15]. Ainda que a norma indique que os resultados desses testes sejam reportados sem uma incerteza associada, no Brasil foi acordado que eles devem ser reportados com uma incerteza de medição em atendimento à norma ABNT NBR ISO/IEC 17025 (item 7.8.4.1 a) [16]. A indicação do ruído autogerado acústico pode ser influenciada pelo ruído ambiente assim, se o ruído ambiente no laboratório não for suficientemente baixo, pode-se construir uma câmara isolante e medir o ruído autogerado acústico com o sonômetro dentro da câmara. Se o conjunto pré-amplificador mais microfone for destacável, apenas o conjunto precisa ser colocado dentro da câmara, sendo ligado ao sonômetro por um cabo de extensão. Se o ruído autogerado acústico não exceder o valor declarado pelo fabricante, isso é um indicativo de que o ruído ambiente no laboratório é suficientemente baixo. Por outro lado, se o ruído autogerado acústico exceder o valor declarado, o laboratório deve assegurar que o nível de ruído ambiente não influenciou a medição do ruído autogerado em mais de 3 dB [13].

O teste de ponderação em frequência deve ser realizado com sinais acústico e elétrico [13,14,15].

O teste com sinal acústico deve ser realizado nas frequências de 125 Hz, 1 kHz e 8 kHz utilizando um calibrador de nível sonoro multifrequência calibrado, um acoplador de comparação, um atuador eletrostático ou uma instalação de campo livre, segundo a versão de 2013. A versão de 2006, além das frequências de 125 Hz e 1 kHz, permite a escolha entre as frequências de 4 kHz ou 8 kHz e não inclui a opção de uso de um acoplador de comparação. A figura 4 apresenta fotos do calibrador de nível sonoro multifrequência e do acoplador de comparação fabricados pela Brüel & Kjaer. A amplitude do sinal deve ser mantida constante. Caso seja utilizado um calibrador de nível sonoro multifrequência, um acoplador de comparação ou um atuador eletrostático, o nível sonoro indicado no sonômetro deve ser corrigido para o nível correspondente em campo sonoro livre ou em campo sonoro de incidência aleatória pela aplicação de uma correção que deve estar disponível [13,14,15]. Apesar da norma exigir a medição em apenas três frequências, há indícios de que esse número de frequências seja insuficiente para garantir a conformidade com a norma [17]. Outro ponto que se deve ter atenção é que, apesar da pressão eletrostática gerada pelo atuador eletrostático criar condições semelhantes as condições de campo sonoro de pressão, ele não é um campo sonoro de pressão e a correção da resposta em frequência obtida pelo uso do atuador eletrostático para a resposta em campo sonoro livre é diferente da correção da resposta em frequência obtida no campo sonoro de pressão para a resposta em frequência em campo sonoro livre [18].



**Figura 4.** Fotos de equipamentos eletroacústicos: (a) Calibrador de nível sonoro multifrequência fabricado pela Brüel & Kjaer de modelo 4226; e (b) acoplador de comparação fabricado pela Brüel & Kjaer de modelo WA0817.

O teste com sinal elétrico deve ser realizado na faixa de frequências de 63 Hz a 16 kHz para sonômetros de Classe 1 e na faixa de 63 Hz a 8 kHz para sonômetros de Classe 2. O sinal de excitação deve ter o nível do sinal em 1 kHz menos o nível da resposta meta de projeto na ponderação e na frequência sob teste, ou seja, o sinal de excitação em função da frequência deve ter a forma invertida da forma da ponderação em frequência. À resposta em frequência relativa, devem ser aplicadas correções para o desvio da resposta em frequência do microfone em campo sonoro livre na direção de referência em relação à resposta uniforme em frequência (plana como função da frequência); e para os efeitos das reflexões no corpo do sonômetro e da difração em torno do microfone e do pré-amplificador [13,14,15]. Aqui cabe um esclarecimento: a correção para o desvio da resposta em frequência do microfone em campo sonoro livre e a resposta uniforme não está relacionada com a diferença entre as sensibilidades do microfone no campo sonoro livre e no campo sonoro de pressão. O objetivo das correções é obter o comportamento da ponderação em frequência que seria obtido caso fosse realizado o teste com sinal acústico.

No teste de ponderações no tempo e na frequência em 1 kHz, é gerado um sinal elétrico em 1 kHz com amplitude ajustada para o sonômetro responder com o nível de pressão sonora de referência, na ponderação em frequência A e na ponderação temporal F ou o nível sonoro equivalente. As respostas para as ponderações em frequência C e Z devem ser registradas. Adicionalmente, as respostas na ponderação em frequência A e na ponderação temporal F, S e o nível sonoro equivalente devem ser registradas [13,14,15].

A linearidade de nível na faixa de nível de referência deve ser testada com sinais elétricos em 8 kHz. As respostas do sonômetro em nível sonoro ponderado em F ou em nível sonoro equivalente, juntamente com a resposta esperada devem ser registradas [13,14,15].

Para o teste de linearidade de nível incluindo controle de faixa de nível devem ser utilizados sinais elétricos na frequência de 1 kHz. O nível do sinal de entrada deve ser ajustado para o sonômetro responder com o nível sonoro de referência na faixa de níveis de referência. Com o nível do sinal de entrada mantido constante, o nível do sinal indicado para todas as faixas de níveis onde o nível de sinal é exibido deve ser registrado. Adicionalmente, para cada faixa de níveis, o nível do sinal de entrada deve ser ajustado para produzir um nível de sinal que se espera que seja 5 dB maior que o nível do sinal que causa a primeira indicação de nível abaixo da faixa (*under-range*) segundo a versão de 2013. Pela versão de 2006, o nível do sinal de entrada deve ser ajustado para produzir um nível de sinal que se espera que seja 5 dB menor que o nível superior especificado [13,14,15].

O teste de resposta a pulsos tonais avalia a resposta do sonômetro a sinais de curta duração. Ele deve ser realizado com pulsos tonais em 4 kHz que iniciam e terminam em zero e são extraídos de sinais de entrada elétricos em 4 kHz [13,14,15].

As respostas em nível sonoro de pico em C devem ser testadas com sinais que consistem em: um único ciclo completo de uma senoide em 8 kHz começando e terminando na interseção em zero; e semiciclos positivos e negativos de uma senoide em 500 Hz que também começam e terminam na interseção em zero [13,14,15].

O teste de indicação de sobrecarga deve ser realizado apenas em sonômetros capazes de indicar o nível sonoro equivalente. Devem ser utilizados sinais elétricos senoidais de semiciclos positivo e negativo, na frequência de 4 kHz, que devem ser extraídos de sinais estacionários de mesmo nível e devem começar e terminar na interseção em zero [13,14,15].

A estabilidade de longa duração é avaliada a partir da diferença entre os níveis sonoros ponderados em A indicados em resposta a sinais estacionários aplicados no início e no término de um período entre 25 e 35 min de operação contínua durante o qual é executado um conjunto de testes [14, 15].

A capacidade de um sonômetro operar continuamente em resposta a níveis altos de sinal, sem mudanças significativas na sensibilidade, é avaliada a partir da diferença entre os níveis sonoros ponderados em A, indicados em resposta a um sinal estacionário no início e no final de um período de 5 min de exposição contínua [14, 15].

A figura 5 apresenta foto do gerador de funções fabricado pela Stanford Research Systems comumente utilizado para gerar os sinais elétricos necessários para a calibração de sonômetros. Também são utilizados sistemas de módulos fabricados pela National Instruments.



**Figura 5.** Foto de um gerador de funções fabricado pela Stanford Research Systems de modelo DS360.

## **5. Cálculo da incerteza de medição expandida**

O cálculo da incerteza de medição expandida para um sonômetro sob teste deveria considerar pelo menos os seguintes componentes, conforme aplicável: 1) associado à incerteza da calibração dos equipamentos utilizados para a realização dos testes, incluindo o calibrador de nível sonoro e a instalação de campo livre; 2) associado aos efeitos das condições ambientais; 3) associado à pequenos erros que podem estar presentes nos sinais aplicados; 4) associado à repetibilidade dos resultados de medição; 5) associado à resolução do dispositivo indicador do sonômetro sob teste; 6) associado ao dispositivo utilizado para montar o sonômetro na instalação de campo livre; 7) associado ao desvio do campo sonoro na instalação de campo livre em relação ao campo sonoro livre ideal; e 8) associado com cada correção aplicada aos dados de medição [13,14].

## **6. Avaliação da conformidade**

No período de 1961 a 1985, as normas internacionais para sonômetros não forneciam requisitos ou recomendações sobre como considerar a incerteza de medição em avaliações da conformidade. Isso criava uma ambiguidade nas avaliações para situações em que um desvio medido a partir de uma meta de projeto estava próximo do limite de desvio permitido. Para eliminar essa ambiguidade, foi adotada a política de considerar a incerteza de medição na avaliação da conformidade. Assim, a IEC 61672-1 de 2002 fornecia dois critérios para determinar a conformidade as especificações: 1) que os desvios medidos a partir de uma meta de projeto estendidos pela incerteza de medição expandida não



excedessem os limites de tolerância aplicáveis; e 2) que as incertezas de medição expandida não excedessem os valores máximos permitidos. Já a segunda edição da IEC 61672-1 de 2013 utiliza critérios diferentes daqueles que foram utilizados na edição de 2002: 1) que os desvios medidos a partir de uma meta de projeto não excedam os limites de aceitação aplicáveis; e 2) que as incertezas de medição não excedam as incertezas máximas permitidas [8,9]. Considerando que há critérios para a avaliação da conformidade diferentes dependendo da norma de referência, deve ser utilizado o critério da norma, incluindo sua edição, de projeto do sonômetro.

## 7. Conclusão

Foi apresentada uma visão geral da calibração de sonômetros que inclui as normas de referência, os testes aplicáveis, potenciais componentes do cálculo da incerteza de medição e critérios para a avaliação da conformidade aos requisitos da norma.

## Referências

- [1] Milhomem, T. A. B., Calibração de microfones por reciprocidade em campo difuso. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2017.
- [2] Milhomem, T. A. B. e Soares, Z. M. D. Calibration of sound calibrators: an overview. *Journal of Physics: Conference Series*, v. 733, 012055, 2016.
- [3] IEC. Disponível em: <<https://www.iec.ch/homepage>>. Acesso em: 27 dez. 2021.
- [4] ABNT. Disponível em: <<https://www.abnt.org.br/>>. Acesso em: 27 dez. 2021.
- [5] International Electrotechnical Commission, *Sound level meters* (IEC 60651). 1 ed. Genebra, IEC, 1979.
- [6] International Electrotechnical Commission, *Integrating-averaging sound level meters* (IEC 60804). 1 ed. Genebra, IEC, 1985.
- [7] International Electrotechnical Commission, *Integrating-averaging sound level meters* (IEC 60804). 2 ed. Genebra, IEC, 2000.
- [8] International Electrotechnical Commission, *Electroacoustics - Sound level meters – Part 1: Specifications* (IEC 61672-1). 2 ed. Genebra, IEC, 2013.
- [9] Associação Brasileira de Normas Técnicas, *Eletroacústica - Sonômetros – Parte 1: Especificações* (ABNT NBR IEC 61672-1). 1 ed. Rio de Janeiro, IEC, 2021.
- [10] Organisation Internationale de Métrologie Légale, *Sound level meters* (OIML R 58). Troyes, OIML, 1998.
- [11] Organisation Internationale de Métrologie Légale, *Integration-averaging sound level meters* (OIML R 88). Troyes, OIML, 1998.
- [12] Milhomem, T. A. B. e Soares, Z. M. D. Apresentação da série IEC 61094 que trata de microfones de medição. In: XXV *Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica*, Sobrac 2014, Campinas/SP, Brasil, 2014.
- [13] International Electrotechnical Commission, *Electroacoustics - Sound level meters – Part 3: Periodic tests* (IEC 61672-3). 1 ed. Genebra, IEC, 2006
- [14] International Electrotechnical Commission, *Electroacoustics - Sound level meters – Part 3: Periodic tests* (IEC 61672-3). 2 ed. Genebra, IEC, 2013.
- [15] Associação Brasileira de Normas Técnicas, *Eletroacústica - Sonômetros – Parte 3: Testes periódicos* (ABNT NBR IEC 61672-3). 1 ed. Rio de Janeiro, IEC, 2018.
- [16] Associação Brasileira de Normas Técnicas, *Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração* (ABNT NBR ISO/IEC 17025). 2 ed. Rio de Janeiro, ISO/IEC, 2017.
- [17] Pinto, E. B. e Soares, Z. M. D. Verificação periódica de sonômetros: Desempenho acústico da ponderação em frequência. In: XXVIII *Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica*, Sobrac 2018, Porto Alegre/RS, Brasil, 2018.
- [18] Alves, E. A. A. F. G. Bondarenco, D. B. e Zajarkievaiech, J. E. B. Comparação da calibração



em instalação de campo livre com técnicas em campo de pressão segundo o teste acústico da IEC 61672-3. In: XXVIII *Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica*, Sobrac 2018, Porto Alegre/RS, Brasil, 2018.