

CALIBRAÇÃO DE PISTÃOFOFONES. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O MÉTODO DE APLICAÇÃO DE TENSÃO E O MÉTODO DE COMPARAÇÃO

REFERÊNCIA PACK: 43.58.VB

Antunes, Sónia
Laboratório Nacional de Engenharia Civil
Av. Brasil,101
1700-066 Lisboa
Portugal
Tel: (+351) 218443834
Fax: (+351) 218443028
Email: santunes@lnec.pt

ABSTRAT

A comparative analysis between the application of an insert voltage method and comparison method in the determination of a pistonphone sound pressure level is presented. On the first method a set of three LS1P microphones is used as reference standard and on the second a set of three reference pistonphones was used. The results achieved on applying both methods and the uncertainty budgets for a B&K 4220 pistonphone are here discuss.

RESUMO

Neste artigo efectua-se uma análise comparativa entre a utilização do método de aplicação de tensão e do método de comparação, para a determinação do nível de pressão sonora emitido por uma fonte sonora (pistãofone). No método de aplicação de tensão, a determinação do nível de pressão sonora emitido por um pistãofone é realizada tomando como referência a sensibilidade em pressão de três microfones do tipo LS1P. No método de comparação são utilizados como referência da medição, o valor do nível de pressão sonora emitido por três pistãofones padrão de referência. São apresentados para ambos os métodos os resultados e respectivas incertezas de medição, referentes à determinação do nível de pressão sonora emitido por um pistãofone da marca B&K 4220.

INTRODUÇÃO

Um ensaio de verificação periódica de um pistãofone compreende a determinação do nível de pressão sonora, frequência e distorção harmónica do sinal emitido por esta fonte

sonora. Na norma CEI 60942:1997 são publicados para três classes de exactidão (respectivamente classes 0, 1 e 2), valores de tolerância relativos às características do sinal emitido pela fonte sonora e os correspondentes valores máximos para a incerteza de medição expandida, os quais um laboratório metrológico não deve exceder. Desta forma, uma análise cuidada das várias fontes de incerteza que contribuem para este tipo de ensaio apresenta-se como um aspecto de primordial importância. Durante o ano de 2000 o Laboratório de Metrologia Acústica do LNEC, conjuntamente com outros laboratórios europeus, participou no projecto EUROMET 576 :*"Comparison of measurement uncertainty budgets for calibration of sound calibrators"*, pelo que, as análises relativas à incerteza de medição apresentadas neste artigo representam os dados que resultam da participação do laboratório português.

Existem dois métodos que permitem a determinação do nível de pressão sonora estabelecido por um pistãofone, quando na sua cavidade lhe é inserido um microfone. No método designado, neste artigo, como método de aplicação de tensão, o nível de pressão sonora emitido por um pistãofone é determinado a partir da medição da tensão de saída em circuito aberto de um microfone de sensibilidade conhecida (usualmente pela técnica da reciprocidade). No método da comparação é efectuada uma comparação sequencial das tensões de saída de um microfone, quando este transdutor é inserido no pistãofone do qual se pretende conhecer o nível de pressão sonora e quando inserido num pistãofone previamente calibrado. O Laboratório de Metrologia Acústica do LNEC utiliza normalmente o método de comparação. Para tal, encontra-se equipado com o sistema de calibração de pistãofones da marca Bruel & Kjaer, modelo 9604. Este sistema é constituído pelo conjunto de filtros passa-banda, modelo 1617; amplificador de medição, modelo 2610; multímetro diferencial de precisão, modelo 5908; atenuador de precisão modelo WB 0566 e transdutor de medição (constituído por microfone e pré-amplificador) modelo 9545. Como equipamento de referência, é utilizado um conjunto constituído por três pistãofones, modelo 4220. O nível de pressão sonora do pistãofone em ensaio, é determinado a partir do valor médio dos resultados obtidos na comparação do sinal emitido pelo pistãofone em ensaio com o sinal emitido por cada um de três pistãofones de referência. Na figura 1 apresenta-se fotografia da instrumentação referenciada anteriormente.

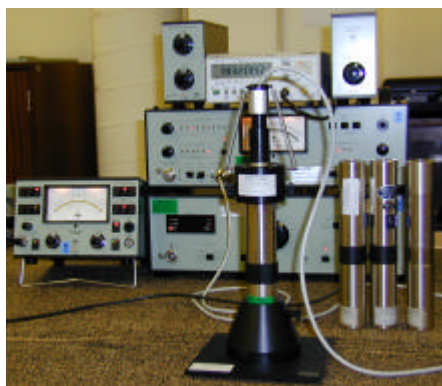


Figura 1 – Método de calibração de pistãofones por comparação

No entanto, a utilização desta metodologia só permite a determinação das características do sinal sonoro emitido por fontes sonoras (pistãofones e calibradores sonoros), do mesmo fabricante que o do sistema. Devido a tal facto, e uma vez que actualmente o mercado português não se restringe a uma só marca comercial, tornou-se necessário uma adaptação do sistema e dos procedimentos de medição, de forma a tornar viável a calibração de outros modelos de fontes sonoras. Para tal, optou-se por utilizar a técnica de aplicação de tensão para a determinação do nível de pressão sonora, utilizando-se como equipamento de referência três microfones do tipo LS1P, calibrados pela técnica da reciprocidade. Como equipamento de medição é utilizado o conjunto de filtros passa-banda, modelo 1617; o amplificador de medição, modelo 2610, o multímetro; o atenuador de precisão, modelo WB 0566, a unidade de junção modelo WB 0850; e pré-amplificador modelo 2645. A utilização do método de aplicação de tensão, relativamente ao método de comparação, na determinação do nível de pressão sonora de um pistãofone, possui a vantagem adicional de não se restringir à

frequência de operação do padrão de transferência utilizado (usualmente a frequência de 250 Hz), mas poder-se estender a gama de frequências compreendida entre 31,5 Hz e os 16 000 Hz.

Na figura 2 apresenta-se a instrumentação utilizada na determinação do nível de pressão sonora estabelecido por uma pistãofone com recurso à técnica de aplicação de tensão. Neste método, o procedimento de medição utilizado está relacionado directamente com a expressão que traduz o nível de pressão sonora L_p (em dB re. 20 μ Pa) gerado pelo pistãofone e corrigido para as condições ambientais de referência e de volume de carga (expressão 1).

$$L_p = 20 \log_{10} \left(\frac{U_{abs}}{p_0 \cdot S_{ref}} \cdot \frac{\gamma_{ref}}{\gamma} \cdot \frac{p_{s,ref}}{p_s} \cdot \frac{V_{pist} + V_{load}}{V_{pist} + V_{nom}} \right) - M_p \quad (1)$$

em que p_0 representa a pressão sonora de referência, S_{ref} a sensibilidade de referência (igual a 1V/Pa), U_{abs} a tensão de saída em circuito aberto do microfone, γ_{ref}/γ a razão entre calores específicos a temperatura e pressão constante, nas condições de medição e nas condições de referência, V_{pist} é o volume interior da cavidade do pistãofone (igual a 18 400 mm³); V_{nom} é o volume nominal de carga (igual a 1 333 mm³) e V_{load} é o volume de carga efectivo do microfone em mm³ e M_p representa o nível de sensibilidade do microfone nas condições de medição (em dB re 1V/Pa) .

O nível de pressão sonora emitido por cada pistãofone é igual ao valor médio dos resultados obtidos para três microfones do tipo LS1P. O valor do nível de pressão sonora emitido por um pistãofone quando um microfone está inserido no interior da sua cavidade, é calculado a partir do nível de tensão de saída do microfone ao qual se subtrai o nível de sensibilidade do microfone determinado para as condições de medição. Ao valor anterior é adicionado um termo relativo a pressão sonora de referência, e igual a 93,9794 dB.

O certificado de calibração de um microfone pela técnica da reciprocidade apresenta os valores relativos ao nível de sensibilidade deste transdutor em função da frequência e para as condições de referência (23°C, 50% e 101,325 kPa). O mesmo certificado fornece igualmente informação sobre os volumes de carga relativos a cada microfone. Assim, torna-se em primeiro lugar necessário calcular o nível de sensibilidade de cada microfone referido às condições de medição (que englobam as condições ambientais e as condições de medição relativas à frequência do sinal emitido pelo pistãofone e tensão de polarização do microfone). Para tal são utilizados os coeficientes de variação com a temperatura, humidade e pressão estática relativos aos microfones do tipo LS1P e fornecidos pelo fabricante do equipamento. Como muitas vezes a calibração do microfone é realizada a uma frequência ligeiramente diferente da frequência de funcionamento do pistãofone, também se torna necessário efectuar uma correcção relativa a este termo.



Figura 2– Método de aplicação de tensão para a calibração de pistãofones

Usualmente, os certificados de calibração destas fontes sonoras devem apresentar os valores obtidos nas condições de medição, mas também os resultados referidos às condições de referência.

INCERTEZAS DE MEDIÇÃO

Para ambos os métodos, as fontes principais de incertezas podem distribuir-se entre três diferentes origens. Assim, existem contribuições para a incerteza padrão originadas pelo equipamento de referência, contribuições relacionadas com o equipamento em ensaio e contribuições para a incerteza padrão directamente relacionadas com método de medição utilizado.

No método de comparação, as contribuições para a incerteza padrão relativas ao equipamento de referência estão relacionadas com a determinação do nível de pressão sonora estabelecido pelos pistãofones de referência. A contribuição para a incerteza de medição padrão relativa a esta determinação tem um valor de 0,027dB. Uma vez que o nível de pressão sonora estabelecido pelos pistãofones de referência apresenta usualmente uma variação ligeira entre duas calibrações sucessivas, é considerada uma contribuição para a incerteza de medição padrão relativa à deriva do nível de pressão sonora emitida pelo equipamento de referência. Esta contribuição tem um valor da ordem de 0,0289 dB e corresponde a um intervalo entre calibrações de 2 anos. Em medições efectuadas pelo método de comparação, é importante corrigir o nível de pressão sonora obtido para o equipamento em ensaio, de diferenças entre o valor de distorção dos sinais de saída referentes a cada equipamento. O valor da contribuição em causa é de 0,0058 dB. Directamente relacionadas com a forma de implementação experimental do método de comparação e com a instrumentação utilizada, estão as contribuições para a incerteza de medição padrão relacionadas com o erro de leitura no multímetro diferencial de tensão (contribuição igual a 0,0058 dB) e com a utilização do método de comparação (contribuição igual a 0,0116 dB). Finalmente, há ainda que considerar a repetibilidade dos resultados relativos à determinação do nível de pressão sonora emitido pelo equipamento a ensaiar, expresso em termos de um desvio padrão experimental da média para um conjunto de cinco medições. O valor desta contribuição para a incerteza de medição padrão é de 0,001dB.

No método de aplicação de tensão, as contribuições para a incerteza padrão referentes ao equipamento de referência, estão relacionadas com a determinação do nível de sensibilidade em circuito aberto do microfone tipo LS1P utilizado. A contribuição para a incerteza de medição padrão relativa a esta determinação tem um valor de 0,015 dB. Ainda relativamente à mesma característica do microfone (nível de sensibilidade em circuito aberto), devem ser consideradas as incertezas de medição relacionadas com as correcções efectuadas, em virtude das condições de medição diferirem das condições de referência. Assim, há que ter em conta contribuições para a incerteza de medição padrão associadas à influência das condições ambientais tais com a temperatura, a humidade relativa e pressão estática, no nível de sensibilidade em circuito aberto do equipamento de referência. As contribuições referidas tem um valor de respectivamente: 0,0009 dB; 0,0014 dB e 0,004 dB. Relativamente ao nível de sensibilidade em circuito aberto do microfone tipo LS1P, há ainda que ter em conta, a contribuição para a incerteza de medição devido à correcção relativa à diferença entre a frequência de calibração do microfone e a frequência do sinal emitido pelo pistãofone. Neste caso a contribuição referida toma um valor de 0,0000006 dB, pelo que, poderá não ser considerada. Finalmente, há que considerar as contribuições para a incerteza padrão devidas à deriva no nível de sensibilidade em circuito aberto do equipamento de referência (com um valor de 0,012 dB para um intervalo entre calibrações de 2 anos) e a contribuição relativa a determinação do volume de carga do microfone (com um valor de 0,0013 dB). No que diz respeito ao equipamento de ensaio (pistãofone) há que considerar as contribuições para a incerteza de medição padrão associadas à influência das condições ambientais: temperatura; humidade relativa e pressão estática, no nível de pressão sonora emitido por este equipamento. As contribuições referidas tem um valor de respectivamente: 0,0001 dB; 0,0001 dB e 0,025 dB. Relativamente ao método de medição é indicada uma única contribuição, designada por tensão de aplicação e de valor igual a 0,0083 dB. Esta contribuição integra a repetibilidade de medição (correspondente ao desvio padrão experimental da média,

para um conjunto de 6 medições) e a exactidão do multímetro para a gama de medição utilizada (de valor igual a 1,3 mV), quando a calibração deste equipamento é realizada com uma periodicidade anual.

RESULTADOS OBTIDOS E CONCLUSÕES

Na figura 3 apresentam-se os resultados obtidos para o nível de pressão sonora emitido pelos quatro pistãofones de referência do Laboratório de Metrologia Acústica do LNEC (referenciados pelos respectivos números de série), utilizando-se os dois métodos descritos anteriormente. As barras em torno de cada valor representam o valor relativo à incerteza de medição associada (a barra vermelha é correspondente ao método de comparação, enquanto que a azul é relativa ao método de aplicação de tensão).

Pela análise da figura 3 verifica-se uma grande proximidade entre os valores obtidos, verificando-se que a diferença entre resultados se encontra dentro dos limites de incerteza de cada um dos métodos. Este facto permite validar a metodologia adoptada no método de aplicação de tensão, na determinação do nível de pressão sonora emitido por um pistãofone. Verifica-se, igualmente, que os valores de incerteza associados ao método de aplicação são menores (da ordem de 0,07 dB, para um factor de expansão $k=2$) que os correspondentes valores obtidos pelo método da comparação (de ordem de 0,09 dB para um factor de expansão $k=2$).

A partir da utilização do método de inserção, será possível a calibração de vários modelos de fontes sonoras, directamente a partir dos microfones tipo LS1P ou LS2P, para numa gama de frequências compreendida entre o 250 Hz e os 4000 Hz, com um valor de incerteza de medição inferior ao método utilizado tradicionalmente.

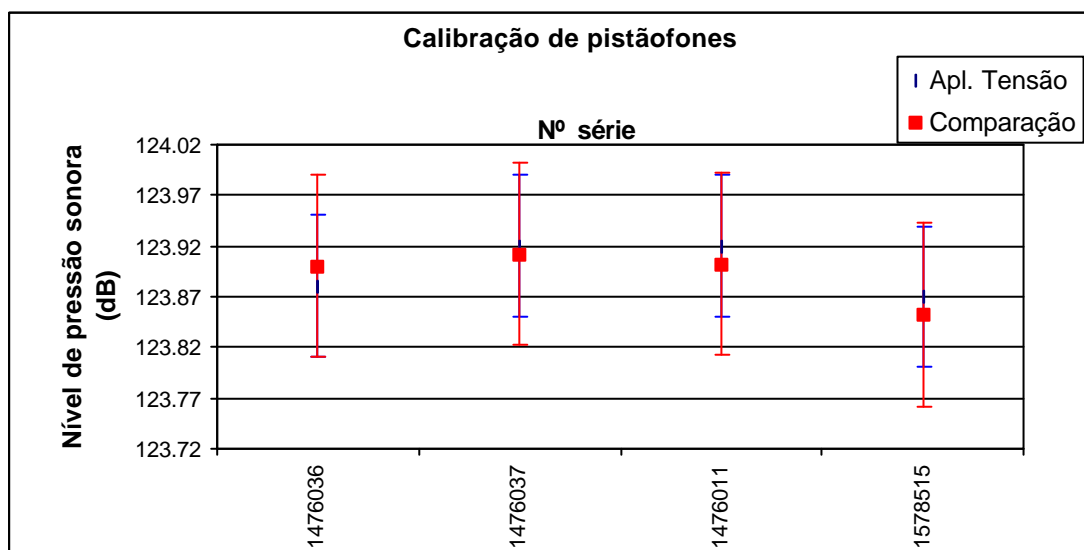


Figura 3 – Comparação de resultados obtidos pelo método de aplicação de tensão e método de comparação na determinação do nível de pressão sonora emitido por 4 pistãofones (resultados relativos as condições ambientais de referência :23°C, 50% e 101,3 kPa)

REFERÊNCIAS

- [1]– Beranek,L. – *Acoustical Measurements* - American Institute of Physics, New York ,1988, ISBN 0-88318-583-0
- [2] – Instituto Português da Qualidade – *Vocabulário Internacional de Metrologia:termos fundamentais e gerais* - Instituto Português da Qualidade, Segunda Edição, Monte da Caparica, 1996
- [3] – Bureau International des Poids et Mesures et al–*Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* - International Organization for Standardization, First Edition, Switzerland, 1995, ISBN 92-67-10188-9
- [4] –Hanes,P.– *Comparison of measurement uncertainty budgets for calibration of sound calibrators: Euromet Project 576-NPL Report CMAM 73*, National Physical Laboratory, Teddington, October 2001,ISSN 1369-6785
- [5] – International Electrotechnical Commission,1997. *Electroacoustics- Sound calibrators IEC 60942:1997*
- [6] – Wong,G.K, Embleton,T. – *AIP Handbook of Condenser Microphones* - American Institute of Physics, New York , 1995, ISBN 1-56396-284-5
- [7] – Bruel & Kjaer – *Microphone Handbook* - Bruel & Kjaer , Naerun, 1996