

## CALIBRAÇÃO DE AUDIÓMETROS DE SONS PUROS

REFERÊNCIA PACK: 43.58.VB

Sónia Monteiro Antunes  
Laboratório Nacional de Engenharia Civil  
Av. do Brasil, 101  
1700 Lisboa  
E-mail: santunes@Inec.pt

### ABSTRACT

This paper presents the results taken from measurements made on the Telephonics TDH 39P headphones using an artificial ear according to IEC 60318 and the acoustic coupler according the IEC 60303 .

It also points out that while carrying out audiometric test - apart the audiologist own skills in conducting effectively the audiometric registrations and interpretation of results - there are other facts as important as these which should be considered. The equipment precision must be evaluated on a regular basis according to calibration tests. These tests must by taken according to International Standards by a laboratory with traceability to the acoustical primary standards. It also presents a set of calibration tests measurements in an air conduction audiometer.

### 1 - INTRODUÇÃO

A audiometria de sons puros por condução aérea é a medição do nível limiar de audição de um auditor, utilizando sons puros que são transmitidos ao ouvido a partir de auscultadores, para as diferentes frequências audiométricas. Esta medição tem como referência o nível limiar de audição de um auditor ontologicamente normal, para a frequência respectiva. Estes níveis de referência foram obtidos experimentalmente e correspondem a valores médios obtidos em diferentes laboratórios internacionais. Consoante o modelo de auscultadores incorporado no audiómetro de sons puros, este equipamento é calibrado utilizando-se um dispositivo que apresenta ao auscultador do audiómetro uma impedância acústica equivalente à apresentada pelo ouvido humano médio (ouvido artificial, especificado na norma IEC 60318-1:1998) ou então fazendo uso de um acoplador acústico (cavidade de forma e volume especificados na norma IEC60318-2:1998).

Para o ouvido artificial e para o acoplador acústico existem um conjunto de valores normalizados, em função da frequência, que representam o nível limiar de audição. Estes níveis são determinados em função do tipo de auscultador que se encontra aplicado sobre esse dispositivo, e para uma dada força de aplicação do auscultador (igual a  $4,5 \pm 0,5$  N). Estes valores, para cada frequência, são designados por nível limiar de pressão sonora equivalente de referência (RETSPL), e foram publicados na norma ISO 389-1:1991. Segundo esta norma, o acoplador acústico (assim como o conjunto de valores de RETSPL associados) deve ser somente utilizado para a calibração de audiómetros que incorporem auscultadores da marca Beyer DT48 com almofadas planas e auscultadores Telephonics TDH-39 com as almofadas MX 41/AR ou modelo 51. No que respeita ao ouvido artificial e ao conjunto de valores de RETSPL correspondentes, este dispositivo deve ser utilizado para as restantes combinações possíveis de auscultadores e almofadas, dentro dos limites especificados na norma. No entanto, nesta norma não é feita qualquer referência sobre a possível equivalência entre os modelos de



auscultadores Telephonics TDH39 e TDH39P (onde o encaixe metálico do auscultador é substituído por um encaixe de plástico) e conseqüentemente sobre o dispositivo a utilizar aquando da sua calibração.

## 2 - ENSAIOS REALIZADOS

Neste estudo foram obtidas respostas em frequência para um par de auscultadores do modelo TDH39P, num acoplador acústico (em conformidade com a norma IEC 60303) e num ouvido artificial (em conformidade com a norma IEC 60318). Cada auscultador é alimentado com uma tensão de valor eficaz igual a  $100 \pm 1$  mV. Esta tensão é gerada pelo gerador interno do analisador audio da Rohde and Schwart, modelo UPL, passando de seguida, por um amplificador de potência (Bruel Kjaer modelo 2706), de forma a assegurar-se uma fonte de baixa impedância para a alimentação dos auscultadores. O sistema no qual faz parte o acoplador acústico (marca Bruel & Kjaer modelo 4152) integra um microfone de 1 polegada (marca Bruel & Kjaer, modelo 4144 com grelha metálica protectora substituída pelo adaptador DB 0111), um adaptador de 1 para 1/2 polegada e um analisador de tempo real (marca Bruel & Kjaer, modelo 2241) em conformidade com as especificações requeridas na norma IEC 60651 para a classe de exactidão 1. O sistema no qual faz parte o ouvido artificial (marca Bruel & Kjaer modelo 4153) integra um microfone de 1/2 polegada (marca Bruel & Kjaer, modelo 4134) e o analisador de tempo real.

Para proceder-se ao ajuste inicial da sensibilidade de ambas as cadeia de medição foi utilizada uma fonte sonora de referência calibrada (pistãofone, marca Bruel & Kjaer, modelo 4228). Para cada medição foi seleccionado no analisador de tempo real a banda de terço de oitava, para a qual a frequência central de cada banda era a mais próxima da frequência audiométrica pretendida. As medições foram efectuadas numa sala com controlo em temperatura igual  $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ .

Cada auscultador foi colocado no acoplador acústico e no ouvido artificial, e sobre ele, foi colocada uma massa de forma cilíndrica de peso igual a 4,5 N. Foram realizadas cinco medições para cada frequência, rodando-se entre cada medição o auscultador de aproximadamente 75 graus. Igualmente para cada medição, foi registado o valor de tensão eficaz à saída do amplificador de potência de forma a assegurar-se um valor constante deste parâmetro ao longo da frequência.

Foram igualmente realizadas medições no acoplador acústico segundo um procedimento análogo ao anterior para uma configuração não normalizada deste dispositivo. Esta configuração corresponde a utilização do microfone 4144 com a grelha protectora fornecida pelo fabricante (DD 0011) em substituição do adaptador DB 0111. Os resultados assim obtidos pretendem ilustrar a importância da utilização da configuração normalizada, embora o seu uso prático não seja o mais conveniente, em virtude de o diafragma do microfone ficar exposto.

## 3 – RESULTADOS OBTIDOS

Os gráficos das figuras 1, 2 e 3 apresentam os resultados obtidos em termos de valor médio das medições efectuadas para os dois auscultadores, e respectivo desvio padrão. A partir de uma análise comparativa entre os gráficos das figuras 1 e 2 verifica-se que em termos físicos o acoplador acústico e o ouvido artificial apresentam diferentes cargas acústicas ao auscultador. De facto, os valores do nível de pressão sonora para os auscultadores TDH 39P obtidos com estes dois dispositivos são significativamente diferentes nas altas frequências (a partir dos 3150 Hz). É reconhecido que o ouvido artificial constitui uma aproximação mais razoável ao ouvido humano médio que o acoplador acústico. Assim a calibração deste modelo de auscultadores utilizando este ultimo dispositivo e os RETSPLs do modelo TDH 39 implicará, a partida, erros para frequências superiores a 3150 Hz. No entanto, esta conclusão deverá ser apoiada com medições subjectivas do limiar de audição utilizando os dois modelos de auscultadores.



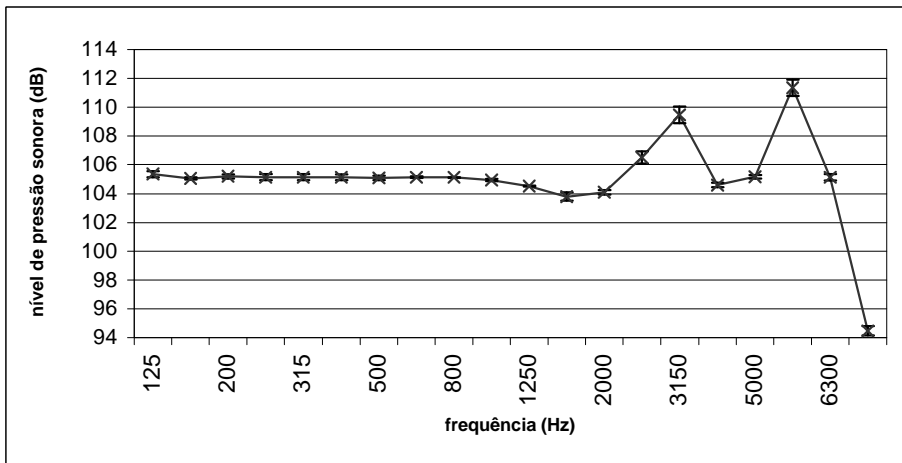


Figura 1 - Valor médio do nível de pressão sonora obtido no acoplador acústico especificado na IEC 60303

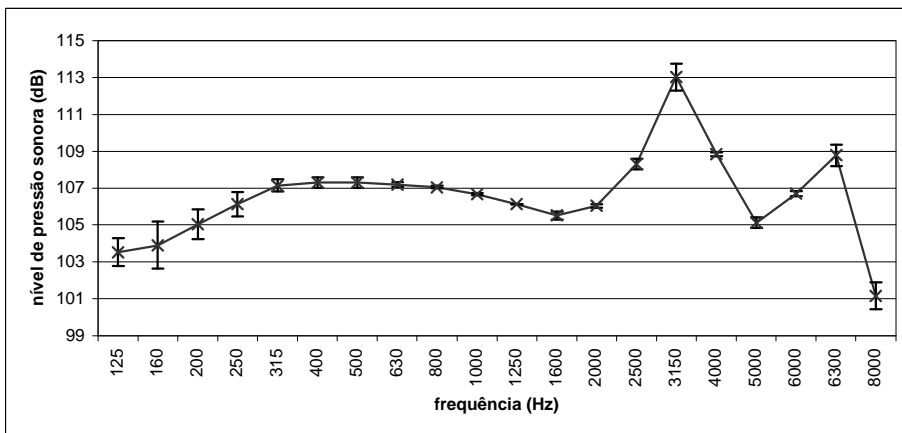


Figura 2 - Valor médio do nível de pressão sonora obtido no ouvido artificial especificado na IEC 60318

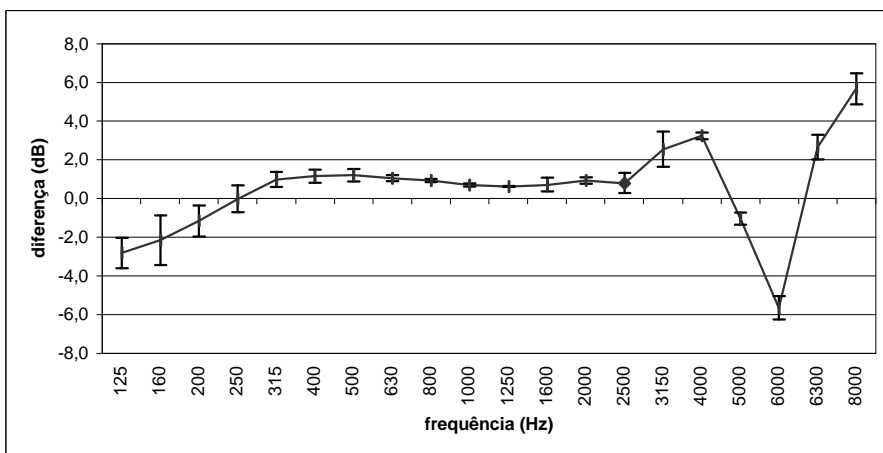


Figura 3 - Diferença entre os níveis de pressão sonora obtidos no ouvido artificial e no acoplador acústico

No que respeita a utilização da grelha do microfone 4144 no acoplador acústico, a partir da análise dos resultados da figura 4 (que correspondem à diferença entre os valores médios obtidos com o acoplador acústico na configuração normalizada e os obtidos utilizando-se a grelha do microfone) constata-se que a utilização da grelha



no microfone aumenta ligeiramente o volume da cavidade, diminuindo, em consequência, o nível de pressão sonora medido. Até frequências próximas dos 4000 Hz verifica-se uma diferença aproximadamente igual a  $\pm 0,5$  dB entre as duas configurações, no entanto para frequências superiores este valor aumenta significativamente. Embora o manual do fabricante sugira a possibilidade de utilização da grelha do microfone, num ensaio de calibração de um audiómetro não se aconselha a sua utilização.

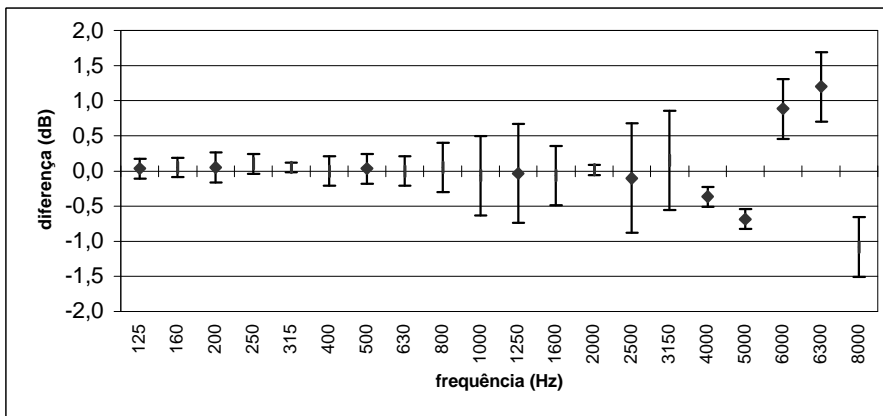


Figura 4 - Influência da grelha do microfone

#### 4 – CALIBRAÇÃO DE AUDIÓMETROS

Na realização de testes audiométricos, em adição à perícia do próprio audiologista, no que respeita a forma como conduz os registos audiométricos e sua interpretação, existem outros factores cuja influência nunca deve ser desprezada. A exactidão do equipamento utilizado pode e deve ser determinada, com uma certa periodicidade, a partir de ensaios de calibração a serem realizados por um laboratório que possua padrões próprios para o efeito e devidamente rastreados a padrões internacionais. Estes ensaios de controlo metrológico devem seguir os procedimentos descritos em Normas Internacionais. O certificado emitido deve apresentar de forma explícita todos os resultados e tolerâncias para os diferentes testes realizados, assim como a cadeia de rastreabilidade dos padrões utilizados e incertezas de medição associadas. O certificado de calibração deverá igualmente apresentar referência ao facto de o audiómetro ter sido ajustado ou não. Todos estes registos são importantes ao utilizador, uma vez que a sua análise ao longo do tempo, permite retirar uma ideia sobre a periodicidade mais adequada para a realização de um ensaio de calibração do equipamento que possui. Refira-se que segundo a recomendação R 104 da Organização Internacional de Metrologia Legal de 1992, esta periodicidade pode variar entre os 3 a 12 meses.

O próprio operador do audiómetro pode e deve realizar um conjunto de testes subjectivos, de forma a constatar o correcto funcionamento do equipamento que utiliza. Este conjunto de testes encontram-se descritos no anexo E da recomendação R 104 da OIML.

Os dispositivos utilizados na calibração de audiómetros de condução aérea (ouvido artificial e/ou o acoplador acústico) são integrados numa cadeia de medição que consiste num sonómetro e num conjunto de filtros de terço de oitava para análise em frequência, para além do próprio dispositivo e do microfone nele integrado. É igualmente utilizada uma fonte sonora (calibrador acústico), de forma a se aferir a sensibilidade global da cadeia de medição.

Para estabelecer a relação entre o nível de pressão sonora no microfone (registado pelo sonómetro) e o nível emitido pelo auscultador, é necessário ter informação relativa ao comportamento da cadeia de medição. Esta informação pode ser acedida a partir da calibração do microfone, do sonómetro e o conjunto de filtros utilizados. O



próprio calibrador acústico, deve igualmente ser objecto de calibração. As duas calibrações referidas anteriormente, permitem o estabelecimento da cadeia de rastreabilidade de um audiómetro aos padrões primários nacionais de pressão sonora, facto que deve ser sempre exigido aquando da calibração de um equipamento. Refira-se, não ser o facto de possuir um certificado de calibração de um audiómetro válido que garante a sua conformidade com as especificações normativas, mas sim, a obtenção de um certificado de calibração onde é evidenciada a cadeia da rastreabilidade do equipamento utilizado na calibração.

Na Recomendação R 104 da OIML são igualmente especificados os ensaios a efectuar em ensaios de aprovação de modelo de um audiómetro de sons puros, ensaios de primeira verificação e verificação periódica. Este conjunto de ensaios baseiam-se sobretudo na verificação do cumprimento das especificações descritas na norma IEC 60645. Usualmente num ensaio de calibração de um audiómetro o laboratório de metrologia acústica efectua ensaios de verificação da exactidão do nível de audição e nível do ruído de mascaramento de banda estreita; ensaios de verificação do valor da frequência do sinal emitido pelo audiómetro e ensaios para a determinação da distorção harmónica. Estes ensaios são efectuados de acordo com os seguintes procedimentos gerais:

No ensaio de exactidão do nível de audição é usualmente utilizado um sonómetro de classe de exactidão 1, em conformidade com as especificações descritas na IEC 60651 e um conjunto de filtros de terços de oitava em conformidade com as especificações descritas na IEC 60225. É utilizado o acoplador acústico (com o microfone B&K modelo 4144 sem a grelha protectora) ou o ouvido artificial (com o microfone B&K modelo 4134) consoante o modelo do auscultador incorporado no audiómetro a calibrar. Cada auscultador é colocado sobre o acoplador acústico ou ouvido artificial, e sobre ele, é colocada uma massa de forma cilíndrica de peso igual a 4,5 N. Para cada frequência audiométrica são realizadas três medições, rodando-se o auscultador entre cada medição. Este ensaio é conduzido em passos de 10 dB (NLA), nas diferentes frequências disponíveis. O quadro 1 apresenta os valores emitidos no certificado de calibração para um nível de audição (neste exemplo igual a 40 dB HL), no quadro 2 apresenta-se o balanço da incerteza de medição associado, para um factor de expansão de 2,00.

Quadro 1 – Valores emitidos num certificado de calibração de um audiómetro no ensaio de exactidão do nível de audição

Nível de audição : 40 dB HL

Frequencia Hz	Auscultador NS XXX valor médio (dB)	Desvio dB	Auscultador NS XXXX valor médio (dB)	Desvio dB	Tolerâncias dB
125	84,88	-0,12	85,02	0,02	± 3
250	66,9	-0,1	67	0,00	± 3
500	53,5	0	53,6	0,10	± 3
750	49,1	0,1	49,2	0,20	± 3
1000	47,1	-0,4	47,2	-0,30	± 3
1500	47,46	-0,04	47,3	-0,20	± 3
2000	48,6	-0,4	48,2	-0,80	± 3
3000	51,4	-0,1	51,5	0,00	± 3
4000	52,1	0,1	52	0,00	± 3
6000	56,04	0,04	55,9	-0,10	± 5
8000	55	-0,5	55,6	0,10	± 5

incerteza da medição: ± 0,35 dB

observações gerais: audiómetro ajustado pelo laboratório



Quadro 2 – Balanço da incerteza de medição

FONTES DE INCERTEZA	SIMBOLO	VALOR	LIMITE SUPERIOR DE ERRO	INCERTEZA DESVIO PADRÃO $s(x)$	DISTRUBUIÇÃO DE PROBABILIDADE	DIVISOR	COEFICIENTE DE SENSIB.	CONTRIBUIÇÃO PARA A INCER. PADRÃO $u_i(y)$	VARIÂNCIA $u_i(y)^2$	Nº DE GRAUS DE LIBERDADE
<b>TIPO A</b>										
<b>a1 :Repetibilidade</b>										
	dB			0,14	normal	2	1,00	7,00E-02	4,90E-03	2
<b>TIPO B</b>										
<b>b1:Nível de pressão sonora do pistãofone</b>										
B&K 4228	dB			0,07	normal	2	1,00	3,50E-02	1,23E-03	$\infty$
<b>b2:Determinação da resposta em frequência do microfone</b>										
	dB		0,25		rectangular	1,73	1,00	1,45E-01	2,09E-02	$\infty$
<b>b3:Resolução do analisador B&amp;K 2144</b>										
	dB		0,1		rectangular	1,73	1,00	5,78E-02	3,34E-03	$\infty$
<b>b4:Arredondamento do resultado final</b>										
	dB		0,05		rectangular	1,73	1,00	2,89E-02	8,35E-04	$\infty$
Variância (TOTAL)									3,12E-02	
Incerteza Padrão									0,177	81
Incerteza Expandida						0,35				

No ensaio de exactidão do nível de ruído de mascaramento de banda estreita, o equipamento e procedimentos utilizados são idênticos aos ensaio anterior. Para cada frequência, ao nível RETSPL é adicionado o correspondente nível de ruído de banda estreita de referência.

No ensaio de exactidão da frequência do sinal emitido pelo audiómetro, o sonómetro é substituído por um amplificador de medição (marca Bruel & Kjaer modelo 2610), sendo a saída AC deste amplificador ligada a entrada de um frequencímetro digital (marca Phillips modelo PM 6669 ). São realizadas cinco leituras do valor da frequência, calculando-se o desvio de cada uma em relação ao valor nominal correspondente.

Finalmente, no ensaio de distorção harmónica, o frequencímetro é substituído por um analisador audio (Rohde & Schwartz, modelo UPL). Para cada frequência, é medida directamente o valor da distorção da segunda, terceira e quartas harmónicas do sinal emitido pelo audiómetro, assim como o valor da distorção harmónica total.

## 5 - LEGISLAÇÃO PORTUGUESA NO DOMÍNIO DA AUDIOMETRIA

O Decreto Regulamentar nº 9/92, de 28 de Abril, estabelece no seu artigo 6º, que o controlo audiométrico de um



trabalhador exposto a um nível de ruído superior ao valor limite deve incluir uma audiometria liminar tonal em condução aérea, com a elaboração dos correspondentes audiogramas tonais, devendo-se efectuar a manutenção do audiómetros a utilizar em conformidade com norma portuguesa.

Em 1995, a União Europeia elaborou uma directiva para a marcação CE de produtos médicos - directiva 93/42/EEC, onde se incluem, naturalmente os audiómetros. Esta directiva encontra-se transposta para a legislação portuguesa na portaria nº 136/96 de 96/05/03. A marcação CE é oposta pelo fabricante, o qual deve possuir um sistema de qualidade devidamente certificado. O facto importante é que, se um audiómetro está de acordo com as especificações da Norma IEC 60645, ele respeita os requisitos essenciais da directiva de produtos médicos, podendo ser comercializado na União Europeia (à excepção dos ensaios de compatibilidade electromagnética).

## 6 – CONCLUSÕES

Embora as tolerâncias para a calibração de audiómetros (descritas na norma IEC 60645) sejam superiores às tolerâncias usualmente permitidas em outros equipamentos utilizados no domínio da Acústica, este facto não deve constituir um impedimento à “correcta calibração” de um audiómetro. Pelas palavras “ correcta calibração” entenda-se, uma calibração efectuada com base em procedimentos normalizados assente numa cadeia de rastreabilidade dos padrões utilizados devidamente estabelecida. Os resultados apresentados na experiência efectuada (ponto 3) permitem ilustrar alguns pormenores que se devem ter em consideração.

Um dos aspectos insatisfatórios da normalização actual no domínio da audiometria é a existência de dois dispositivos normalizados para a calibração de audiómetros: o ouvido artificial e o acoplador acústico. A necessidade, de cada laboratório de calibração possuir dois padrões diferentes, implica a calibração de um número superior de equipamento de referência.

## 7- REFERÊNCIAS

- ISO 392-1:1998, Acoustics - Reference zero for the calibration of audiometric equipment-Part 1: Reference equivalent threshold sound pressure levels for pure tones.
- ISO 389-4:1998, Acoustics - Reference zero for the calibration of audiometric equipment-Part 4: Reference levels for narrow-band masking noise.
- IEC 60645-1:1992, Electroacoustics – Audiometers-Part 1: Pure tone audiometers.
- OIML R104:1994- Pure tone audiometers.
- IEC 60318-1:1998, Electroacoustics – Simulators oh human head and ear- Part 1: Ear simulator for the calibration of supra-aural earphones.
- IEC 60318-2: 1998, Electroacoustics – Simulators oh human head and ear- Part 2: Acoustic coupler for the calibration of supra aural earphones used in audiometry.
- IEC60651: 1979, Electroacoustics – Sound level meters.
- NP 3225-3: 1986, Acustica - Vocabulario-Parte 3:Audição.
- International Organization of Standardization – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, 1ª ed., Switzerland, ISO, 1995, ISBN 92-67-10188-9.

