

Marcos Aurélio Pedroso

**Aspectos Metrológicos da
Calibração de Audiômetros**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Metrologia
Científica e Industrial da Universidade Federal de Santa Catarina

Orientador: Samir N. Y. Gerges, Ph D

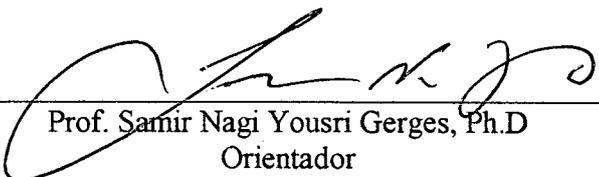
Co-orientador: Armando Albertazzi Gonçalves Jr., Dr

Florianópolis
Santa Catarina - Brasil
Fevereiro de 2002

Aspectos Metrológicos da Calibração de Audiômetros

Marcos Aurélio Pedroso

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de
Mestre em Metrologia
e aprovada na sua forma final pelo
Programa de Pós-graduação em Metrologia Científica e Industrial

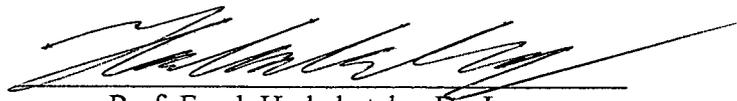


Prof. Samir Nagi Yousri Gerges, Ph.D
Orientador

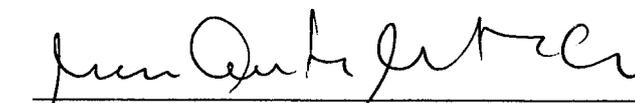


Prof. Armando Albertazzi Gonçalves Jr., Dr
Coordenador do Curso de Pós-graduação em Metrologia Científica e Industrial

Banca examinadora:



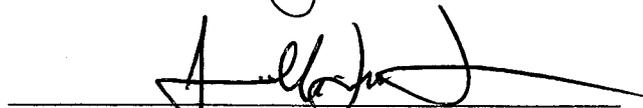
Prof. Frank Hrebabetzky, Dr. Ing.



Prof. Marco Antônio Martins Cavaco, Ph. D.



Prof. Roberto Jordan, Dr. Eng.



Eng. Zenar Martins Defilippo Soares
(LAETA / INMETRO)

Resumo

Título: Aspectos Metrológicos da Calibração de Audiômetros

Este trabalho teve como objetivo obter alguns dos elementos técnicos necessários para que laboratórios de calibração de audiômetros alcancem credenciamento junto ao Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, Inmetro. Foi necessária a elaboração de um procedimento técnico de calibração de audiômetros de tons puros, um modelo de certificado de calibração, e cálculos de incerteza de medição. Esses elementos são alguns dos requisitos para o credenciamento. Os aspectos metrológicos da calibração de audiômetros, rastreabilidade e incerteza de medição, foram avaliados através de ensaios de comparação interlaboratorial entre o Laboratório de Ruído Industrial (LARI – UFSC) e o Laboratório de Eletroacústica (LAETA – Inmetro). Os desempenhos metrológicos dos sistemas de medição de ambos laboratórios mostraram-se similares, indicando que a rastreabilidade das medições estava compatível com os valores esperados. Os cálculos do balanço de incertezas foram feitos com base nos documentos “Guia para a expressão da incerteza de medição” e “Versão brasileira do documento de referência EA-4/02 Expressão da incerteza de medição na calibração”. Alguns dos valores das fontes de incertezas foram estimados teoricamente, incerteza Tipo B, e outros experimentalmente, incerteza Tipo A. O valor global da incerteza dos níveis de pressão sonora calculado é similar aos valores declarados por outras instituições que fazem o mesmo tipo de calibração. A calibração do vibrador ósseo, nível de força vibratória, mostrou resultados inadequados. Isso devido ao tipo de acoplador mecânico utilizado, sendo importante substituí-lo por outro com desempenho superior.

Abstract

Title: Metrology aspects related to audiometer calibration

The main objective of this work is to present a metrology study necessary for the accreditation of audiometer calibration procedures at the National Brazilian Institute of Metrology Normalization and Quality Control (INMETRO). The technical proceeding and certificate data presentation for pure tone calibration was elaborated. A model for the calculation of measurements uncertainty was developed. Metrology aspects related to audiometer calibration, measurements uncertainty was quantified through intercomparison between results obtained at the Industrial Noise laboratory (LARI) of the Federal University of Santa Catarina (UFSC) and the Laboratory of Electric/acoustics (LAETA) of the Brazilian National Institute of Metrology Normalization and Quality Control (INMETRO). Similar metrology performance of the measurement system used in both laboratories is obtained, indicating that the interlaboratories results are compatible with the expected values. The uncertainty calculation was carried out based on the document "EA-4/02 Reference guide for the calculation of calibration measurements uncertainties". Some sources of uncertainty was calculated theoretically (uncertainty type B) and others sources was measured experimentally (uncertainty type A). The global value of uncertainty calculated of the sound pressure levels is similar to that given by other calibration institutions. The bone vibrator calibration and force level show unacceptable results, which may be due to the mechanical coupler used, which may be replaced by another internationally calibrated one.

Sumário

<i>Lista de figuras</i>	<i>ix</i>
<i>Lista de tabelas</i>	<i>xii</i>
<i>Lista de símbolos e siglas</i>	<i>xiv</i>
1. Introdução	1
2 Audiômetros de tom puro	4
2.1 Os blocos funcionais de um audiômetro de tom puro	6
2.1.1 Circuito gerador de tons puros	6
2.1.2 Ruído de mascaramento de banda larga	7
2.1.3 Ruído de mascaramento de banda estreita	8
2.1.4 Circuito atenuador de sinais	9
2.1.5 Fones de ouvido	12
2.1.6 O vibrador ósseo	14
2.1.7 Entradas para sinais externos	15
2.2 Classificação de audiômetros segundo norma internacional	17
2.3 Escalas de medição acústica aplicadas a audiômetros	19
2.3.1 Pressão sonora e força vibratória, vias de audição	20
2.3.2 A escala decibel	21
2.3.3 Nível de pressão sonora	21
2.3.4 Níveis de audição gerados em audiômetros	22
3 O estado da arte da calibração de audiômetros	27
3.1 Calibrar, ajustar, regular e verificar, definições distintas.	28
3.2 Por que calibrar?	31
3.3 Legislação e normas	32
3.4 Especificações de procedimentos, histórico e visão prática	33
3.5 A ordem de grandeza das incertezas de calibração de audiômetros	36
3.6 Características metrológicas esperadas de um audiômetro	39
4 Equipamentos padronizados para calibração de audiômetros, características metrológicas e utilização	45
4.1 Os elementos do sistema de calibração de audiômetros	45
4.1.1 Calibradores de nível sonoro	47

4.1.2	Acoplador acústico	49
4.1.3	O microfone de medição	51
4.1.4	Acoplador mecânico	53
4.1.5	Pré-amplificador de medição	55
4.1.6	Medidor de nível de pressão sonora	56
4.1.7	Frequenciômetro	56
4.1.8	Câmaras e cabinas	57
4.1.9	Outros equipamentos necessários	58
4.2	Sistematizando a calibração de audiômetros de tons puros	59
4.3	Recursos utilizados para automatização da calibração de audiômetros	60
4.4	Fontes de incertezas da calibração de audiômetros	62
4.4.1	Incerteza herdada do padrão, calibrador de nível sonoro.	66
4.4.2	Ajuste do sistema de medição	68
4.4.3	Resolução do medidor de NPS	69
4.4.4	A repetitividade das medições.	70
4.4.5	Influências da temperatura	74
4.4.6	Pressão atmosférica	78
4.4.7	Incertezas declaradas nos certificados de calibração do microfone de medição, pré-amplificador e medidor de NPS	79
4.4.8	Deriva do microfone, do pré-amplificador e do medidor de NPS	80
4.4.9	Erros de linearidade do microfone, do pré-amplificador e do medidor de NPS	81
4.4.10	Tensão de polarização do microfone	83
4.4.11	Umidade relativa do ar	84
4.4.12	A grade de proteção do microfone de medição	84
4.4.13	Orifício capilar do acoplador acústico	85
4.4.14	Tensão elétrica de alimentação	85
4.4.15	O ruído ambiente e ruído eletrônico	86
4.5	Balanco de incertezas da calibração de audiômetros	88
5	<i>A elaboração do procedimento de calibração. Um dos requisitos para o credenciamento na RBC</i>	94
5.1	Importância e finalidades de um procedimento de calibração	95
5.2	Requisitos e desenvolvimento do procedimento de calibração de audiômetros	96
5.2.1	Requisitos segundo norma ISO 17025	96
5.2.2	A estrutura do procedimento	98
5.2.3	Considerações sobre condições ambientais	98
5.2.4	Preparação e precauções	100
5.2.5	Comentários sobre o método de calibração	100

5.2.6	Registros	114
5.2.7	Análise dos resultados	114
5.2.8	Incertezas de medição	117
5.2.9	Apresentação dos resultados	118
6	<i>Ensaio de intercomparação. Avaliando a rastreabilidade</i>	119
7	<i>Considerações finais</i>	124
8	<i>Referências bibliográficas</i>	127
9	<i>Anexos</i>	130
9.1	Anexo 1 – Modelo de certificado de calibração de audiômetros LAETA / INMETRO	130
9.2	Anexo 2 – Procedimento de calibração proposto	139
9.3	Anexo 3 – Modelo de relatório de calibração de audiômetros proposto	158
9.4	Anexo 4 – Cópia do certificado de calibração de calibrador de nível sonoro	165
9.5	Anexo 5 – Cópia do certificado de calibração do microfone de medição	169
9.6	Anexo 6 – Cópia do certificado de calibração do pré-amplificador de medição	174
9.7	Anexo 7 – Cópia do certificado de calibração do medidor de NPS modelo 824	179
9.8	Anexo 8 – Cópia do certificado de calibração do audiômetro AC40 emitido por Acústica Orlandi Indústria e Comércio	187
9.9	Anexo 9 – Modelos de relatórios de calibração de audiômetros da Universidade Macquarie – Austrália	189

Lista de figuras

Figura 2.1	Diagrama ilustrativo geral do audiômetro e sua calibração _____	4
Figura 2.2	Gráfico de ruído simulado em computador _____	6
Figura 2.3	Exemplo de atenuador eletrônico com resistores em série _____	9
Figura 2.4	Diagrama eletrônico do atenuador do audiômetro modelo AD28 (Manual do fabricante – Interacoustics) _____	10
Figura 2.5	Características da almofada supra-aural <i>Telephonics</i> modelo MX41/AR (Norma ANSI S3.6-1996 [1]) _____	12
Figura 2.6	Caraterísticas da almofada tipo supra-aural <i>Telephonics</i> modelo 51 (Norma ANSI S3.6-1996 [1]) _____	12
Figura 2.7	Foto de fones supra-aurais modelo TDH 39 (Laboratório de Ruído Industrial – UFSC) _____	13
Figura 2.8	Foto de vibrador ósseo <i>Radioear</i> modelo B-71 (Laboratório de Ruído Industrial – UFSC) _____	14
Figura 2.9	Foto ampliada do vibrador ósseo <i>Radioear</i> modelo B-71 (Laboratório de Ruído Industrial - LARI – UFSC) _____	14
Figura 2.10	Esboço de um corte do ouvido humano (Rede Internet http://www.earaces.com/anatomy.htm - maio de 2001) _____	19
Figura 2.11	Curvas de contorno de audibilidade _____	21
Figura 2.12	Limiares equivalentes de nível de pressão sonora, fone modelo HDA200 _____	24
Figura 3.1	Demonstrativo de teste de conformidade com valor hipotético _____	40
Figura 3.2	Curva da envoltória normalizada para tons pulsáteis (Norma IEC 60645-1 [23]) _____	42
Figura 4.1	Diagrama ilustrativo da instrumentação de calibração de audiômetros _____	45
Figura 4.2	Foto de bancada do LARI, Sistema de calibração e audiômetro AC 40 _____	46
Figura 4.3	Foto de bancada do LARI, Sistema de calibração e audiômetro AD 25 _____	46

Figura 4.4	Corte longitudinal do calibrador de nível sonoro <i>Type 4230</i> (Manual do fabricante - Brüel & Kjær [9]) _____	47
Figura 4.5	Esboço do corte do acoplador acústico Larson Davis (NBS 9A) _____	49
Figura 4.6	Foto do acoplador acústico modelo <i>Type 4152</i> (Manual do fabricante - Brüel & Kjær) _____	49
Figura 4.7	Corte de microfone de medição capacitivo (Manual do fabricante - Brüel & Kjær) _____	50
Figura 4.8	Fotos do microfone de medição capacitivo de uma polegada (LARI – UFSC) _____	51
Figura 4.9	Fotos de acopladores mecânicos (mastóides artificiais) (NPL – Inglaterra) _____	53
Figura 4.10	Fotos do acoplador mecânico Larson Davis modelo AMC493 (LARI – UFSC) _____	53
Figura 4.11	Corte de acoplador mecânico fabricado por Brüel & Kjær (Rede Internet http://www.bk.dk) _____	54
Figura 4.12	Foto da cabina acústica e equipamentos de calibração de audiômetros (LAETA – INMETRO) _____	57
Figura 4.13	Foto do audiômetro modelo AD25 e equipamentos de calibração (LAETA – INMETRO) _____	60
Figura 4.14	Foto do audiômetro modelo AD25, equipamentos e computador (LAETA – INMETRO) _____	60
Figura 4.15	Diagrama de causa e efeito resumindo as possíveis fontes de incerteza da calibração de audiômetros _____	62
Figura 4.16	Gráfico comparativo de linearidade entre escala linear e decibel _____	63
Figura 4.17	Gráfico comparativo de linearidade entre escala linear e decibel _____	64
Figura 4.18	Gráfico demonstrativo do somatório de incertezas em decibel _____	65
Figura 4.19	Gráfico demonstrativo de deriva de calibrador de nível sonoro _____	66
Figura 4.20	Gráfico de tolerância do NPS do calibrador de nível sonoro <i>Type 4230</i> (Fabricante - Brüel & Kjær [9]) _____	74
Figura 4.21	Gráfico da influência da temperatura sobre a sensibilidade de um microfone de medição (Brüel & Kjær) _____	75

Figura 4.22	Gráfico da influência da temperatura de armazenamento sobre a deriva da sensibilidade de microfones de medição _____	79
Figura 4.23	Gráfico da linearidade do pré-amplificador PRM902 e do medidor de NPS 824 (Larson Davis Company) _____	81
Figura 4.24	Diagrama de blocos de um sistema de alimentação elétrica com regulador de tensão _____	84
Figura 5.1	Gráficos de calibração do microfone, pré-amplificador e medidor de NPS (Certificados de calibração de equipamentos do LARI, ver anexos) _____	103
Figura 5.2	Gráfico do espectro de sinal senoidal com distorção harmônica _____	110
Figura 5.3	Tela do <i>software AUDit</i> , (exibe testes que o aplicativo pode efetuar) _____	111
Figura 5.4	Tela do <i>software AUDit</i> , (exibe teste de conformidade) _____	115
Figura 5.5	Esboço da hierarquia na cadeia de rastreabilidade entre o INMETRO e o LARI – UFSC _____	119

Lista de tabelas

Tabela 2.1	Bandas de frequências normalizadas para ruídos de mascaramento	8
Tabela 2.2	Requisitos para tipos específicos de audiômetros de frequências fixas	16
Tabela 2.3	Faixa de frequência e de níveis de audição segundo o tipo de audiômetro	17
Tabela 4.1	Desvios padrão experimentais, calibração com acopladores mecânicos	53
Tabela 4.2	Desvios padrão experimentais da média (dB) Audiômetro modelo AC 40	71
Tabela 4.3	Desvios experimentais (dB) – Audiômetro modelo AD25 – Fone esquerdo	71
Tabela 4.4	Desvios experimentais (dB) – Audiômetro modelo AD25 – Fone direito	72
Tabela 4.5	Desvios experimentais (dB) – Audiômetro mod. AD25 – Vibrador ósseo	72
Tabela 4.6	Desvios padrão experimentais da média – Audiômetro modelo AD 25	73
Tabela 4.7	Resposta relativa à temperatura de 23 °C da mastóide artificial AMC 493	76
Tabela 4.8	Algumas especificações do medidor de NPS Larson Davis modelo 824	77
Tabela 4.9	Balanço de incertezas da calibração do audiômetro Interacoustics modelo AC 40, com sistema de calibração Larson Davis	90
Tabela 4.10	Continuação do balanço de incertezas da tabela 4.9	91
Tabela 4.11	Balanço de incertezas da calibração do audiômetro Interacoustics modelo AD 25, com sistema de calibração Larson Davis	92
Tabela 4.12	Continuação do balanço de incertezas da tabela 4.11	92
Tabela 5.1	Níveis de pressão sonora obtidos ao testar o fone esquerdo do audiômetro modelo AC 40	104
Tabela 5.2	Níveis de audição obtidos ao testar o fone esquerdo do audiômetro modelo AC 40	105
Tabela 5.3	Limiares equivalentes de referência de nível de pressão sonora para fones modelo TDH39, utilizando acoplador NBS 9-A	105
Tabela 5.4	Desvios padrão dos níveis de audição obtidos ao testar o fone esquerdo do audiômetro AC 40, nível selecionado 70 dB NA	105
Tabela 5.5	Desvios padrão dos níveis de audição obtidos ao testar o fone esquerdo do audiômetro AC 40, nível selecionado 10 dB NA	106
Tabela 5.6	Diferenças dos níveis de audição de calibrações em datas diferentes, audiômetro AC 40, fone esquerdo	106
Tabela 5.7	Resultados das medições de frequências e distorção harmônica do audiômetro modelo AC40 com sistema Larson Davis 824	109

Tabela 5.8	Sensibilidade da mastóide artificial modelo AMC493, n.º de série 1064; em dB re 20 μ Pa / μ N _____	112
Tabela 5.9	Limiares equivalentes de referência do nível de força (LERNF re 1 μ N), para vibradores ósseos modelo B-71, posicionamento sobre a proeminência do osso mastóide _____	112
Tabela 5.10	Desvios dos níveis de audição obtidos ao testar o fone esquerdo do audiômetro AC 40 _____	114
Tabela 5.11	Distorção harmônica máxima permissível por norma, da pressão sonora ou da força vibratória gerada por audiômetros, expressa em porcentagem ____	116
Tabela 6.1	Comparação dos desvios, audiômetro modelo AD 25, fone esquerdo, ensaios de intercomparação no LAETA e no LARI _____	120
Tabela 6.2	Medições repetitivas, no LAETA, com audiômetro modelo AD 25, fone esquerdo _____	120
Tabela 6.3	Comparação entre as médias dos desvios, audiômetro modelo AD 25, fone esquerdo, diversos níveis de audição selecionados _____	121
Tabela 6.4	Comparação entre médias dos desvios, audiômetro modelo AD 25, vibrador ósseo modelo B-71 _____	121
Tabela 6.5	Resultados das medições de frequências e distorção harmônica do audiômetro modelo AD 25 _____	122

Lista de símbolos e siglas

A – ampère (Unidade de corrente elétrica)

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANSI – American National Standards Institute

ASHA – American Speech-Language-Hearing Association

B&K – Brüel & Kjær

c – velocidade de propagação do som no ar (em metros por segundo)

C – valor da correção de um efeitos sistemático conhecido

CD – compact disc

CERTI – Fundação Centros em Tecnologias Inovadoras

C_t - taxa de variação da sensibilidade do microfone em função da variação de temperatura (em dB/°C)

dB NA – decibel nível de audição

dB HL – *decibel hearing level* (decibel nível de audição)

dB re 1V/Pa – decibel relativo a um volt por pascal

dB re 20μPa – decibel relativo a vinte micro pascal

Desvio_freq% - desvio percentual da frequência medida em relação ao seu valor nominal

DHT – distorção harmônica total

DIAMI – Divisão de Acústica e Vibrações (INMETRO)

DICLA – Divisão de credenciamento de laboratórios do INMETRO

EA – European Accreditation

ELETRONORTE – Centrais Elétrica do Norte do Brasil S/A

erro_{lin} – erro de linearidade

EUA – Estados Unidos da América

f – frequência

f – relação funcional utilizada para expressar matematicamente a relação entre variáveis aleatórias

FD – fone direito

FE – fone esquerdo

Hz – hertz (Unidade de frequência)

I – intensidade sonora (em watts por metro quadrado)

I – indicação do instrumento de medição

IC – integrated circuit (Circuito integrado)

IEC – International Electrotechnical Commission

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

ISO - International Organization for Standardization

JASA – Journal of the Acoustical Society of America

k – múltiplo equivalente a 10^3

k – fator de abrangência

kHz – quilo hertz (Unidade de frequência, corresponde a mil vezes a unidade hertz)

$k_{95\%}$ - fator de abrangência utilizado para obter a incerteza $U_{95\%}$

kVA – quilo volt ampère (Unidade de potência elétrica)

LACEN – Laboratório Central da Eletronorte

LAETA – Laboratório de Eletroacústica

LARI – Laboratório de Ruído Industrial – Departamento de Engenharia Mecânica –
Universidade Federal de Santa Catarina

LERNF – limiar equivalente de referência de nível de força vibratória

LENPS – limiar equivalente de nível de pressão sonora

LERNPS – limiar equivalente de referência de nível de pressão sonora

L.I.T. – limite inferior de tolerância

L.S.T. – limite superior de tolerância

\log_{10} – logaritmo base dez

M – valor medido (hipotético)

m^2 – metro quadrado (Unidade de área)

mA – mili ampère (Unidade de corrente elétrica, equivale a 10^{-3} ampère)

máx – máximo

n – número de medições

N – newton (Unidade de força)

N – valor nominal

N/m^2 – newton por metro quadrado (Unidade de pressão sonora)

NA – nível de audição

NBS – National Bureau of Standards

NBR – norma brasileira

NF – nível de força vibratória

NPL – National Physical Laboratory

NPS – nível de pressão sonora

No break – aparelho que fornece alimentação elétrica evitando quedas temporárias da energia fornecida

OSHA – *Occupational Safety & Health Administration*

P – pressão sonora

P_0 – pressão sonora de referência

P_a – pascal (Unidade de pressão sonora)

PC – *personal computer* (Computador pessoal)

PósMCI – Curso de pós-graduação em metrologia científica e industrial

q - variável aleatória

\bar{q} - média aritmética dos n valores da variável aleatória q

R – resistor

RBC – Rede Brasileira de Laboratórios de Calibração

Rel. humidity(%) – umidade relativa (em percentagem)

RM – resultado da medição

RMS – *root means square* (Raiz quadrada das médias quadráticas – corresponde ao valor eficaz do sinal)

R – resolução do instrumento de medição

Re – valor da repetitividade associada a um conjunto de valores de medições

s – desvio padrão experimental

$s(\bar{q})$ – desvio padrão experimental da média

SLM – *sound level meter* (Medidor de nível de pressão sonora)

SPL – *sound pressure level* (Nível de pressão sonora)

t – coeficiente t de *student*

T – tolerância

t_a – taxa de acréscimo de incerteza em função da diferença da temperatura ambiente em relação a temperatura de referência informada para o calibrador de nível sonoro.

THD – *total harmonic distortion* (Distorção harmônica total)

u – incerteza padrão

U – incerteza expandida

u_A – incerteza padrão Tipo A, incerteza padrão experimental

u_c – incerteza padrão combinada

$U_{95\%}$ - símbolo da incerteza expandida, probabilidade de abrangência de 95 %

UME – *Ulusal Metroloji Enstitusu* (Instituto nacional de metrologia da Turquia)

U.S. – *United States*

V – volt (Unidade de tensão elétrica)

V.A. – via aérea (de audição)

V_{ef} – volt eficaz (Unidade de tensão elétrica eficaz)

VIM – Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia

V.O. – via óssea (de audição)

V_{pol} – tensão de polarização do microfone de medição capacitivo (em volts)

W – watt (Unidade de potência)

ρ - densidade do ar (em kg/m^3)

μ - micro, submúltiplo que corresponde a 10^{-6}

μV – micro volt (Unidade de tensão elétrica, equivale a 10^{-6} volt)

Δt – diferença máxima de temperatura em relação à temperatura de referência

$\Delta\theta$ - variação da temperatura durante a calibração do audiômetro (em $^{\circ}\text{C}$)

$\Delta\theta_{\text{dB}}$ – variação da sensibilidade do microfone devido a variação da temperatura (em dB)

π - constante que corresponde a aproximadamente 3,14159

$^{\circ}\text{C}$ – graus Celsius (Unidade de temperatura)

ν - número de graus de liberdade

ν_{ef} – número de graus de liberdade efetivos

1. Introdução

No contexto brasileiro atual existe apenas um laboratório credenciado junto ao INMETRO na área de acústica e vibrações [20]. Este laboratório, o Laboratório Central da Eletronorte - LACEN, obteve credenciamento na área específica de calibração de acelerômetros¹ tornando-se o único membro da RBC para este fim, pelo menos até o ano 2000. Entretanto na área de acústica não existe nenhum laboratório filiado a RBC, apenas o INMETRO que é o instituto metrológico de referência atua em caráter oficial. Este último, através do laboratório de Eletroacústica - LAETA² - presta serviços de calibração de microfones, medidores de nível de pressão sonora, audiômetros, entre outros, porém está cada vez mais sobrecarregado devido à demanda crescente. Essa centralização do serviço e conseqüente sobrecarga são elementos de motivação para que os laboratórios brasileiros da área de acústica busquem o credenciamento. De fato, os laboratórios podem emitir relatórios e certificados de calibração sem ter o credenciamento, mas atualmente o mercado exige cada vez mais o serviço prestado por laboratórios credenciados, por questões de confiabilidade.

Nos últimos dois anos houve grande mobilização, e ainda está havendo, com relação a traduções de normas, reuniões de grupo de pessoas de diversas áreas interessadas, e

¹ Credenciamento INMETRO n.º 153. Data: 06/09/2000, Área: acústica e vibrações, transdutores dinâmicos, acelerômetros.

² Seguindo a hierarquia - INMETRO, DIAVI (Divisão de Acústica e Vibrações), LAETA (Laboratório de Eletroacústica).

planejamento de comparações interlaboratoriais. Todas essas ações estão voltadas para área específica de calibração de audiômetros. Sendo evidente o grande interesse da iniciativa privada e também do LAETA/INMETRO em estabelecer uma rede de laboratórios de calibração de audiômetros no Brasil. Esse trabalho de mestrado vem de encontro com algumas necessidades essenciais para o desenvolvimento dessa futura rede de laboratórios credenciados. Principalmente os aspectos básicos de metrologia, a rastreabilidade e a incerteza de medição.

Entre os laboratórios interessados no mérito do credenciamento está o Laboratório de Ruído Industrial (LARI) da Universidade Federal de Santa Catarina. Tal pretensão determina que o LARI futuramente deverá atender aos requisitos de competência para laboratórios de calibração e ensaio que se encontram descritos na norma ISO 17025. Será necessário apresentar o procedimento de calibração de audiômetros, o modelo de cálculo de incerteza de medição, e as evidências de rastreabilidade.

O INMETRO não disponibiliza um procedimento ou modelo de procedimento de calibração de audiômetros, por esse motivo é extremamente necessário desenvolver um procedimento com conhecimentos e tecnologia próprios. Geralmente o modelo de cálculo de incertezas é incluído no procedimento, ou pelo menos os valores das incertezas a serem declarados, sendo um dos problemas técnicos a ser enfrentado por todos os laboratórios de calibração postulantes ao credenciamento.

O objetivo geral é aplicar conhecimentos metrológicos para fins de avaliação da rastreabilidade e da ordem de grandeza da incerteza da calibração de audiômetros. Entre os objetivos específicos estão a elaboração de um modelo de relatório e de um modelo de procedimento de calibração de audiômetros, para uso futuro no LARI, a implementação e testes de um sistema de calibração automatizado, verificando o atendimento às necessidades locais a partir dos equipamentos que já foram adquiridos, planejar e executar experimentos de calibração e intercomparação. Além disso, tornar o conteúdo desse trabalho um elemento de auxílio para futuro credenciamento do LARI.

A metodologia contou com um estudo teórico prévio onde foram levantadas informações a respeito da ordem de grandeza da incerteza, dos níveis de pressão sonora e força vibratória característicos de tipo de calibração. Posteriormente foram executados ensaios experimentais para determinar se os parâmetros levantados realmente correspondiam aos valores teóricos. Também foram efetuados ensaios de intercomparação laboratorial para

avaliar o desempenho do sistema de medição com relação às medições de frequências e medições de distorção harmônica total dos tons puros.

A estrutura desse trabalho foi dividida em sete capítulos. O primeiro é de caráter introdutório. O segundo descreve uma visão geral do audiômetro de tons puros, seus componentes e alguns aspectos de funcionamento. O capítulo três apresenta algumas definições relativas ao estudo do significado da calibração de audiômetros. É baseado em várias literaturas, e busca unir as idéias de diversos autores e normas relacionados ao tema. O capítulo quatro se refere a características específicas dos equipamentos utilizados em calibração de audiômetros e a sistematização da mesma. Também são apresentados o estudo do conjunto de fontes de incertezas e o balanço de incertezas. A importância da elaboração do procedimento de calibração foi comentada no capítulo cinco. No capítulo seis é apresentada uma série de resultados de ensaios de calibração de audiômetros visando avaliar o aspecto da rastreabilidade das medições. O último capítulo apresenta as considerações finais.

2 Audiômetros de tom puro

A figura 1.1 mostra de forma simplificada uma visão geral de um audiômetro, e também um esboço do sistema de calibração. Estão representadas as vias aérea e óssea, fones de ouvido e vibrador ósseo respectivamente; em alguns casos são utilizadas caixas de som para audiometria em campo livre ou reverberante³. A figura 1.1 também ilustra algumas possibilidades de controles atribuídas ao operador, os manuais, e um exemplo de sistema de alimentação elétrica que será discutido mais tarde devido sua importância como possível fonte de incerteza.

Audiômetros são aparelhos eletrônicos utilizados para avaliação da audição, através de seus fones de ouvidos e de vibrador ósseo, ou seja, audiômetros são utilizados em testes audiométricos. O teste audiométrico onde o paciente usa os fones de ouvidos, teste por via aérea, é o teste inicial para avaliar se há alguma eventual perda auditiva no(s) ouvido(s) do paciente. Caso seja constatada alguma perda auditiva deverá ser efetuado o teste com o vibrador ósseo posicionado sobre determinados ossos cranianos, teste por via óssea. Esse teste irá determinar a localização da causa da perda auditiva, essa avaliação é chamada topodiagnóstico. A perda auditiva pode estar localizada no ouvido externo, ouvido médio, ou ouvido interno.

³ Campo livre neste caso significa que o som se propaga por via aérea, mas é gerado por caixas de som e em local específico para audiometria, uma sala fechada para evitar interferências externas, por exemplo.

O primeiro audiômetro foi desenvolvido na década de 1920 [34]. Há décadas atrás os aparelhos audiométricos eram montados a partir de válvulas eletrônicas, como componentes ativos principais, atualmente substituídas por transistores e circuitos integrados⁴ com tamanho e consumo de energia muito menores. Isso possibilitou recursos mais avançados tais como audiômetros com registro automático, com impressora de audiogramas, automatização de seqüências de testes predeterminados, etc.

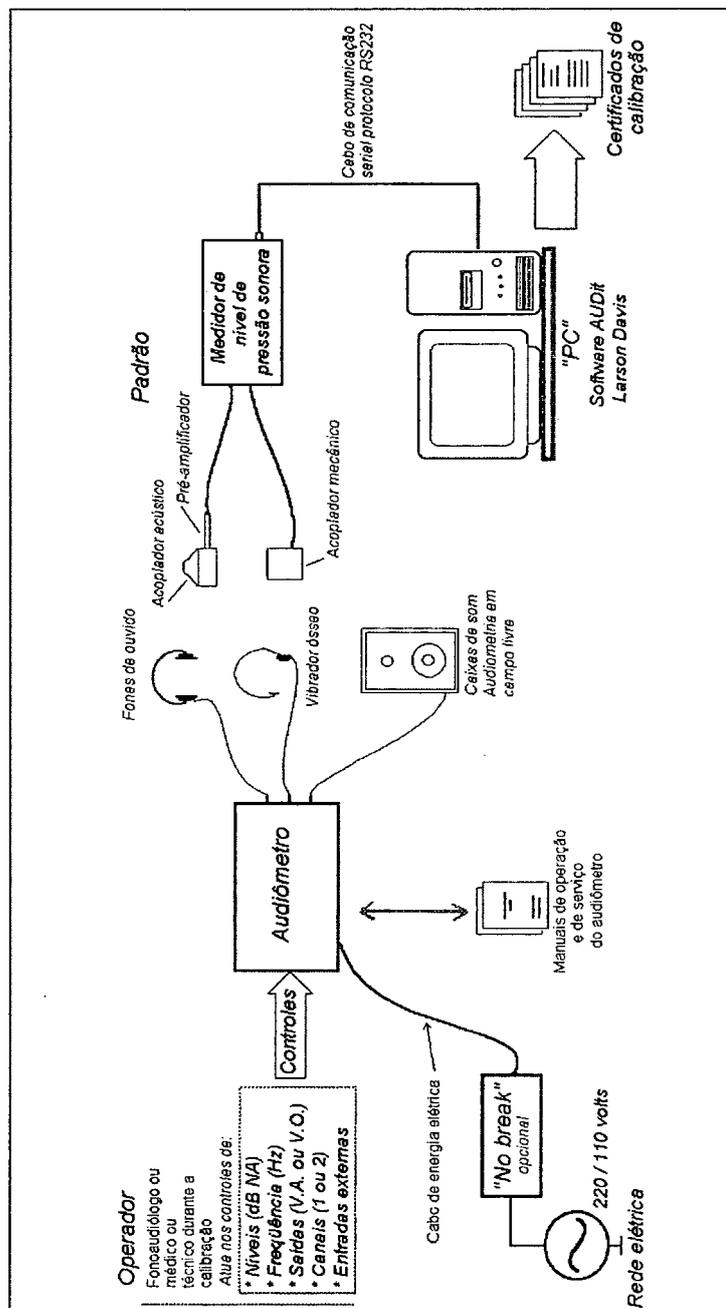


Figura 2.1 - Diagrama ilustrativo geral do audiômetro e sua calibração

⁴ Tipo de componente que contém uma pastilha, geralmente de silício, a qual pode desempenhar as funções de um circuito composto de vários componentes individuais, tais como transistores, resistores, capacitores, diodos.

2.1 Os blocos funcionais de um audiômetro de tom puro

Alguns detalhes sobre características internas de audiômetros podem ser estudados a partir de um aparelho específico. Por exemplo, um audiômetro como o Interacoustics modelo AC 40, utilizado pelo LARI, possui cerca de oitenta circuitos integrados, entre outros componentes, os quais implementam diversas funções do conjunto, por exemplo: gerar, amplificar e controlar sinais eletrônicos senoidais e bandas de ruídos; filtros eletrônicos, reguladores de tensão, circuitos de memória e processamento digital, circuito do sistema de comunicação com computador (portas seriais protocolo RS232), circuitos da impressora de audiogramas, do monitor do sinal de saída, do *display* de cristal líquido, do microfone do operador, das entradas de sinais externos, e circuito de resposta do paciente. Além dos circuitos dedicados, há outras maneiras de implementar essas funções; é possível encontrar no mercado audiômetros que usam microcomputador para gerar e controlar as mesmas funções em conjunto com uma placa de circuito especial e *software*⁵ desenvolvidos para esse fim.

2.1.1 Circuito gerador de tons puros

Também chamado circuito oscilador, gera sinais eletrônicos, de tensão, que são amplificados e aplicados aos fones de ouvidos e/ou vibrador ósseo. O sinal elétrico senoidal, ou cosenoidal, quando aplicado aos transdutores produz som ou força vibratória denominada tom puro, porque seu conteúdo espectral é propositamente formado por uma única frequência. Alguns circuitos eletrônicos, inclusive osciladores, podem ser implementados por circuitos analógicos dedicados, ou sistemas digitais como os computadorizados em conjunto com *software*, e neste último caso a forma de onda será controlada por algoritmo(s) programado(s).

Todos os circuitos desde o oscilador, amplificador, atenuador, conexão de saída, cabos coaxiais, e transdutores devem ser estáveis diante das variações das condições ambientais, como temperatura e umidade. Os circuitos também devem manter suas características frente às variações de tensão de alimentação e a variação da temperatura causada pela dissipação de calor gerado internamente.

⁵ Designação comum de programas aplicativos de computador que funcionam em conjunto com um sistema operacional.

Pode haver mais que um circuito oscilador; alguns modelos de audiômetros mais elaborados têm um recurso adicional chamado “tom de referência”; no próximo capítulo será visto como ele se enquadra na classificação da norma. Audiômetros de dois canais também podem ter dois osciladores, ou mais.

2.1.2 Ruído de mascaramento de banda larga

Segundo Iêda Russo [34] “toda vez que, após a testagem da via aérea dos dois ouvidos, ocorrer uma diferença igual ou maior que 35 dB, em uma ou mais frequências, torna-se necessário o uso do mascaramento”. Neste caso para que o ouvido mais sensível não responda pelo outro, onde se localiza a perda auditiva, é necessário usar de mascaramento contralateral. O mascaramento pode ser feito por ruído de banda larga (ruído branco ou ruído rosa), ou de banda estreita, ou outra banda de ruído específica como o ruído de mascaramento da fala. A escolha do tipo de ruído fica a critério do fonoaudiólogo, ou médico, segundo seus conhecimentos e objetivos durante o teste audiométrico.

Sinais de ruído elétrico são gerados no interior de componentes eletrônicos simples, como um resistor, transistor, diodo, etc. A partir da amplificação de um sinal de ruído elétrico de banda larga aplicado ao fone de ouvido obtém-se o ruído sonoro para efetuar o mascaramento. As formas de ondas de ruído também podem ser geradas por software em dispositivos digitais como computadores.

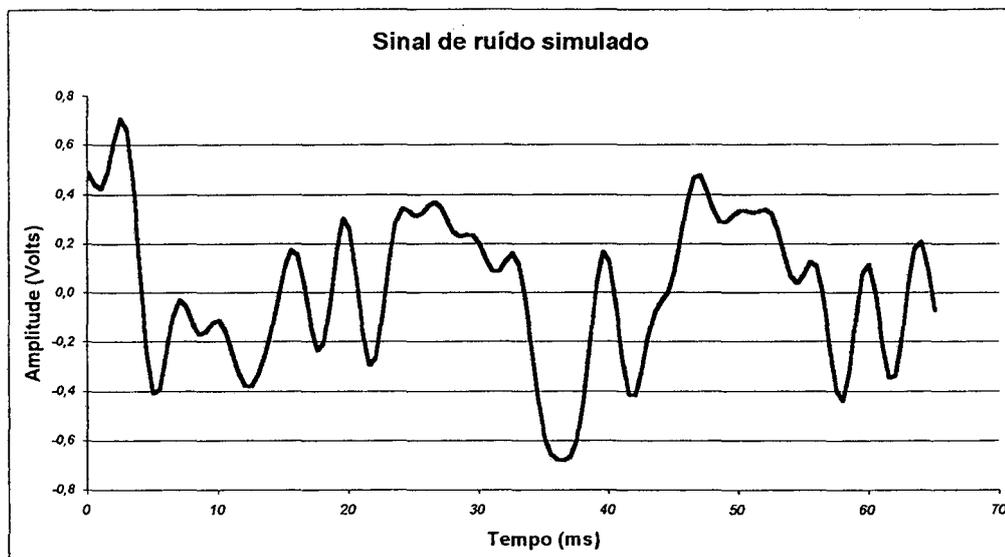


Figura 2.2 - Gráfico de ruído simulado em computador

Do ponto de vista metrológico o valor eficaz (*RMS*) do ruído é uma grandeza variável⁶, condição diferente dos tons puros. E devido a essa característica, sempre é necessário obter a média de várias medições das amplitudes do ruído, chegando a um valor representativo e mais confiável. A figura 2.2 mostra uma forma de onda de uma simulação de ruído, feita em computador, com componentes de frequência entre 30 e 300 Hz; pode-se perceber a assimetria e grandes variações nos pontos de pico, que torna o processo de medição mais elaborado do que medir ondas senoidais bem comportadas.

2.1.3 Ruído de mascaramento de banda estreita

Nem sempre o mascaramento por ruído de banda larga é o mais indicado. Segundo Iêda Russo [34] “se o tom puro é o estímulo usado, o ruído de banda estreita provou ser mais eficiente, por apresentar um espectro acústico mais concentrado na frequência sob teste e necessitar menor quantidade de energia para anular sua presença”.

As características espectrais das larguras de banda máxima e mínima permitidas, e as frequências centrais estão especificadas em 6.3.1 da norma IEC 60645-1 [23].

A tabela 2.1 corresponde à tabela 6 da norma IEC 645-1 [23]. A partir de 400 Hz até 8000 Hz as larguras de bandas normalizadas são no mínimo um terço de oitava da frequência central, e no máximo um meio de oitava da frequência central de cada banda. Também existem critérios especificados a respeito do formato da curva espectral do ruído, por exemplo, qual a taxa mínima de decaimento de amplitude (dB / oitava) antes ou após as frequências de corte inferior e superior.

A escolha da banda dos filtros eletrônicos do sistema de medição é fundamental para alcançar resultados confiáveis. Filtros com bandas inferiores a meia oitava impedirão que toda a energia do sinal seja medida, assim os valores dos níveis de audição dos ruídos de banda estreita obtidos indicarão não-conformidade, serão menores, mesmo que o audiômetro esteja ajustado corretamente.

⁶ Quando valores variam além da resolução do instrumento de medição utilizado.

Tabela 2.1

“ Ruído de mascaramento de banda estreita: frequências de corte superiores e inferiores para um nível de densidade espectral de pressão sonora de -3 dB referido ao nível da frequência central da banda.”

Frequência central (Hz)	Frequência de corte inferior (Hz)		Frequência de corte superior (Hz)	
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
125	105	111	140	149
160	136	143	180	190
200	168	178	224	238
250	210	223	281	297
315	265	281	354	375
400	336	356	449	476
500	420	445	561	595
630	530	561	707	749
750	631	668	842	892
800	673	713	898	951
1.000	841	891	1.120	1.190
1.250	1.050	1.110	1.400	1.490
1.500	1.260	1.340	1.680	1.780
1.600	1.350	1.430	1.800	1.900
2.000	1.680	1.780	2.240	2.380
2.500	2.100	2.230	2.810	2.970
3.000	2.520	2.670	3.370	3.570
3.150	2.650	2.810	3.540	3.750
4.000	3.360	3.560	4.490	4.760
5.000	4.200	4.450	5.610	5.950
6.000	5.050	5.350	6.730	7.140
6.300	5.300	5.610	7.070	7.400
8.000	6.730	7.130	8.980	9.510

2.1.4 Circuito atenuador de sinais

O circuito atenuador é aquele que possibilita selecionar vários níveis de audição, ou seja, aumentar e diminuir a amplitude da tensão elétrica que é aplicada ao(s) fone(s) de ouvido e/ou vibrador ósseo.

Uma forma simples de implementar um atenuador é através de resistores em série com derivações. Os resistores R_1 a $R(N)$, na figura 2.3, funcionam como divisores de tensão proporcionando em cada derivação de sinais de amplitudes variadas e com mesma forma de onda. A resistividade dos materiais empregados na fabricação de resistores sofre influência das variações de temperatura. Dessa forma o coeficiente térmico dos resistores torna-se um

parâmetro importante durante o projeto eletrônico. Devido a essa deriva térmica a temperatura ambiente e o tempo de aquecimento do aparelho serão possíveis fontes de incertezas das medições relativas a audiômetros.

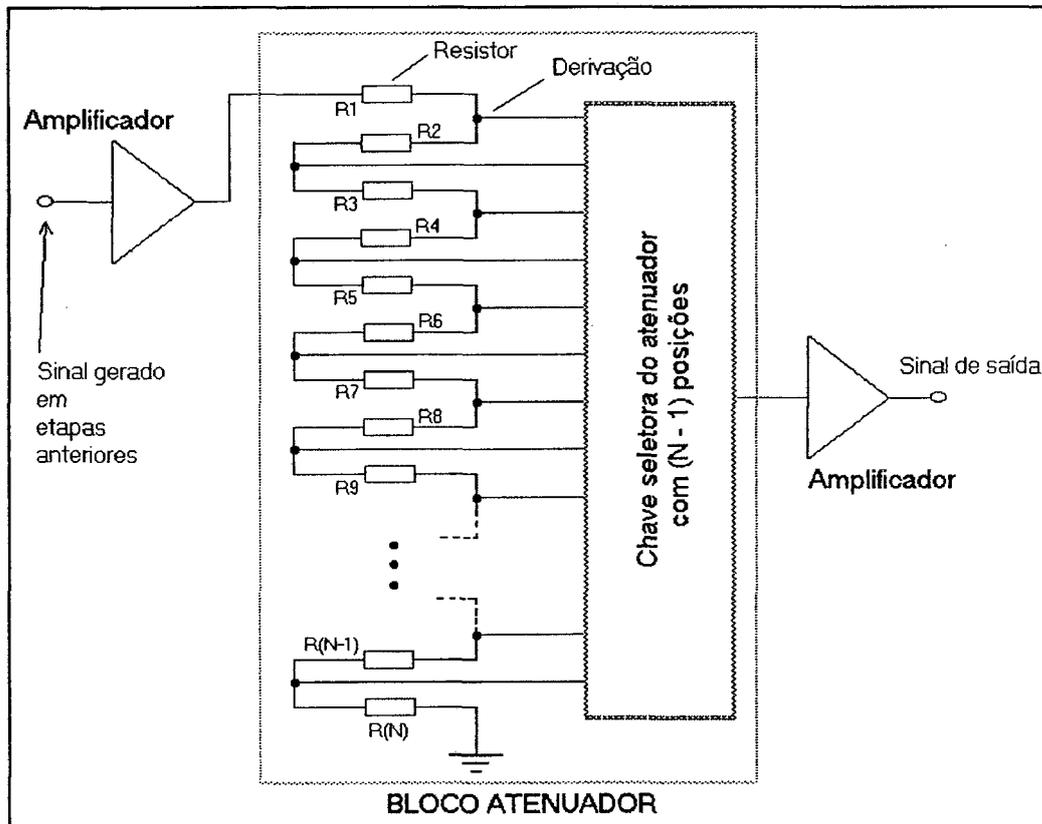


Figura 2.3 - Exemplo de atenuador eletrônico com resistores em série

Como exemplo da complexidade do atenuador quando implementado em circuitos modernos apresenta-se na figura 2.4 uma parte do bloco do atenuador de sinais do audiômetro Interacoustics modelo AD28. O circuito integrado CS3310 é um atenuador duplo controlado, com capacidade de atenuação até 127 dB, e o circuito integrado LM1972 é um atenuador de até 78 dB. Esses componentes precisam ter máxima estabilidade diante das grandezas de influência, pois por eles passam os sinais elétricos⁷ que chegarão aos transdutores. Existem dois caminhos para o sinal gerado, que pode ser senoidal ou de ruído de mascaramento, percorrer no circuito da figura 2.4. Um deles começa em MP15, segue pelo amplificador

⁷ Sinais que sofrem atenuação, variável, mas são amplificados com ganho constante no próximo estágio de circuito, para que tenham energia suficiente para excitar os transdutores.

IC42A, chega no pino AINL⁸ do atenuador CS3310, segue de AOUTL até IN1 no circuito atenuador LM1972, finalmente é enviado a próxima etapa em INCH1 (MP18) pelo pino OUT1. O outro caminho similar inicia em MP16 e após amplificação fixa e determinada atenuação, selecionada em função dos comandos do operador, chega ao ponto INCH2 (MP18).

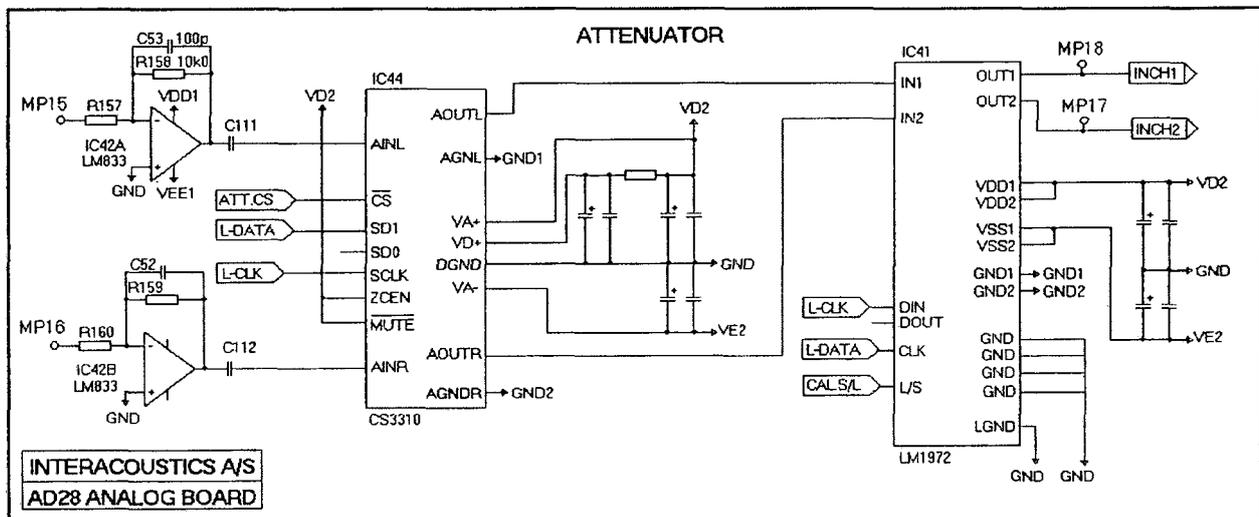


Figura 2.4 - Diagrama eletrônico do atenuador do audiômetro modelo AD28

A grande diferença entre os resistores variáveis, que são usados em alguns audiômetros como, por exemplo, o modelo AD25 da Interacoustics, e os circuitos do audiômetro como o AD28 é a possibilidade de ajuste por *software*. No AD28, entre outros audiômetros modernos⁹, existe o denominado “calibration menu” que significa na verdade uma interface de *software* para ajuste¹⁰ dos níveis de audição sem necessidade de abrir o aparelho.

⁸ AINL (Analog / attenuator input left) – entrada analógica esquerda. É apenas uma convenção para identificar pinagem, o sinal não irá sempre para o fone esquerdo, na verdade, a conexão de saída do sinal é selecionada em outra parte do circuito.

⁹ O modelo AC40 tem o mesmo recurso para facilitar operações de ajuste.

¹⁰ Nesse caso também é possível chamar o ajuste de regulagem. Ver item 2.1.

2.1.5 Fones de ouvido

O transdutor do fone de ouvido é composto por uma bobina de condutor elétrico, geralmente de cobre, imersa num campo magnético constante de um ímã, mesmo princípio de funcionamento dos alto-falantes. O sinal de tensão elétrica que sai do amplificador de potência interno do audiômetro é aplicado aos terminais do fone, ocorrendo a transformação de energia elétrica em sonora.

O formato, as dimensões, os materiais e força de contato dos fones de ouvido, e/ou de suas almofadas, para uso em audiometrias são normalizados; tais características podem ser encontradas na IEC 60645-1 subseção 9.1.1, e de forma muito similar na norma ANSI S3.6 - 1996 subseção 9.1.1. As figuras 2.5 e 2.6 [1] exibem as características dimensionais das almofada modelo MX41/AR e Telephonics Tipo 51 que são denominadas supra-aurais porque quando colocadas sobre o ouvido do paciente não deverão entrar em contato com a pele em torno do crânio mas somente com o pavilhão auditivo da orelha. Fones supra-aurais são usados na faixa de frequência de 125 a 8000 Hz, para frequências acima de 8000 Hz é necessário outro tipo de fone específico, um exemplo é o modelo Koss HV/PRO, que é projetado para altas frequências. Existem outros tipos de fones, os circum-aurais, e os fones de inserção.

De acordo com a norma IEC 60645-1 [23] subseção 9.1.2 os fones devem ser calibrados.

“O fone deve ser calibrado utilizado-se um ouvido artificial IEC (ver 3.14) ou um acoplador acústico IEC (ver 3.15), o quer que seja utilizado para a especificação do limiar equivalente de referência do nível de pressão sonora.”

De forma teórica é viável calibrar somente o(s) fone(s) de ouvido através da medição dos valores de tensões elétrica aplicados aos seus terminais, e medição de cada pressão sonora correspondente. Ou seja, pode-se medir as respostas dos fones separadamente do audiômetro. Porém na prática a calibração de um audiômetro conectado diretamente ao seu par de fones de ouvido específicos é mais rápida e gera os resultados de maneira objetiva e sem necessidade de cálculos excessivos para o entendimento. Em consequência disso não é aceitável fazer trocas de fones durante o uso, porque a calibração só é válida para aqueles equipamentos específicos, para um determinado audiômetro conectado a um determinado transdutor.

**Almofadas supra-aurais para fones de ouvido Telephonics
Modelo MX41/AR**

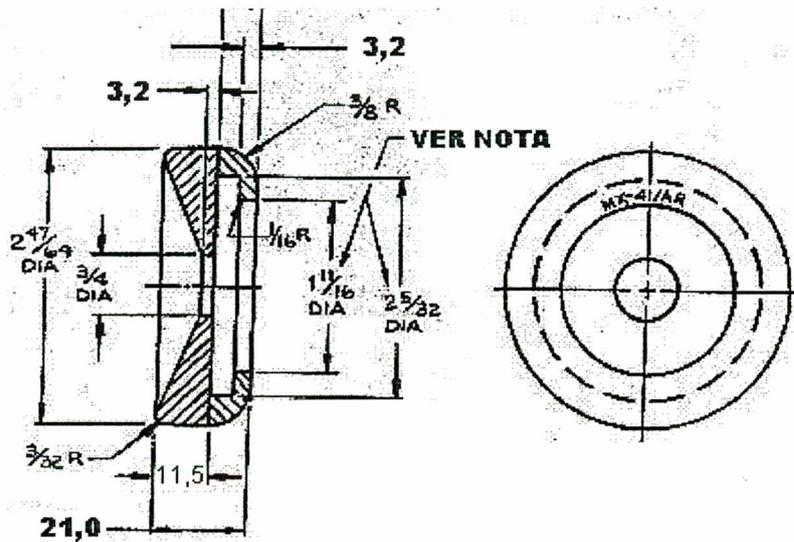


Figura 2.5 - Características da almofada supra-aural *Telephonics* modelo MX41/AR

Almofada supra-aural Telephonics Tipo 51

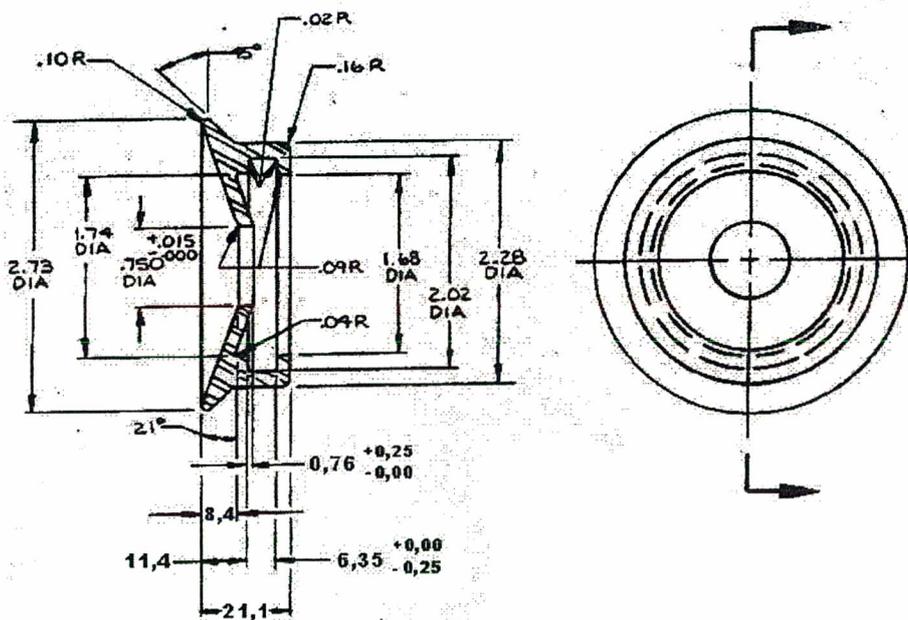


Figura 2.6 - Características da almofada tipo supra-aural *Telephonics* modelo 51

Nas figuras 2.5 e 2.6 dimensões em milímetros.

Nota: A dimensão da base pode ser modificada para se adaptar a um determinado fone de ouvido.

A figura 2.7 mostra fones de ouvidos supra-aurais, modelo TDH-39P, usados em audiometrias.

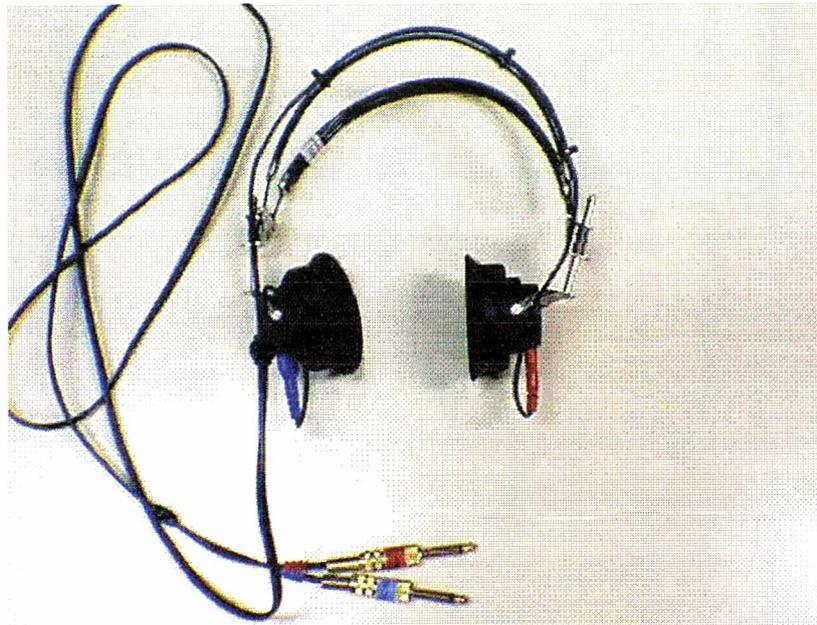


Figura 2.7 - Foto de fones supra-aurais modelo TDH 39

2.1.6 O vibrador ósseo

É um dispositivo que transforma os sinais elétricos em força vibratória que é transmitida através de sua superfície circular. Essa superfície circular, que pode ser observada na figura 2.9, entra em contato com a pele sobre a proeminência do osso mastóide, ou sobre a testa, durante audiometrias por via óssea.

Algumas características requeridas para vibradores ósseos podem ser encontradas na norma IEC 60645-1 [23]. A superfície de contato deve ser plana, isso é ideal para calibração através do acoplador mecânico, mesmo que não seja tão confortável para os pacientes durante as audiometrias.

A força estática de contato do vibrador ósseo com o paciente também é normalizada na norma IEC 60645-1 [23]. Tal força é proporcionada pelo arco metálico, mostrado na figura 2.8, e deve estar na faixa de 4 a 5 N.

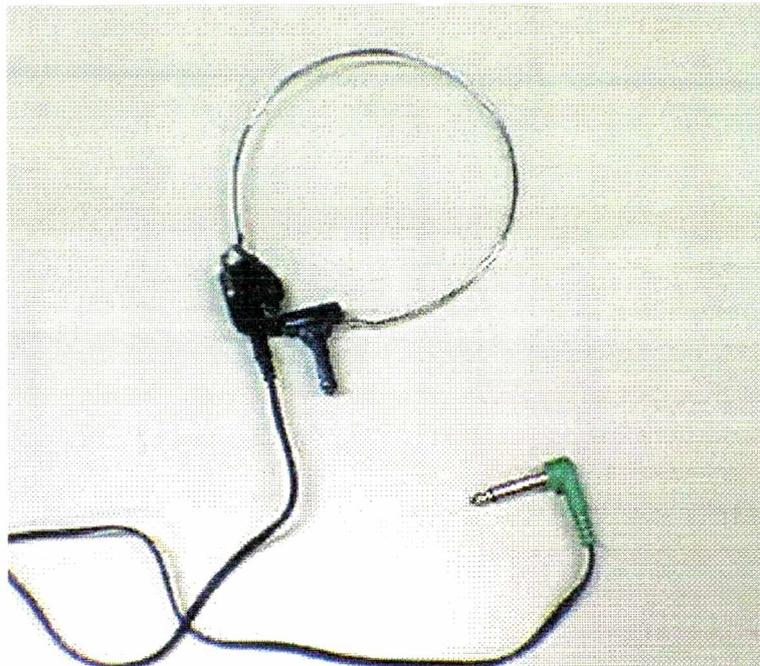


Figura 2.8 - Foto de vibrador ósseo *Radioear* modelo B-71



Figura 2.9 - Foto ampliada do vibrador ósseo *Radioear* modelo B-71

2.1.7 Entradas para sinais externos

No teste de logaudiometria, onde é necessário quantificar o índice de reconhecimento da fala, é muito comum o uso de entradas de sinais eletrônicos externos existentes no audiômetro. Aparelhos como gravadores/reprodutores de fita cassete ou de discos compactos (*CD*) são conectados por cabos coaxiais às entradas de sinais externos. Sendo assim é possível efetuar os testes de logaudiometria em condições adequadas, ou seja, mesmos níveis de pressão sonora, mesmos conjunto de palavras, mesma voz e pronúncia,

porque sempre será a mesma gravação. Entretanto, após algum tempo de uso dos equipamentos e/ou intervenções do operador nos ajustes dos mesmos, os níveis de pressão sonora não serão exatamente os mesmos para a mesma gravação. Por esse motivo é fundamental manter-se atento diante das possíveis variações nos pontos de ajuste das entradas de sinais do audiômetro e também verificar constantemente as fontes dos sinais externos.

2.2 Classificação de audiômetros segundo norma internacional

Segundo a norma IEC 60645-1 – Audiômetros de tom puro (do original em inglês: *Pure tom audiometers*) [23] os audiômetros de tom puro são classificados em tipos de 1 a 5 de acordo com os recursos mínimos exigidos. O tipo do audiômetro não é a classe de exatidão do mesmo, e sim apenas uma classificação relativa aos recursos disponíveis no aparelho. A norma IEC 60645-1 apresenta especificações dos recursos na forma de duas tabelas. A primeira tabela da seção 4 da norma [23], cita as exigências de recursos funcionais, a segunda tabela, na subseção 6.1.1 da norma, cita as frequências e níveis de audição exigidos. Na seqüência temos o conteúdo das respectivas seções:

“4 Requisitos para tipos específicos de audiômetros de frequências fixas

Cinco tipos diferentes de audiômetros são especificados de acordo com os requisitos mínimos de recursos obrigatórios fornecidos na Tabela . Recursos adicionais são permitidos.

Tabela: 2.2

Recurso	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5
Condução aérea	x	x	x	x	x
- dois fones de ouvido	x	x	x	x	
- fone de inserção	x				
Condução óssea	x	x	x		
Mascaramento					
- ruído de banda estreita	x	x			
- ruído de banda estreita ou outro ruído			x		
- ruído de banda larga	x	x			
Via de mascaramento					
- fone de ouvido contralateral	x	x	x		
- fone de ouvido ipsilateral	x				
- vibrador ósseo	x				
Varredura tonal					
- apresentação / interrupção do tom	x	x	x	x	x
- tom pulsante	x	x ¹⁾		x ¹⁾	
Tom de referência					
- apresentação alternada	x	x ²⁾			
- apresentação simultânea	x				
Sistema de resposta do sujeito	x	x	x	x ¹⁾	
Saída auxiliar de sinal elétrico	x	x			
Entrada para sinais externos	x	x ²⁾			
Níveis de audição e frequências de teste (Ver próxima tabela)					
Monitor de sinal	x	x			
Monitoramento audível do sinal de teste	x				
Comunicação de fala do operador para o sujeito	x				

¹⁾ Não obrigatório para audiômetros manuais

²⁾ Não obrigatório para audiômetros de registro automático”

“6.1.1 Faixa de frequência e níveis de audição

Audiômetros de frequências fixas tipos 1 a 4, devem ter frequências de teste para as quais a faixa mínima dos valores do Nível de Audição é mostrada na coluna apropriada da Tabela a seguir. Outras frequências podem ser selecionadas da coluna 1 para os tipos 3 a 5. Frequências adicionais podem ser utilizadas dentro da faixa de terço de oitavas até 8 kHz para as quais os valores de LERNPS (RETSPL)¹¹ são fornecidos pela ISO389-1.

Para audiômetros de varredura de frequências, os níveis de audição e as faixas de frequências devem ser pelo menos iguais àqueles fornecidos na Tabela seguinte para audiômetros de frequências fixas.

Tabela: 2.3

Frequência (Hz)	Níveis de audição (dB) ¹⁾							
	Tipo 1		Tipo 2		Tipo 3		Tipo 4	Tipo 5
	Condução aérea	Condução óssea	Condução aérea	Condução óssea	Condução aérea	Condução óssea	Condução aérea	Condução aérea
125	70	³⁾	60	-	-	-	-	Opcional
250	90	45	80	45	70	35	-	
500	120	60	110	60	100	50	70	
750	120	60	-	-	-	-	-	
1000	120	70	110	70	100	60	70	
1500	120	70	110	70	-	-	-	
2000	120	70	110	70	100	60	70	
3000	120	70	110	70	100	60	70	
4000	120	60	110	60	100	50	70	
6000	110	50	100	³⁾	90	³⁾	70	
8000	100	³⁾	90	³⁾	80	³⁾	⁴⁾	

¹⁾ Os níveis de audição máximos devem ser iguais ou maiores que os valores tabulados. Os níveis de audição mínimos devem ser - 10 dB ou menores para todas as frequências nos tipos de 1 a 4 e opcional para o tipo 5.

²⁾ Para os propósitos de conservação auditiva, a faixa de níveis de audição para os audiômetros do tipo 4 deve estender-se até 90 dB NA.

³⁾ A ISO 389-3 fornece valores para estas frequências

⁴⁾ A ISO 6189 refere-se ao uso desta frequência.”

A norma norte americana ANSI S3.6 - 1996 classifica os audiômetros com relação aos recursos de uma forma similar, por tipos de 1 a 5, porém especifica outros detalhes tais como faixa de frequência estendida (*HF* ou *high frequency*) e classificação dos recursos de teste de fala (*Speech audiometers*).

Existem classificações comuns de mercado, por exemplo: audiômetros clínicos, diagnósticos, clínicos diagnósticos, pediátricos, podendo ser analógicos, digitais ou computadorizados. Alguns deles, especialmente os tipos clínicos usualmente têm mais que um canal de forma que podem gerar dois sinais de forma independente; entre outros recursos que automatizam determinados testes específicos de audiometria.

¹¹ LERNPS (RETSPL) – limiar equivalente de nível de pressão sonora (*reference equivalent threshold sound pressure level*). Definição detalhada em 2.3.4.

Na prática a escolha do equipamento por parte do profissional, fonoaudiólogo(a) ou médico(a), geralmente é especificada diretamente pelos recursos oferecidos e não pelo tipo especificado em norma.

2.3 Escalas de medição acústica aplicadas a audiômetros

Segundo Gerges [15] “O ouvido humano responde a uma larga faixa de intensidade acústica, desde o limiar de audição até o limiar da dor”. Partindo dessa colocação podemos entender que a grandeza que o ouvido quantifica, ou responde, é a intensidade sonora ou acústica. Porém Gerges cita a grandeza pressão, com relação ao limiar da audição: “O limiar da audição, isto é, a pressão acústica mínima que o ouvido pode detectar é $20 \times 10^{-6} \text{ N/m}^2$ na frequência de 1 kHz”. Kinsler *et alli* [30] afirmam que a intensidade sonora é a grandeza que o ouvido percebe quando se refere ao limiar de audibilidade:

*“The threshold of audibility is the minimum perceptible free-field intensity level of a tone that can be detected at each frequency over the entire range of the ear. The symbol L_1 is recommended by the International Standardization Organization (ISO) for IL re 10^{-12} W/m^2 ”.*¹²

Tradução: “O limiar de audibilidade é o menor nível de intensidade perceptível de um tom em campo livre que pode ser detectada em cada frequência na faixa audível. O símbolo L_1 é recomendado pela ISO para representar o nível de intensidade IL re 10^{-12} W/m^2 ”

Seja qual for dessas duas grandezas que atribuímos uma correlação com a sensação auditiva de fato existe uma relação matemática direta entre elas. Considerando que a densidade do ar (ρ) e a velocidade de propagação do som no ar (c) são constantes em condições ambientais relativamente estáveis, então a intensidade sonora (I) pode ser calculada diretamente do valor da pressão sonora através de:

$$I = \frac{P^2}{\rho \times c} \quad 2.3.a$$

Onde I está em W/m^2 , c em m/s , ρ em kg/m^3 .

¹² O texto original foi transcrito devido à presença das palavras *audibility* e *detected*. Traduzidas como “audibilidade” e “detectada”, respectivamente. Além de eventuais ambigüidades e dúvidas existentes em traduções, nota-se que a definição em apenas uma sentença é muito breve e não entra em detalhes conceituais.

Na prática mede-se a pressão sonora através de microfones de medição. No caso específico de audiômetros tal microfone deve estar dentro de uma cavidade especial, o acoplador acústico, e deve atender a determinadas exigências, ver item 4.1.2.

2.3.1 Pressão sonora e força vibratória, vias de audição

A sensação auditiva pode ser provocada de duas formas, duas vias, uma delas é através do som no ar. “Sabe, entretanto, que a estimulação das estruturas do ouvido interno pode ser feita através das vibrações que a energia sonora provoca nos ossos do corpo humano” [34]. A vibração dos ossos do crânio alcançam a cóclea, que a grosso modo pode-se entender como o órgão responsável pela sensação de auditiva. A figura 2.10 mostra à sua esquerda a orelha e a entrada do som por via aérea, que se propaga até o tímpano, no centro da figura; à direita estão representadas a cóclea e algumas estruturas ósseas que a envolvem.

A denominada via óssea, no caso específico de audiômetros, é implementada pela vibração transmitida por um vibrador ósseo, posicionado na testa ou sobre a proeminência da porção mastóide¹³ do osso temporal. Em ambos os casos a vibração atinge o osso temporal o qual aloja no seu interior a cóclea. O mecanismo de estimulação por força vibratória é necessário em alguns exames audiológicos, principalmente quando se procura identificar o local onde se encontra a causa da perda auditiva, topodiagnóstico.

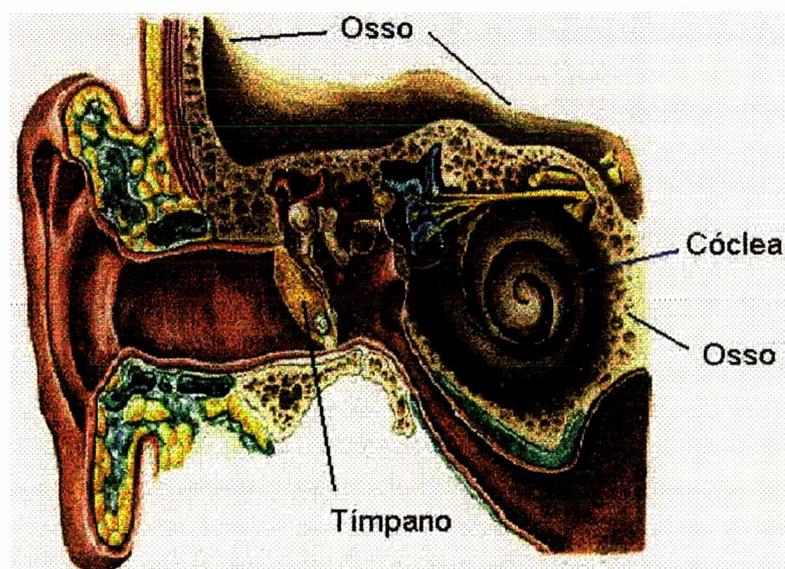


Figura 2.10 - Esboço de um corte do ouvido humano

¹³ A proeminência da porção mastóide do osso temporal se localiza na parte posterior do ouvido médio.

2.3.2 A escala decibel

Teoricamente qualquer grandeza física pode ser expressa em bels ou decibel (dB). Em acústica, mais especificamente devido à audibilidade humana, existem pelo menos dois motivos para expressar a pressão sonora, ou outras grandezas sonoras, em decibel. A grande faixa de sensibilidade de ouvido humano; sendo que o limite superior de pressão sonora, sensação de dor, é de aproximadamente 10^{12} vezes o valor do limiar de audição¹⁴. E a correlação entre a audibilidade e a escala dB (logarítmica), a qual é maior que a correlação com a escala linear. [15].

O limiar da sensibilidade auditiva do ouvido humano tem uma ordem grandeza de $20\mu\text{Pa}$ (ou $20\mu\text{N/m}^2$) na frequência de 1kHz, para ter uma idéia de quão pequena seja essa pressão sonora basta saber que corresponde a um deslocamento de partícula de aproximadamente um décimo do diâmetro da molécula de hidrogênio [30]. O valor de pressão sonora capaz de causar sensação de dor no ouvido é equivalente à cerca de 10^{12} vezes o valor do limiar auditivo. Sendo que transformar essa extensa faixa de valores lineares em escala dB é muito conveniente para trabalhos práticos relativos à audição ou determinados cálculos, como os de atenuação de ruídos, por exemplo.

2.3.3 Nível de pressão sonora

O nível de pressão sonora (NPS) é a aplicação da teoria vista nos tópicos anteriores. A escala decibel aplicada para expressar a pressão sonora. A escala decibel não existe se não houver uma referência, e o padrão adotado como pressão sonora de referência foi estimado em $20\mu\text{Pa}$. O mesmo valor citado anteriormente como o limiar aproximado da audição humana, apesar de que existem pessoas mais sensíveis, bem como menos sensíveis, sem necessariamente significar que não sejam otologicamente normais. De forma matemática o NPS [15] é representado pela expressão:

$$NPS = 20 \times \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right) \quad 2.3.3.a$$

Onde P é a pressão sonora medida, e P_0 é a pressão sonora de referência.

¹⁴ Menor valor de pressão sonora audível pelo ouvido humano.

2.3.4 Níveis de audição gerados em audiômetros

O ouvido humano responde a estímulos sonoros na faixa de frequências de 20 Hz a 20 kHz aproximadamente. A interpretação subjetiva dos sons depende de vários fatores, um deles é a impedância acústica do próprio ouvido, a qual interfere na curva de sensibilidade em função da frequência dos sons incidentes, além dos fatores biológicos, entre outros, presentes em cada indivíduo. A figura 2.11 demonstra o comportamento da sensação auditiva em função de diferentes NPS e diferentes frequências.

Os contornos padrão de audibilidade para tons puros [15], ou *equal-loudness contours of pure tones*¹⁵ [5] não são exatamente os níveis gerados por audiômetros. Pode-se notar comportamentos não-lineares¹⁶ principalmente nas baixas frequências, onde as distâncias entre as curvas variam visivelmente em função dos níveis. Na frequência de 1000 Hz ocorrem valores de audibilidade que correspondem com grande aproximação à escala decibel; entretanto não correspondem aos valores de níveis de audição (NA) gerados por audiômetros.

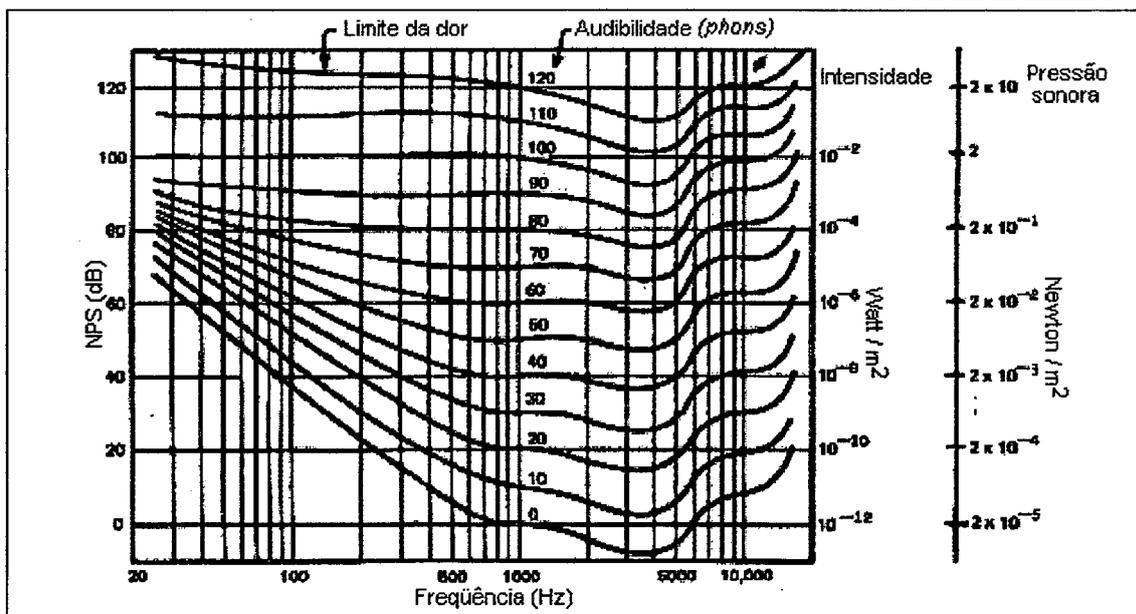


Figura 2.11 - Curvas de contorno de audibilidade

Os níveis de audição selecionados em um audiômetro devem gerar no(s) fone(s) de ouvido um NPS que corresponde numericamente ao valor selecionado mais o valor do limiar

¹⁵ Contornos de igual audibilidade de tons puros.

de audição de referência. O NPS citado deve ser medido em acoplador acústico ou ouvido artificial.

$$NPS_{\text{esperado no acoplador}} = NA_{\text{audiômetro}} + LERNPS \quad 2.3.4.a$$

Onde: $NA_{\text{audiômetro}}$ é o nível de audição selecionado no audiômetro; $LERNPS$ é o limiar equivalente de referência de nível de pressão sonora para determinado modelo de fone de ouvido e determinado modelo de acoplador acústico; $NPS_{\text{esperado no acoplador}}$ é o nível de pressão sonora esperado no acoplador acústico apropriado.

Os valores de limiar auditivo somente podem ser denominados “de referência” após várias pesquisas e aceitação na comunidade científica, antes disso pode-se chamá-los de limiares equivalentes do nível de pressão sonora (LENPS). A norma ISO 389-1 [26] contém definições normalizadas para os LENPS e LERNPS.

“3.6 - Limiar equivalente do nível de pressão sonora (fone de ouvido de audição monoaural): Para um dado ouvido, numa frequência especificada, com um tipo de fone de ouvido especificado e para uma força de aplicação do fone de ouvido sobre o pavilhão auricular estabelecida, o nível de pressão sonora apresentado pelo fone em um acoplador acústico especificado ou ouvido artificial, quando o fone é ativado pela tensão que, com o fone de ouvido aplicado ao ouvido em questão, irá corresponder ao limiar auditivo.

3.7 - Limiar equivalente de referência do nível de pressão sonora – LERNPS: Em uma frequência específica, o valor modal do limiar equivalente do nível de pressão sonora de um número suficientemente grande de ouvidos de indivíduos otologicamente normais, de ambos os sexos e idades entre 18 e 30 anos, inclusive, expressando o limiar auditivo em um acoplador acústico ou ouvido artificial especificado para um tipo especificado de fone de ouvido”

Observe no gráfico da figura 2.12 [16] os valores médios, individuais e os desvios padrão resultantes da determinação experimental dos limiares de audição de tons puros para os fones de ouvido circum-aural marca *Seinnheiser* modelo HDA200¹⁷. Considere que os

¹⁶ Não-linear mesmo se tratando da escala decibel (logarítmica), ou da escala linear.

¹⁷ Este conjunto de experimentos contou com 31 indivíduos, num total de 62 ouvidos testados, sendo 17 indivíduos do sexo masculino e 14 do feminino. Experimentos desenvolvidos por Loc A Han e Torben Poulsen, Dinamarca.

valores médios do gráfico, aqueles interligados pela linha contínua¹⁸, representam fielmente os limiares de audição¹⁹ quando usamos esse modelo de fone de ouvido.

Supondo que se deseja que uma pessoa²⁰ tenha a sensação correspondente a 5 dB NA, cinco decibels de nível de audição, no momento que se aplica 5 dB NA em 1000 Hz selecionados no audiômetros algumas pessoas, mesmo sendo otologicamente normais, não perceberão tom algum, outras perceberão um som relativamente fraco provocado pelo fone de ouvido. Isso se torna evidente ao observar a dispersão dos valores individuais no gráfico da figura 2.12. Mas qual será o valor da indicação no medidor de NPS num teste objetivo de calibração de audiômetro com o mesmo nível de audição e frequência citadas? Então ao posicionar o fone sobre o acoplador acústico, ou ouvido artificial adequado e a indicação esperada no medidor de NPS é:

$$\text{NPS}_{\text{esperado no acoplador}} = \text{NA}_{\text{audiômetro}} + \text{LERNPS} \quad 2.3.4.a$$

$$\text{NPS}_{\text{esperado no acoplador}} = 5 + 5 = 10 \text{ dB re } 20\mu\text{Pa}$$

¹⁸ A linha contínua que interpola os valores médios no gráfico é apenas ilustrativa e não corresponde a dados experimentais em frequências intermediárias.

¹⁹ Limiares equivalentes do nível de pressão sonora (LENPS).

²⁰ Indivíduo com audição normal, usando fone(s) modelo HDA 200, também se recomenda local com baixo ruído de fundo, 5 ou 10 dB abaixo dos LENPS, por exemplo.

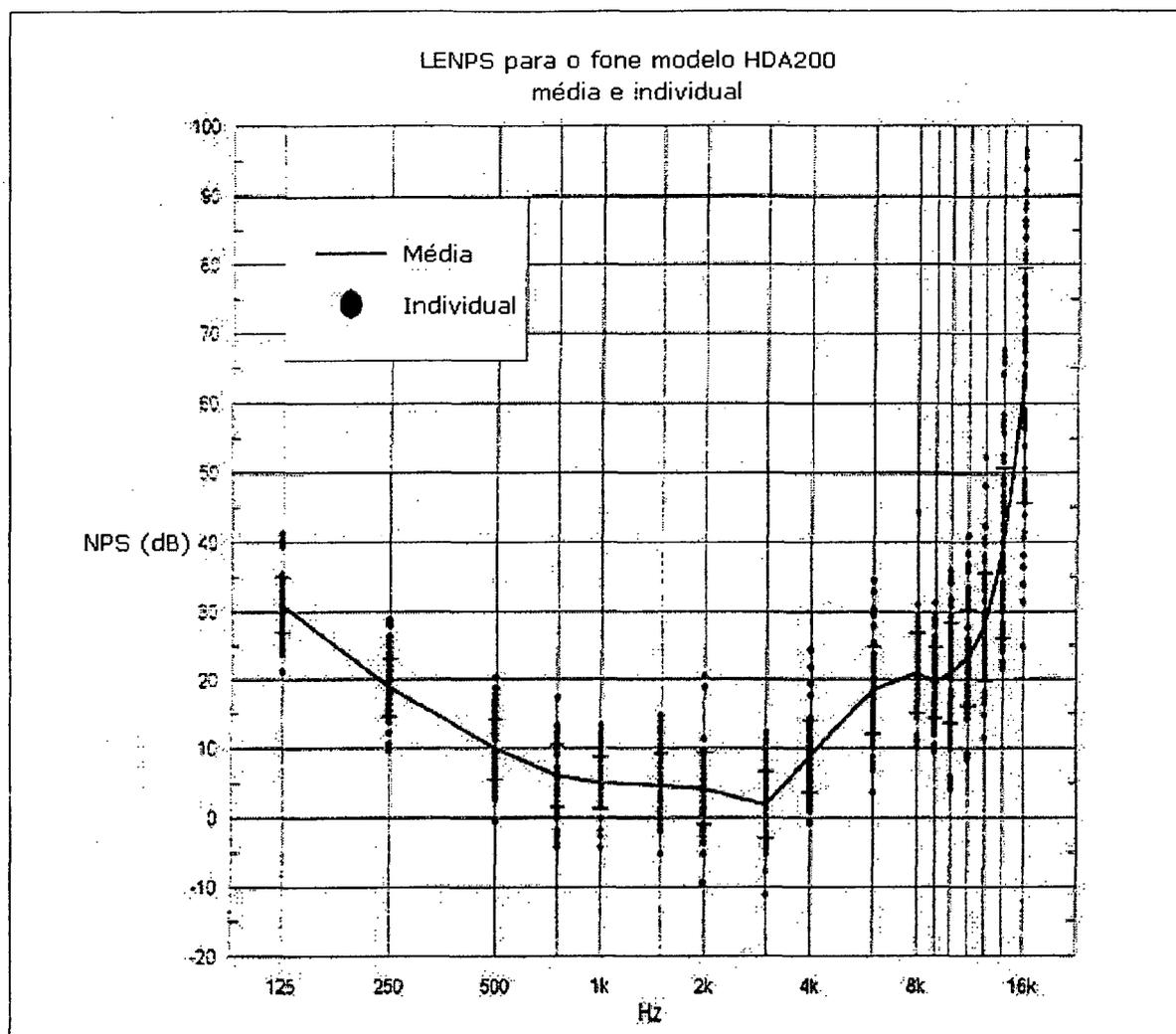


Figura 2.12 - Limiares equivalentes de nível de pressão sonora, fone modelo HDA200

Ou seja, $NPS = 10 \text{ dB}$, que equivale à pressão sonora de $(20 \times 10^{-6} \times 10^{10/20})$ pascal, ou aproximadamente $63,2 \mu\text{Pa}$, que é o valor esperado quando medido em ouvido artificial ou acoplador acústico apropriado²¹.

A definição de nível de audição dada pela norma IEC 60645-1 [23], na sua subseção 3.12, mostra a importância da padronização de cada elemento usado no sistema de medição, da mesma forma a respeito dos modelos de fones e de vibradores ósseos, que no texto da norma são denominados simplesmente de transdutor, ver texto a seguir.

“Nível de audição de um tom puro: em uma frequência especificada, para um tipo específico de transdutor e para uma forma específica de aplicação, o nível de pressão sonora ou o nível de força vibratória deste sinal aplicado pelo transdutor em um acoplador acústico ou mecânico especificado ou em um ouvido artificial menos o nível de limiar equivalente de

²¹ O mesmo modelo de acoplador usado para determinar os limiares é apropriado para efetuar as demais medições, neste caso específico os pesquisadores usaram ouvido artificial segundo IEC318 com placa adaptadora para fones circum-aurais.

referência apropriado para condução aérea ou óssea, conforme aplicável (ver 3.8 da ISO 389-1)."

A norma citada no final do texto anterior, ISO 389-1 [26], especifica os limiares equivalentes de referência de nível de pressão sonora (LERNPS) para os fones de ouvido supra-aurais modelo TDH 39 (Telephonics), com almofada tipo MX 41/AR (ou modelo 51), e fones modelo DT 48 (Beyer); os níveis de limiares foram estimados em acoplador acústico projetado segundo norma IEC 303:1970, agora revisada e substituída pela IEC 60318-3.

Em caso de fones de ouvido ou acoplador acústico fora dos padrões normalizados não é possível afirmar que os LENPS obtidos durante medições correspondem aos LERNPS que já estão tabelados em norma, conseqüentemente não será possível avaliar corretamente os níveis de audição gerados pelo audiômetro em teste.

De forma similar aos fones de ouvido deve-se procurar utilizar modelos padronizados de vibradores ósseos. Os modelos de vibradores e acopladores mecânicos²² devem seguir especificações normalizadas para que seja possível quantificar os níveis de audição gerados por um audiômetro pela via óssea.

²² Veja maior detalhamento sobre acopladores mecânicos em 3.1.4.

3 O estado da arte da calibração de audiômetros

A avaliação audiométrica é efetuada por alguns fonoaudiólogos ou médicos e tem fundamental importância, principalmente no processo de contratação de empregados por determinadas empresas. Mas qual é a importância da avaliação do equipamento audiométrico? A resposta para essa questão na opinião de um profissional da área, por exemplo, a fonoaudióloga Iêda Russo [34]:

“Os testes audiométricos subjetivos, utilizados a fim de medir a acuidade auditiva do indivíduo, são chamados testes psicométricos ou psicoacústicos. ...

Sendo o audiômetro o equipamento utilizado no processo de determinação dos limiares tonais do indivíduo, é necessário controlar as características de frequência, intensidade e tempo, medições estas que fazem parte do processo de calibração²³ do instrumento.”

Para entender melhor o texto acima é importante realçar duas questões: o significado do termo calibração e a motivação deste ato. O que é calibrar? E por que calibrar audiômetros? Por isso são dedicados dois itens seguintes para buscar respostas e esclarecimentos gerais sobre essas questões.

²³ A palavra calibração está em itálico no texto original.

3.1 Calibrar, ajustar, regular e verificar, definições distintas.

O ato de calibrar, ou calibração, algumas vezes é confundido como os procedimentos de ajuste e/ou regulagem. Por isso esse item contempla o estudo das palavras *ajustar* e *regular*. A palavra *verificar* foi incluída para fins de esclarecimentos gerais, e diz respeito principalmente à metrologia legal. Definir cada uma dessas quatro operações ajudará a evitar dificuldades de entendimento, além de organizar melhor as idéias a serem assimiladas. O estudo inicia-se pela palavra calibrar, ou ato da calibração, que é de interesse central neste trabalho.

Quando o cliente solicita um serviço de calibração a um laboratório, de fato o pedido está restrito a uma comparação, ou algumas comparações, de uma ou mais grandezas. O pedido de calibração equivale a dizer: “faça comparação entre a grandeza gerada ou medida pelo instrumento que estou enviando ao seu laboratório²⁴ e o seu instrumento padrão, após a comparação relate as diferenças entre as medições obtidas e os valores padrão”. Se os resultados obtidos estiverem de acordo com os requisitos de tolerâncias estabelecidos então poderá ser gerado um certificado de calibração²⁵.

As afirmações anteriores são baseadas nos conhecimentos obtidos no curso de pós-graduação em metrologia, PósMCI. Porém, não seria mais fácil e objetivo buscar uma definição geral, “pura” e “clássica” da palavra calibração? Por exemplo, em um dicionário da língua portuguesa [13]. Talvez torne tudo mais claro!

“calibrar v.t. 1. Dar o conveniente calibre a. 2. Medir o calibre de. 3. Bras. Dar a conveniente pressão de ar a (câmara-de-ar, pneu, etc).

calibre sm 1. Diâmetro interior do cano de arma-de-fogo, ou de qualquer cilindro oco. 2. Diâmetro exterior dum projétil.”

Os significados expressos no dicionário estão fora do foco do estudo. Eles não reforçam e nem negam o que foi comentado até agora. Então é necessário algo mais específico.

²⁴ Existem casos de calibrações tanto em laboratório quanto em campo, ou seja, também no local onde o sistema a calibrar está instalado.

²⁵ Existe também a possibilidade de emissão de relatórios ou certificados onde os valores medidos estão fora das tolerâncias, porém devem exibir observação a esse respeito.

O Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia, chamado informalmente de VIM, foi estabelecido no Brasil em março de 1995 pela portaria n.º 29 [7], define a palavra calibração. A seguir o item 6.11 do VIM.

“Calibração [calibration / étalonnage, m]

Aferição

Conjunto de operações que estabelece, sob condições especificadas, a relação entre os valores indicados por um instrumento de medição ou sistema de medição ou valores representados por uma medida materializada ou um material de referência, e os valores correspondentes das grandezas estabelecidos por padrões.

Observações:

- 1) O resultado de uma calibração permite tanto o estabelecimento dos valores do mensurando para as indicações, como a determinação das correções a serem aplicadas.*
- 2) Uma calibração pode também determinar outras propriedades metrológicas como o efeito das grandezas de influência.*
- 3) O resultado de uma calibração pode ser registrado em um documento, algumas vezes denominado certificado de calibração ou relatório de calibração.”*

A palavra aferição aparece no texto do VIM [7] logo abaixo do título, calibração, porque era o termo usado antigamente para expressar operações semelhantes às que estão descritas.

De uma forma simplificada a calibração de audiômetros é uma série de medições dos valores de níveis de audição e das frequências gerados pelo aparelho comparados aos respectivos padrões rastreáveis²⁶. Assim, obtém-se os desvios em relação aos padrões metrológicos daquelas grandezas.

Mas nem sempre o sistema a calibrar, audiômetro, está conforme as especificações necessárias, conseqüentemente será interessante proceder ao ajuste do(s) ponto(s) de funcionamento o mais próximo possível do ideal. E qual é o significado da operação de ajuste?

“4.30 Ajuste (de um instrumento de medição) [adjustment (of a measuring instrument) / ajustage (d’un instrument de mesure, m)]

Operação destinada a fazer com que um instrumento de medição tenha desempenho compatível com o seu uso.

Observação:

O ajuste pode ser automático, semi-automático ou manual.”

“4.31 Regulagem (de um instrumento de medição) [user adjustment (of a measuring instrument) / réglage (d’un instrument de mesure), m]

Ajuste, empregando somente os recursos disponíveis no instrumento para o usuário.”

²⁶ Do ponto de vista metrológico, medições não rastreáveis não são válidas.

Ajuste e regulagem são operações com finalidade similar. Como se pode observar nas definições acima que são provenientes do VIM [7]. Dependendo dos recursos que o usuário tem em mãos a regulagem será um ajuste grosseiro, porém o ajuste efetuado pelo profissional de metrologia requer instrumentação adequada, além de conhecimento dos recursos do sistema a calibrar. Em consequência disso os manuais de serviço e operação do audiômetro são essenciais durante os procedimentos de calibração e/ou ajuste.

O ato de verificar, verificação, é uma das ações empregadas no controle metrológico, sendo esse último uma das atividades de um serviço de metrologia legal. Tais afirmações estão baseadas no Vocabulário de Metrologia Legal adotado no Brasil de acordo com o artigo 2º da portaria nº 102 de 10 de junho de 1988 [8]. No texto a seguir a palavra verificação ainda não está completamente definida.

“2 - Atividades de um Serviço de Metrologia Legal

2.1 - Controle Metrológico: Operações que visam assegurar a garantia pública nos principais campos da metrologia legal.

Observações:

controle metrológico compreende:

controle dos instrumentos de medir ou medidas materializadas;

a supervisão metrológica;

a perícia metrológica.

2.2 - Controle dos Instrumentos de Medir ou Medidas Materializadas: Conjunto de operações constituído de ações descritas a seguir:

a) procedimentos de aprovação de modelo;

b) verificação;

c) inspeção.”

Mais adiante, no mesmo vocabulário [8], encontramos a definição e outros detalhes metrológicos sobre verificação.

“2.8 - Verificação: Conjunto de operações, compreendendo o exame, a marcação ou selagem e (ou) emissão de um certificado e que constate que o instrumento de medir ou medida materializada satisfaz às exigências regulamentares.

Observações:

1) A verificação pode ser realizada quando for aceita a solicitação para verificação, com base, principalmente:

- nas prescrições gerais;

- na solicitação da aprovação de modelo;

- em decisões individuais.

Em casos excepcionais, pode-se admitir a verificação de um instrumento de medir ou medida materializada, sem aprovação de modelo.

2) A verificação pode ser efetuada por uma entidade do serviço de metrologia legal ou por outra legalmente autorizada.”

Atualmente os audiômetros em uso no Brasil estão fora de um controle metrológico rigoroso. Portanto a verificação definida acima somente poderá ser aplicada efetivamente apenas num tempo futuro.

3.2 Por que calibrar?

As colocações feitas por Iêda Russo [34], transcritas no início deste capítulo, sugerem a necessidade de adotar um plano de calibração para cada instrumento utilizado em audiometrias. Segundo Laura Ann Wilber²⁷ [36] a conscientização dos profissionais da área de fonoaudiologia e das organizações ligadas aos assuntos de segurança e saúde ocupacional tem aumentado no que diz respeito a calibração de audiômetros.

“... quando a questão “Por que calibrar?” foi perguntada pela primeira vez, muitos clínicos acreditavam que calibração era algo que pesquisadores faziam, e que tais procedimentos não pareciam ser necessários na clínica. Hoje essa atitude mudou dramaticamente. Por exemplo, o Quadro de serviço profissional (PSB)²⁸ da Associação Americana de Fala Linguagem e Audição (ASHA)²⁹ atualmente requer verificações periódicas das calibrações dos equipamentos clínicos (ASHA, 1984). Os regulamentos (1983) do ‘Departamento do Trabalho dos EUA - Administração de Segurança e Saúde Ocupacional’ (OSHA)³⁰ também requerem que equipamentos de seleção sejam periodicamente verificados. ...”

Mesmo o equipamento que é adquirido novo, no mesmo estado que saiu de fábrica pode precisar ajustes para alcançar o desempenho metrológico desejado. Na continuação do texto anterior Laura Wilber [36] comenta as opiniões de profissionais da área da fonoaudiologia:

“A maioria dos clínicos reconhece que a primeira calibração³¹ feita pelo fabricante é insuficiente para garantir que o audiômetro permanecerá daquele modo por todo o tempo. ...”

²⁷ Laura Ann Wilber é professora do departamento de “Ciências e distúrbios da comunicação” (do original “Communication Sciences and Disorders”) na “Northwestern University” em Evanston e Chicago, EUA.

²⁸ Professional Service Board.

²⁹ American Speech-Language-Hearing Association.

³⁰ OSHA – Occupational Safety & Health Administration – U.S. Department of Labor.

³¹ No sentido de calibração e/ou ajuste.

Independente de marca de fabricante, e da tecnologia que se desenvolve e aperfeiçoa a cada dia, existe sempre a probabilidade de falhas, e de ajustes imperfeitos.

3.3 Legislação e normas

Segundo a portaria n.º 19 de 09 de abril de 1998 [6], os procedimentos de verificação e/ou calibração devem seguir as diretrizes contidas na norma internacional ISO 8253-1 [29] e também estipula a periodicidade das verificações. O texto da portaria reproduzido a seguir ainda cita a palavra aferição, entretanto existe a tendência irreversível de substituição da palavra “aferição” pelo termo “calibração”.

“3. Princípios e procedimentos básicos para a realização do exame audiométrico

....

3.2. *O audiômetro será submetido a procedimentos de verificação e controle periódico do seu funcionamento.*

3.2.1. *Aferição acústica anual.*

3.2.2. *Calibração acústica, sempre que a aferição acústica indicar alteração, e, obrigatoriamente, a cada 5 anos.*

3.2.3. *Aferição biológica é recomendada precedendo a realização dos exames audiométricos. Em caso de alteração, submeter o equipamento à aferição acústica.*

3.2.4. *Os procedimentos constantes dos itens 3.2.1 e 3.2.2 devem seguir o preconizado na norma ISO 8253-1, e os resultados devem ser incluídos em um certificado de aferição e/ou calibração que acompanhará o equipamento. ...”*

A norma internacional ISO 8253-1 [29] se apóia em outras três normas quando trata do assunto de calibração de audiômetros. Além disso, ela organiza as avaliações metrológicas do equipamento em três fases, porém coloca-as apenas como recomendações para assegurar um plano eficaz de manutenção.

“12 Manutenção e calibração de equipamentos audiométricos

12.1 Generalidades

A calibração correta de audiômetros e equipamentos relacionados é altamente importante para obtenção de resultados fidedignos. É essencial que equipamentos audiométricos, quando em uso, sejam calibrados conforme as normas ISO 389 e ISO 7566 e cumpram com os requisitos da IEC 60645.

Para assegurar isto, o seguinte plano, consistindo de três fases de testes e procedimentos de calibração, é recomendado:

- a) fase A – verificação de rotina e testes subjetivos*
- b) fase B – verificações periódicas objetivas*
- c) fase C – testes básicos de calibração”*

A expressão citada em 3.2.1 da portaria 19 [6] *aferição acústica anual* se enquadra no caso da chamada *fase B* da norma ISO 8253-1 [29] reproduzida acima. Esta é a opção mais simples e mais viável do ponto de vista dos testes objetivos e será enfatizada neste trabalho de mestrado. Na seqüência o item 3.2.2 (Calibração acústica) da portaria 19 corresponde à *fase C* da norma ISO 8253-1, sendo recomendada no período de cinco anos em caso de alterações no instrumento. Esta última requer testes altamente especializados como o de desempenho da fonte de alimentação elétrica³², e o de interferências eletrostáticas e/ou eletromagnéticas³³, ou seja, a chamada *fase C* visa os requisitos da norma internacional de audiômetros, entretanto resulta em uma grande seqüência de testes similares aos de aprovação de modelo, os quais estão fora do escopo de trabalho.

A norma ISO 8253-1 [29], em sua subseção 12.4, apresenta a lista de testes experimentais denominada *fase B*, tais testes serão analisados do ponto de vista metrológico neste trabalho.

“12.4 Fase B – Verificações periódicas objetivas

Verificações periódicas objetivas consistem em medições e comparações dos resultados com normas apropriados (ver seção 2 – Referências normativas) para:

- a) as frequências de sinais de teste;*
- b) os níveis de pressão sonora de fones de ouvido em um acoplador acústico ou ouvido artificial;*
- c) os níveis de força vibratória de vibradores ósseos em um acoplador mecânico;*
- d) os níveis de ruído de mascaramento;*
- e) os degraus de atenuação (sobre uma parte significativa da faixa, especialmente acima de 60 dB)*
- f) a distorção harmônica.”*

3.4 Especificações de procedimentos, histórico e visão prática

Ainda se referindo a norma ISO 8253-1 [29], seção 12, há especificações de quais equipamentos são recomendados para executar a calibração de audiômetros e citações das normas que ditam regras de cada um deles. A norma ISO 8253-1 também comenta sobre a possibilidade de ajustes. Mas como se deve efetuar uma calibração?

³² Item 5.4.3 da norma IEC 60645-1 [23].

³³ Item 5.4.5 da norma IEC 60645-1 [23].

Com relação ao procedimento e ao tipo de amostragem das medições, observe os itens (b) e (c), relativos às *verificações* periódicas da norma ISO 8253-1, transcritas acima. Não há especificação de quais níveis devem ser avaliados. Então pode-se pressupor que sejam todos os níveis. De qualquer forma, o número de combinações possíveis de frequência, nível de pressão sonora selecionados, além dos fones de ouvidos e vibrador ósseo, variam aproximadamente entre 350 a 470 combinações³⁴, e caso audiômetro seja de dois canais as combinações possíveis dobram, ou seja o número de “pontos” de medição pode passar de 900. Quais as combinações devem ser medidas? Todas as combinações? Ou existe uma forma normalizada e garantida de amostragem que torna o trabalho mais rápido?

Wilber [36] conta parte da história do desenvolvimento dos acopladores acústicos e mecânicos, cita as tolerâncias da norma ANSI S3.6, entre outras informações fundamentais, porém quando descreve o procedimento de calibração não especifica nenhum critério a respeito de quais os níveis de pressão sonora devem ser medidos.

“O procedimento para usar um ouvido artificial³⁵ é simples. O fone de ouvido é colocado sobre o acoplador e um peso de 500 g é colocado em cima dele. ... Depois que o fone de ouvido é colocado sobre o acoplador, um tom de frequência baixa (125 ou 250 Hz) é apresentado e o fone de ouvido é reajustado sobre o acoplador até que a intensidade de saída mais alta é lida. Isto ajuda a assegurar o melhor posicionamento sobre o acoplador. Os sinais de saída do fone de ouvido podem então ser comparados com os valores esperados em cada frequência.”

Procedimento similar é seguido no Laboratório de Eletroacústica (LAETA) do INMETRO, com a diferença que o peso de 500 g é substituído pela força de um sistema especial de molas. Entretanto no LAETA os níveis são medidos em todas as combinações de frequência e de níveis de pressão sonora nominais possíveis³⁶, em passos de 5 em 5 dB, ou seja, busca-se uma amostragem que se aproxima de 100% da grandeza medida. Continuando no texto de Wilber [36] não se observa nenhuma orientação sobre eventual obrigatoriedade de medir todos os níveis, ou se é possível medir somente algum nível específico.

Morrill [5], ao se referir inicialmente a Hodgson [17], comenta de forma similar o mesmo procedimento preparatório de posicionamento do fone de ouvido feito por

³⁴ Considerando audiômetro de um canal, dois fones de ouvidos, um vibrador ósseo, diferença entre níveis de 5 dB, medições nas faixas de 20 a 100 dB NA para os fones, e 20 a 60 dB NA para o vibrador, e número de frequências disponíveis entre 8 e 11.

³⁵ No texto os termos *ouvido artificial* e *acoplador* são sinônimos.

³⁶ Mesmo que o passo de nível de pressão sonora gerado pelo audiômetro seja de 1 dB, no LAETA medem-se os níveis de 5 em 5 dB. Os audiômetros mais sofisticados tem passo de 1 dB, dessa forma fica realmente inviável medir todas as combinações possíveis que poderão ser em torno de 2300 ou mais.

Wilber [36], que está reproduzido acima. Entretanto, na sequência Morrill especifica o nível de 70 dB NA para ser selecionado no audiômetro para todas as frequências durante parte do teste de calibração.

“Após o ajuste do posicionamento, o fone de ouvido deve permanecer sobre o acoplador até que a calibração do mesmo seja finalizada. Bem como para a primeira frequência em teste, o seletor de nível do audiômetro deve ser ajustado em 70 dB NA para todas as frequências.”

Morrill [5] não explica o motivo da escolha deste nível específico, e prossegue especificando o teste de linearidade, também sem entrar em detalhes a respeito dos critérios usados para tais amostragens.

“Following the completion of the SPL output check, do not remove the earphone from the coupler; instead, proceed with an attenuator linearity check. To do this, set the frequency dial at 1000 Hz and adjust the octave-band filter Decrease the hearing level dial in 10-dB steps and record each value until the ambient noise and internal noise of the measuring instrument interferes with the measurement, ...”

“Depois de concluir a verificação do nível de pressão sonora (NPS) de saída, não remova o fone de ouvido de sobre o acoplador; ao invés, prossiga com uma verificação de linearidade do atenuador. ... Para fazer isto, selecione 1000 Hz no seletor de frequência e ajuste o filtro de banda de oitava Diminua os níveis de audição no seletor de níveis do audiômetro em passos de 10 dB e anote cada valor indicado até que o ruído ambiente e ruído interno do instrumento de medição interfiram na medição, ...”

Procedendo apenas segundo o descrito acima teremos um total de aproximadamente 20 a 30 combinações³⁷, ou “pontos” de medição. Sem dúvida sempre será mais rápido que medir cerca de 350 pontos ou mais, como é feito integralmente no LAETA.

Na prática o procedimento descrito por Morrill [5], ou outros similares, são usados em vários laboratórios, mesmo sendo no contexto de pesquisa científica, por exemplo, o Centro de Pesquisas da Fala, Audição e Linguagem³⁸ da Universidade de Macquarie [35] criou um modelo de “audiometer calibration report”, relatório de calibração de audiômetros, o qual segue um padrão similar ao apresentado por Morrill, ver anexo 9.9. O relatório da Universidade Macquarie é de cunho acadêmico e não mostra características de certificação oficial, apesar do seu valor científico.

Existe outro procedimento denominado por Morrill de verificações exaustivas da calibração³⁹. São alguns testes que visam comprovar o perfeito funcionamento do aparelho.

³⁷ A variação do número de combinações é devida às variações de nível máximo e do número de frequências disponíveis de cada modelo de audiômetro e variações do nível de ruído ambiente em cada faixa de frequência.

³⁸ *Speech, Hearing and Language Research Centre. Macquarie University. Sydney, Austrália.*

³⁹ Do original: *exhaustive calibration checks.*

“A calibração exaustiva inclui as verificações de nível de pressão sonora e linearidade da calibração acústica padrão e também requer avaliação da exatidão das frequências e distorção dos tons em teste, medição da “interferência cruzada entre canais”⁴⁰ e quaisquer outros sons residuais ou indesejáveis nos fones de ouvido, e verificação dos tempos de ascensão e queda provocados pelo interruptor do tom usado para apresentação do sinal em audiômetros manuais.”

Nesse capítulo o estudo foi restrito principalmente aos aspectos teóricos comentados por alguns autores a respeito da calibração de audiômetros. Porém a aplicação prática destes tipos de testes, de procedimentos de medição e critérios de avaliação metrológica devem visar atender os requisitos de competência e qualidade estabelecidos na norma NBR ISO/IEC 17025 [2]. De qualquer forma, existem inúmeros aspectos a serem explorados durante a implementação prática, seja durante a especificação e aquisição de materiais e *software*, ou no processo de credenciamento, ou durante as auditorias, ou no trabalho cotidiano de um laboratório de calibração. Algumas dessas questões serão abordadas no capítulo 5 deste trabalho.

3.5 A ordem de grandeza das incertezas de calibração de audiômetros

Quais são os principais aspectos técnicos que serão levantados a respeito da calibração? A incerteza de medição e a rastreabilidade; pelo menos do ponto de vista metrológico é o mínimo esperado. Sendo que o certificado de calibração emitido deverá conter tais informações, como está descrito no texto a seguir da norma NBR ISO/IEC 17025 [2].

“5.10.4 Certificados de calibração

5.10.4.1 Em adição aos requisitos listados em 5.10.2, os certificados de calibração, onde necessário para a interpretação dos resultados, devem incluir o seguinte:

- a) as condições (por exemplo: ambientais) sob as quais as calibrações foram feitas, que tenham influência sobre os resultados da medição;*
- b) a incerteza de medição e/ou uma declaração de conformidade a uma especificação metrológica identificada ou seção desta;*
- c) evidência de que as medições são rastreáveis.”*

⁴⁰ Do original *channel crosstalk*.

A incerteza de medição é o “parâmetro, associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser fundamentalmente atribuídos a um mensurando.” [7]. Cada bloco de um sistema de medição contribui com uma parcela da incerteza de medição final. No caso do sistema de calibração de audiômetros a incerteza herdada do padrão⁴¹, chamado calibrador de nível sonoro, é a primeira parcela a ser considerada; porque o ajuste da escala de medição da instrumentação será baseada no calibrador de nível sonoro.

Segundo a norma ISO 8253-1 [29], subseção 12.4, o medidor de nível de pressão sonora recomendado para calibração de audiômetros é do tipo 1. Medidores de NPS são classificados na norma IEC 60651 [25]. Portanto o calibrador de nível sonoro usado deve ser também do tipo 1, ou classe 1, conforme a sua respectiva norma, a IEC 60942 [22]. Esta última fixa o limite de tolerância em $\pm 0,3$ dB para calibradores⁴² classe 1. Earshen [5] faz comentário similar, mas citando norma norte americana.

“A norma ANSI especifica tolerâncias para os NPS produzidos por calibradores. Elas vão de $\pm 0,3$ dB, para calibração de microfones apropriados para uso com medidores de nível sonoro tipos 0 e 1, até $\pm 0,4$ dB para calibração de instrumentos tipo 2 ...”

É possível obter o valor da incerteza do calibrador de nível sonoro a partir do seu certificado de calibração. Da mesma forma com relação aos outros componentes do sistema de calibração de audiômetros, tais como o microfone, pré-amplificador, medidor de nível de pressão sonora, ao verificar os dados contidos nos certificado de calibração dos mesmos. A questão que segue é: Qual é o valor global, ou faixa de valores esperados, da incerteza da calibração dos audiômetros avaliados pelo sistema de medição utilizado?

O Laboratório Nacional de Física do Reino Unido (NPL)⁴³ [32] estima incertezas globais da **calibração de sistemas de calibração de audiômetros** pela via aérea, através de acopladores acústicos, e via óssea, acopladores mecânicos. Não é exatamente o mesmo que quantificar a incerteza da calibração de um audiômetro, cujo valor será provavelmente maior.

“Calibração de sistemas de acoplador acústico e ouvido artificial de referência⁴⁴.”

⁴¹ Possuir um padrão rastreável é uma etapa fundamental para obter medições válidas. Todavia o padrão nunca será perfeito, sempre apresentará uma incerteza associada ao valor encontrado no seu certificado de calibração.

⁴² Aqueles projetados para gerar sinal cuja frequência está dentro da faixa de 160 a 1250 Hz.

⁴³ NPL – National Physical Laboratory

⁴⁴ Do original: *Calibration of Reference Coupler and Artificial Ear Systems.*

Geralmente, o acoplador ou ouvido artificial de referência e seu microfone formam parte de um sistema que inclui um medidor de nível sonoro, ou pré-amplificador para microfone e um amplificador de medição, junto com um calibrador de nível sonoro. O sistema é calibrado em termos da leitura do medidor em resposta a um nível de pressão sonora conhecido. Isto é feito nas onze frequências audiométricas comuns (125 hertz – 8 kHz). A incerteza total da calibração em um nível de confiança de aproximadamente 95% é tipicamente 0,2 dB.”

“Calibração de sistemas de acoplador mecânico⁴⁵.

Um sistema de acoplador mecânico que compreende um acoplador e um medidor de nível sonoro ou amplificador de medição é calibrado em termos da leitura do medidor quando uma força vibratória conhecida, sobreposta sobre uma força estática de 5,4 N, é aplicada sobre o acoplador. Isto é feito nas oito frequências audiométricas comuns (250 hertz - 4 kHz). A sensibilidade do acoplador mecânico é altamente dependente da temperatura e as calibrações são realizadas com o acoplador mantido em uma temperatura de $23^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$. A incerteza total da calibração em um nível de confiança de aproximadamente 95% é tipicamente 0,4 dB”

No caso do LARI o balanço de incertezas incluirá adicionalmente a parcela de incerteza devida a repetitividade das medições proveniente do audiômetro, além de todos componentes citados pelo NPL. Assim os valores esperados são superiores a $\pm 0,2$ dB para via aérea, e maiores que $\pm 0,4$ dB para via óssea, para nível de confiança de estimado em 95 %.

A ordem de grandeza das incertezas das calibrações de audiômetros, em via aérea, obtidas no LAETA / INMETRO está entre $\pm 0,3$ dB [18] a $\pm 0,8$ dB⁴⁶ para frequências entre 500 a 8000 Hz; para 125 e 250 Hz a menor incerteza informada é de $\pm 0,6$ dB. No mesmo laboratório obtém-se incertezas estimadas em $\pm 0,6$ dB para calibração da via óssea [18].

O instituto nacional de metrologia da Turquia (*UME*) informa que o valor da sua *melhor capacidade de medição* referente ao serviço de calibração de audiômetros é de 0,5 dB na faixa de 125 a 8000 Hz. Foram encontradas duas definições de *melhor capacidade de medição*, uma na página da rede Internet do próprio instituto turco, e outra na Versão brasileira do documento de referência EA-4/02 [3]. A seguir temos a transcrição de parte deste último documento, o item 1.3 do EA-4/02.

“No âmbito da EA a melhor capacidade de medição (sempre se referindo a uma grandeza em particular, isto é, o mensurando) é definida como a menor incerteza de medição que um laboratório pode atingir no escopo do seu credenciamento, quando efetua calibrações mais ou menos rotineiras de padrões de medição próximos do ideal, destinados a definir, realizar, conservar ou reproduzir uma unidade daquela grandeza ou de um ou mais de seus valores, ou quando realizam calibrações mais ou menos rotineiras de instrumentos de medição próximos do ideal projetados para medição daquela grandeza.”

⁴⁵ Do original: *Calibration of Mechanical Coupler Systems.*

⁴⁶ Ver anexo 9.1.

Em resumo, as incertezas de medição de níveis de audição das calibrações de audiômetros obtidas em alguns dos laboratórios, na Europa e no Brasil, se encontram na faixa de $\pm 0,3$ dB a $\pm 0,8$ dB.

Além das incertezas relativas aos níveis de audição podemos observar no modelo de certificado de calibração de audiômetros fornecido pelo INMETRO, anexo 9.1, as incertezas de medição de frequência, estimada em 0,1 %, e da distorção harmônica total, também declarada com valor 0,1 %.

3.6 Características metrológicas esperadas de um audiômetro

Wilber [36] cita três parâmetros de audiômetros que segundo ela precisam ser verificados.

“To better understand the procedures for checking calibration, one must first understand the parameters that need to be checked. For puretone and speech audiometers the three parameters are: (a) frequency, (b) intensity, and (c) time (both phase and signal duration)”

“Para entender melhor os procedimentos para verificação a calibração, deve-se primeiro entender os parâmetros que precisam ser verificados. Para audiômetros de tom puro e de logaudiometria os três são: (a) frequência, (b) intensidade, e (c) tempo (duração de fase e do sinal).”

O item (b) *intensidade* na verdade se refere às amplitudes ou aos níveis de pressão sonora produzidos pelos fones de ouvido ou força transmitida pelo vibrador ósseo.⁴⁷

As principais grandezas avaliadas são os níveis de pressão sonora (NPS), os níveis de força vibratória (NF), ou níveis de audição (NA) conforme apresentado em 1.3.4, a frequência de cada tom puro gerado pelo aparelho; além dos níveis de audição dos ruídos de mascaramento. Entretanto existem também requisitos normalizados com relação aos valores de distorção harmônica e aos tempos de apresentação e interrupção de sinais. Na verdade, existem muitos outros requisitos normalizados com relação ao desempenho dos audiômetros, porém vários desses parâmetros somente são avaliados em testes de aprovação de modelo.

⁴⁷ Os tons puros gerados tem outra característica essencial, além do nível (ou intensidade); o sinal tem uma determinada taxa de distorção harmônica. O nível máximo de harmônicos permitidos está normalizado na IEC 60645-1 [23] e será abordado neste trabalho nos item 4.2.5 (Comentários sobre o método de calibração) e em 4.2.7 (Análise dos resultados).

As avaliações citadas em norma usam os termos **exatidão** e **tolerância**. Segundo a norma IEC 645-1 [23] as tolerâncias de cada frequência gerada variam de 1 a 3% dependendo do tipo do audiômetro.

“6.1.2 Exatidão das frequências

Para audiômetros de frequências fixas, as frequências devem ser iguais aos valores individuais dentro das seguintes tolerâncias:

*Tipo 1: ± 1%
Tipo 2: ± 2%
Tipo 3 a 5: ± 3%”*

A conformidade dos NPS produzidos nos fones de ouvido e dos NF transmitidos pelo vibrador também tem tolerâncias definidas na mesma norma [23].

“7.3 Exatidão do nível de pressão sonora e do nível de força vibratória

Quando um sinal de saída é conectado ao transdutor, o nível de pressão sonora produzido pelo(s) fone(s) ou o nível de força produzido pelo vibrador menos o nível do limiar equivalente de referência, não deve exceder ± 3 dB do valor indicado em qualquer seleção do Nível de Audição, nas frequências indicadas na faixa de 125 Hz a 4 kHz e ± 5 dB para 6 kHz e 8 kHz.”

Os ruídos de mascaramento gerados também devem estar dentro de determinada faixa de aceitação.

“7.5.3 Exatidão dos níveis de mascaramento

O nível do som de mascaramento produzido pelo fone de ouvido não deve diferir do valor esperado por mais que + 5 dB a - 3 dB.

No chaveamento do atenuador, o intervalo do passo não deve ser maior do que 5 dB e a diferença medida não deve exceder a 3/10 (três décimos) da diferença nominal entre os dois níveis ou 1 dB, o que for menor.”

O intervalo de passo no chaveamento do atenuador diz respeito a característica de linearidade do mesmo e será comentada mais adiante.

Deve-se tomar cuidado com o uso do vocabulário metrológico. Atenção especial para o significado da palavra **exatidão** que não deve ser aplicada como quantidade, nem confundida com **tolerância**. Encontramos a definição atualizada de **exatidão** no VIM [7].

“3.5 Exatidão de medição [accuracy of measurement / exactitude de mesure, f]

Grau de concordância entre o resultado de uma medição e um valor verdadeiro do mensurando.

Observações:

- 1) *Exatidão é um conceito qualitativo;*
- 2) *O termo precisão não deve ser utilizado como exatidão.”*

A tarefa de avaliar se os sinais gerados pelo aparelho estão, ou não, dentro das especificações de tolerâncias pode ser vista como testes de conformidade. Sabendo que nenhum instrumento é perfeito e que sempre há uma faixa de dúvida, ou incerteza de medição, a faixa de conformidade fica mais restrita que as especificações de tolerância citadas em norma.

A figura 3.1 ilustra, através de um exemplo, duas formas de como se pode visualizar a incerteza de medição em testes de conformidade. Onde L.I.T. é o limite inferior de tolerância e L.S.T. é o limite superior de tolerância.

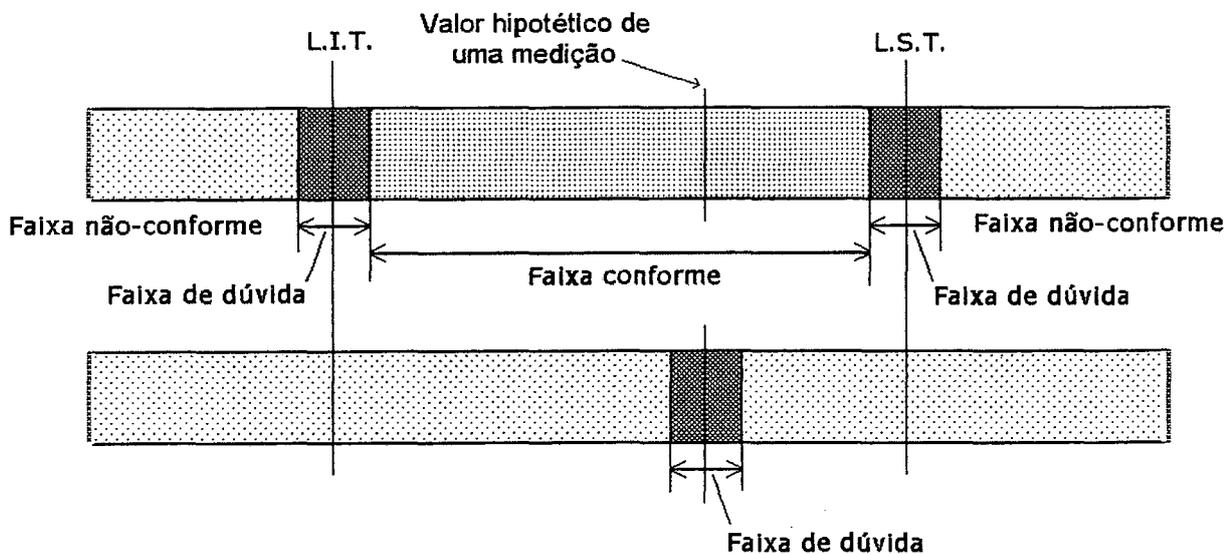


Figura 3.1 - Demonstrativo de teste de conformidade com valor hipotético

Se o instrumento de medição usado fosse perfeito as faixas de dúvida ilustradas não existiriam. O comprimento da faixa de dúvida geralmente corresponde à incerteza $U_{95\%}$ proveniente das não-idealidades da instrumentação.

Por exemplo, em um audiômetro, selecionando o valor nominal (N) de nível de audição de 70 dB NA, na frequência (f) de 1000 Hz, mede-se o NPS com o fone de ouvido no acoplador apropriado. Fazendo as correções matemáticas⁴⁸ para encontrar o NA correspondente, idealmente encontrar-se-ia o valor de 70 dB NA. Mas suponha que o

⁴⁸ A partir do NPS medido: subtrair os LERNPS apropriados, e corrigir os erros sistemáticos do microfone, do pré-amplificador e do medidor de NPS.

procedimento anterior resultou em um valor hipotético de $M = 71,7$ dB NA. Como avaliar a conformidade do sinal medido? Em metrologia e de modo formal é fundamental conhecer o valor estimado da incerteza, e das tolerâncias permitidas. A tolerância para essa situação é de $T = \pm 3$ dB, a qual encontra-se na subseção 7.3 da norma IEC 60645-1 [23]⁴⁹. Com relação à incerteza do sistema de medição (também chamado sistema de calibração de audiômetros) somente podemos supor algum valor, porque até essa parte do estudo não é possível afirmar a ordem de grandeza⁵⁰. Supondo uma incerteza de $U_{95\%} = \pm 1,0$ dB o teste de conformidade resultará em:

Conforme se: $(LIT + U_{95\%}) \leq M \leq (LST - U_{95\%}) \Rightarrow (68 \leq 71,7 \leq 72)$
Não conforme se: $M < (LIT - U_{95\%})$, ou $M > (LST + U_{95\%})$
Onde $LIT = N - T$; e $LST = N + T$

A primeira inequação é satisfeita pelos valores fornecidos, desta forma o ponto de medição nominal $N = 70$ dB NA em $f = 1000$ Hz, mas com valor medido igual a 71,7 dB NA está conforme as especificações. Não há necessidade de ajuste para tal “ponto” de medição hipotético.

O teste de linearidade do atenuador se aplica tanto aos níveis de tons puros quanto aos níveis de ruído de mascaramento. A avaliação de linearidade é feita analisando as tolerâncias dos passos de níveis de audição medidos em uma mesma frequência selecionada. A IEC 60645-1 especifica as tolerâncias permitidas.

“7.4.4 Exatidão do controle do atenuador

No chaveamento do atenuador, o intervalo do passo não deve ser maior do que 5 dB e a diferença medida não deve exceder a 3/10 (três décimos) da diferença nominal entre os dois níveis ou 1 dB, o que for menor.”

Por exemplo, se durante a operação do seletor de nível de audição do audiômetro forem usados passos de 5 dB NA, é esperado que os passos em NPS, medidos no acoplador acústico ou mecânico do sistema de medição, variem na faixa de no mínimo 4 dB e no máximo 6 dB, para respeitar a tolerância máxima de ± 1 dB.

Com relação ao parâmetro tempo comentado por Wilber [36], avaliação dos tempos de resposta, está se referindo à avaliação do recurso chamado tons pulsáteis, ou ao

⁴⁹ Texto citado foi reproduzido na página 39.

⁵⁰ Os cálculos do balanço de incerteza serão mostrados no próximo capítulo.

chaveamento manual para a apresentação dos tons. As características especificadas para o comportamento do sinal apresentado aos fones de ouvido através do chaveamento do interruptor eletrônico do audiômetro são normalizadas nas subseções 7.6.2 a 7.6.4 da norma IEC 60645-1 [23]. A figura 3.2 foi extraída da norma e mostra a envoltória de “subida/descida” de tons de teste.

Na norma [23] são especificados alguns requisitos referentes aos tempos de resposta do interruptor de audiômetros manuais⁵¹. A figura 3.2 ilustra os principais requisitos:

- Relação ligado/desligado: com chave na posição desligado e seletor em 60 dB NA, ou menos, o nível de saída deve ser no máximo o LERNPS menos 10 dB; para NA maiores que 60 dB NA a relação ligado/desligado deve ser 70 dB ou mais;
- AC não deve exceder 200 ms;
- BC deve ser de pelo menos 20 ms;
- DH não deve exceder 200 ms;
- EG deve ser de pelo menos 20 ms;
- As variações de NPS entre B e C e entre E e G devem ser suaves e sem discontinuidades.

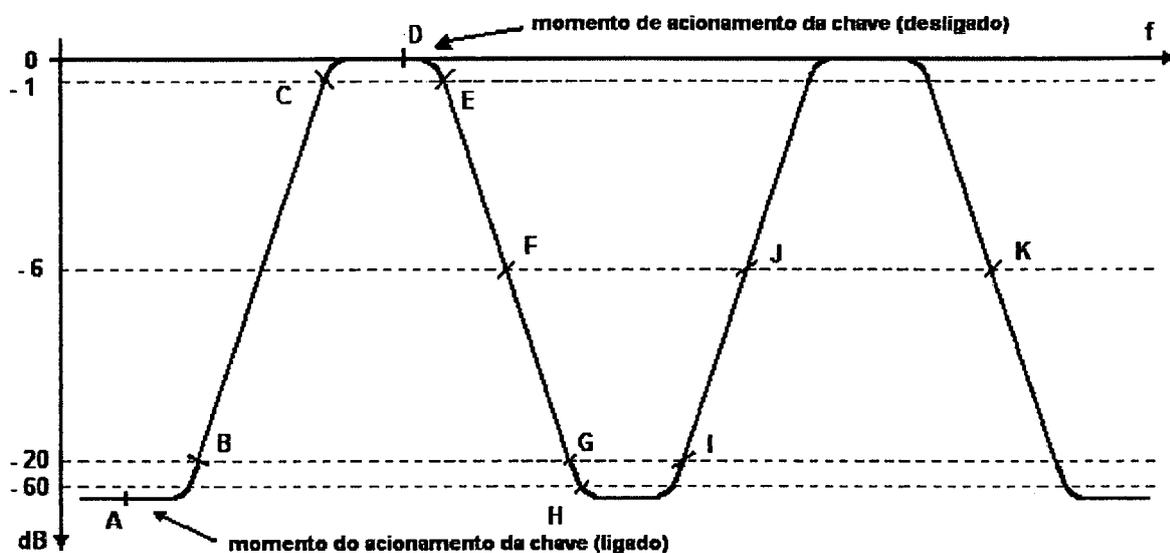


Figura 3.2 - Curva da envoltória normalizada para tons pulsáteis

⁵¹ Ver definição de audiômetro manual na IEC 60645-1 subseção 3.2.

Audiômetros de registro automático são enquadrados em requisitos adicionais, além daqueles já citados acima:

- Tempo de subida BC deve ser de pelo menos 20 ms e não exceder 50 ms;
- Tempo de descida EG deve ser de pelo menos 20 ms e não exceder 50 ms;
- Período “ligado efetivo” CE deve ser de pelo menos 150 ms;
- Tempos “ligado/desligado” FJ e JK devem ter, cada um, valores de (225 ± 35) ms.

É muito importante lembrar que existem mais detalhes a respeito dos requisitos normalizados, e que todos devem ser satisfeitos durante os testes de aprovação de modelos de audiômetros, mas somente os testes relativos à calibração serão discutidos profundamente nesse trabalho.

4 Equipamentos padronizados para calibração de audiômetros, características metrológicas e utilização

4.1 Os elementos do sistema de calibração de audiômetros

De acordo com Wilber [36] os equipamentos recomendados para verificação dos NPS gerados por audiômetros são: (a) um voltímetro, (b) um microfone capacitivo (tanto de campo de pressão quanto de campo livre), (c) um acoplador 6 cm³ NBS 9-A ou IEC 318, (d) um peso de 500 g, (e) um acoplador mecânico para medições com vibrador ósseo (mastóide artificial) e (f) um medidor de nível sonoro ou analisador de espectro (ou outro equipamento que permita tomar leituras em NPS (dB) do microfone em uso).

A instrumentação existente no LARI conta com um calibrador de nível sonoro, microfone de medição capacitivo de uma polegada (para campo sonoro de pressão), acoplador acústico 6 cm³ NBS 9-A, pré-amplificador, medidor de nível de pressão sonora com interface serial para computador contendo freqüencímetro e filtros de banda de freqüências internamente, computador *PC* e *software* para automatizar a calibração de audiômetros. Todos instrumentos, a não ser o computador, são de marca Larson Davis.

Em se tratando de calibração da via aérea em fones de ouvidos de audiômetros, é necessário utilizar, no mínimo, cinco componentes. Na figura 4.1 os componentes principais estão nos retângulos de bordas contínuas e espessas. São considerados componentes principais porque com eles é possível fazer ao menos a calibração de tons puros⁵² por via aérea.

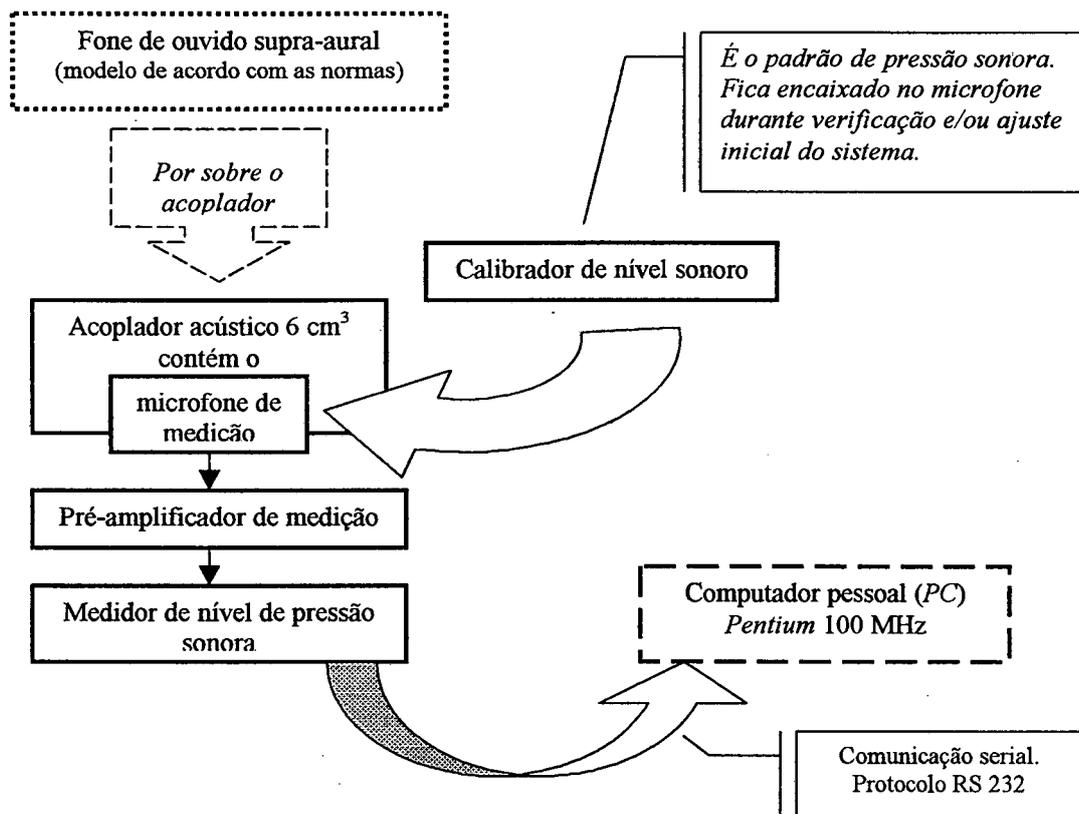


Figura 4.1 - Diagrama ilustrativo da instrumentação de calibração de audiômetros

⁵² Para medições de níveis de ruídos de mascaramento será necessário auxílio do computador para adquirir e calcular a média das leituras, porque as leituras oscilam constantemente.

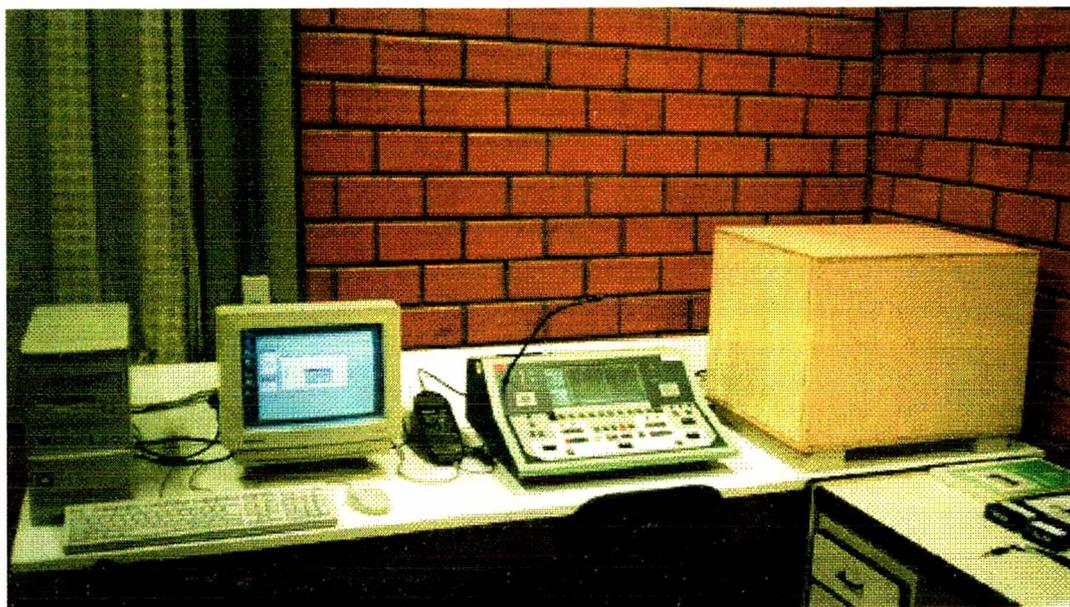


Figura 4.2 - Foto de bancada do LARI, Sistema de calibração e audiômetro AC 40

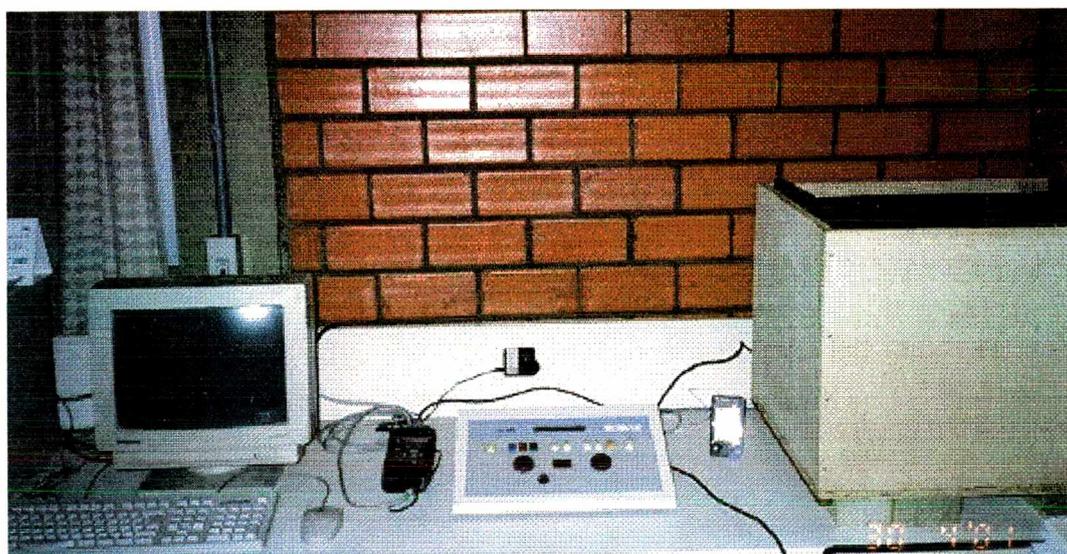


Figura 4.3 - Foto de bancada do LARI, sistema de calibração e audiômetro AD 25

Figura 4.2, da direita para esquerda: cabina, audiômetro AC40 Interacoustics, medidor de NPS 824 Larson Davis e computador. Figura 4.3, no centro, audiômetro AD25 Interacoustics.

4.1.1 Calibradores de nível sonoro

Os padrões mais indicados para manter a cadeia de rastreabilidade de nível de pressão sonora nas intercomparações internacionais, padrões primários, são determinados

microfones de medição projetados para esse fim e calibrados em laboratórios que têm as melhores capacidades de medição, menores valores de incertezas, a nível mundial.

De posse de microfones, e calibradores de nível sonoro, calibrados em laboratório(s) reconhecidos internacionalmente pela sua qualidade metroológica o LAETA / INMETRO pode fornecer o serviço de calibração de calibradores de nível sonoro. Então o calibrador de nível sonoro lá calibrado, frente ao padrão nacional de NPS, estará apto para garantir a rastreabilidade das medições em um laboratório secundário como o LARI.

Por exemplo, o calibrador de nível sonoro CA250 n° de série 3046, valores nominais $f = 250$ Hz e NPS = 114,0 dB, foi enviado ao LAETA e retornou com certificado de calibração contendo os valores verdadeiros convencionais⁵³ de $f = 249,9$ Hz $\pm 0,1$ % e de NPS = 113,9 $\pm 0,1$ dB referente a 20 μ Pa. Assim, durante as calibrações e/ou ajustes deve-se usar os últimos valores numéricos citados, e não os valores nominais, caso contrário a calibração não terá utilidade metroológica.

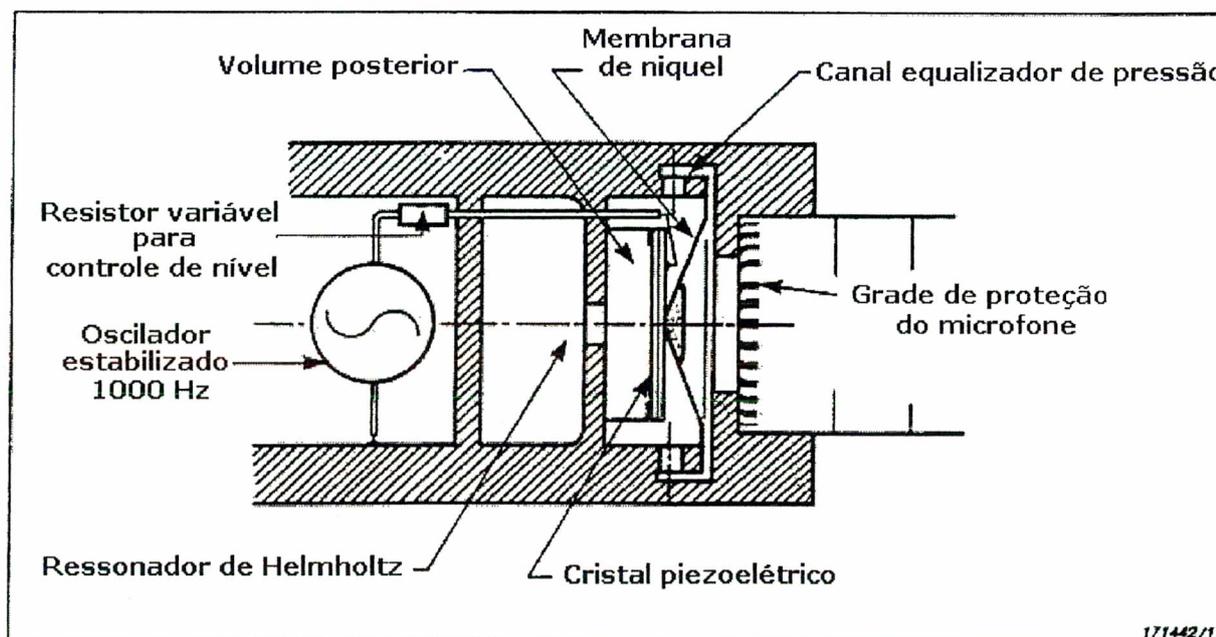


Figura 4.4 - Corte longitudinal do calibrador de nível sonoro *Type 4230*

Existem calibradores de nível sonoro que funcionam baseados no princípio de diafragma ou membrana que vibra, por exemplo, o calibrador de nível sonoro *Type 4230* ilustrado na figura 4.4 [9] que tem uma membrana de níquel. Também existem calibradores baseados em outro princípio mecânico, são denominados *pistonphone*. Como exemplo da ordem de grandeza da incerteza de um *pistonphone* temos o modelo *Type 4228* fabricado por

⁵³ Valor verdadeiro convencional, ver Vocabulário de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia, item 1.20.

Brüel & Kjær com $\pm 0,12$ dB de tolerância do NPS gerado, estimada segundo determinadas condições de referência de temperatura, pressão atmosférica e umidade. Se as condições ambientais forem diferentes das de referência a incerteza tende a aumentar, mesmo sendo efetuadas as correções matemáticas do valor de NPS recomendadas pelo fabricante.

As características e requisitos normalizados para calibradores de nível sonoro podem ser encontrados nas normas IEC 942 – *Sound calibrators*, e ANSI S1.40 – *American National Standard Specification for Acoustical Calibrators*.

É fundamental ressaltar que a manutenção da cadeia de rastreabilidade depende de calibrações periódicas do calibrador de nível sonoro. O período entre as calibrações pode ser anual ou semestral. E, dependendo da estabilidade que o calibrador de nível sonoro apresentar através de seu histórico metrológico, comparando os diversos certificados de calibração obtidos ao longo do tempo, pode-se aumentar o período entre calibrações para dois anos ou mais, ou diminuí-lo para menos de seis meses. A análise da periodicidade necessária é uma questão individual de cada calibrador de nível sonoro, de suas características de deriva em função do tempo de uso; sempre enfatizando a necessidade de manter a cadeia de rastreabilidade contínua e confiável.

4.1.2 Acoplador acústico

A peça de formato cônico esboçada na parte superior da figura 4.5, também presente nas fotografias das figuras 4.6 e 4.11 ilustra a aparência externa que os acopladores acústicos apresentam. A função da cavidade interna desse tipo de peça é proporcionar um volume de ar fechado, com impedância acústica similar a do ouvido humano, onde estará o campo sonoro produzido pelo fone de ouvido durante a calibração e/ou ajuste.

Existem críticas sobre o desempenho deste tipo de acoplador. De acordo com Wilber [36] o acoplador de 6 cm^3 não tem a mesma impedância do ouvido humano, e por esse motivo não pode ser considerado um ouvido artificial verdadeiro. No modelo NBS 9-A foi revelada a existência de uma ressonância natural em 6000 Hz a qual pode interferir nas medições nesta faixa de frequência. Por ser feito de metal suas paredes são duras, facilitando a formação de ondas estacionárias em frequências acima de 6000 Hz. Além desses fatos, há divergências e críticas a respeito do tamanho e formato do acoplador acústico.

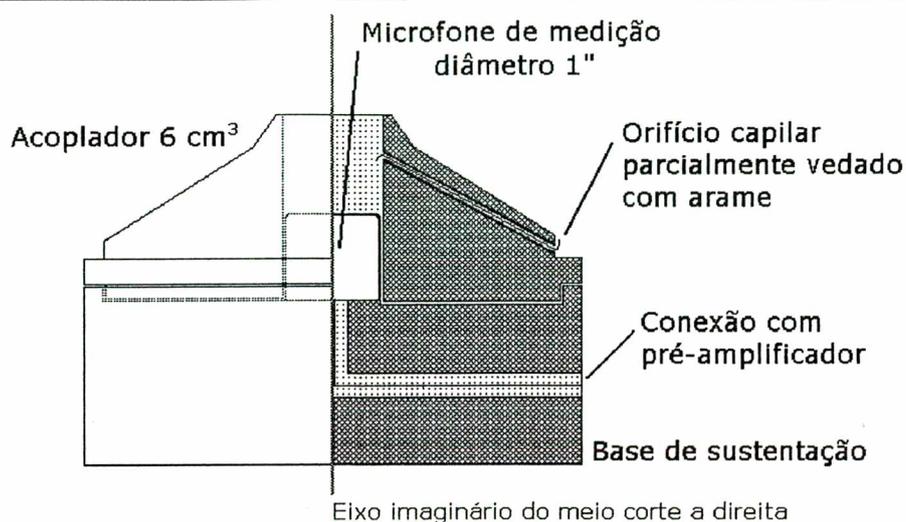


Figura 4.5 - Esboço do corte do acoplador acústico Larson Davis (NBS 9A)

Uma característica notável nos acopladores acústicos é o peso do conjunto base de sustentação e do próprio acoplador. Não é um mero desperdício de material metálico e sim um meio eficaz de evitar que vibrações indesejáveis interfiram nas medições. Na verdade, para aperfeiçoar esse isolamento de vibrações é necessário colocar o conjunto sobre um apoio com características elásticas, tal como pés-de-borracha, ou uma almofada especial, ou conjunto de molas.

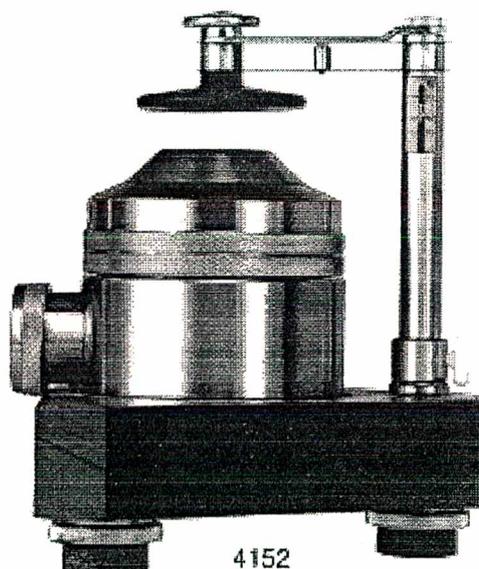


Figura 4.6 - Foto do acoplador acústico modelo *Type 4152*

4.1.3 O microfone de medição

É o transdutor utilizado dentro do acoplador acústico. Transforma a pressão sonora incidente em um sinal elétrico proporcional. De acordo com Gerges [15] o microfone capacitivo é o tipo que tem características mais apropriadas para uso em medições de pressão sonora.

“O microfone capacitivo tem alta estabilidade ao longo do tempo, resposta plana em frequência, alta sensibilidade que é pouco afetada pela variação de temperatura (valor típico de 0,008 dB / °C) e baixo ruído elétrico. Assim, este é tipo de microfone empregado em medições de precisão.”

A expressão “resposta plana em frequência” significa que as variações dessa resposta são pequenas com relação às variações encontradas em outros tipos de microfones. Na verdade, a resposta em frequência de microfones capacitivos geralmente não pode ser considerada totalmente plana, principalmente em serviços como o de calibração de audiômetros.

O princípio de funcionamento desse tipo de microfone é baseado numa membrana metálica que vibra de acordo com a pressão sonora incidente. A distância entre a membrana e a placa perfurada de metal varia conforme a vibração, ver figura 4.7. A variação da distância causa variação da capacitância entre essas placas metálicas, e devido à carga elétrica acumulada nesses elementos será gerado um sinal tensão elétrica proporcional a pressão sonora.

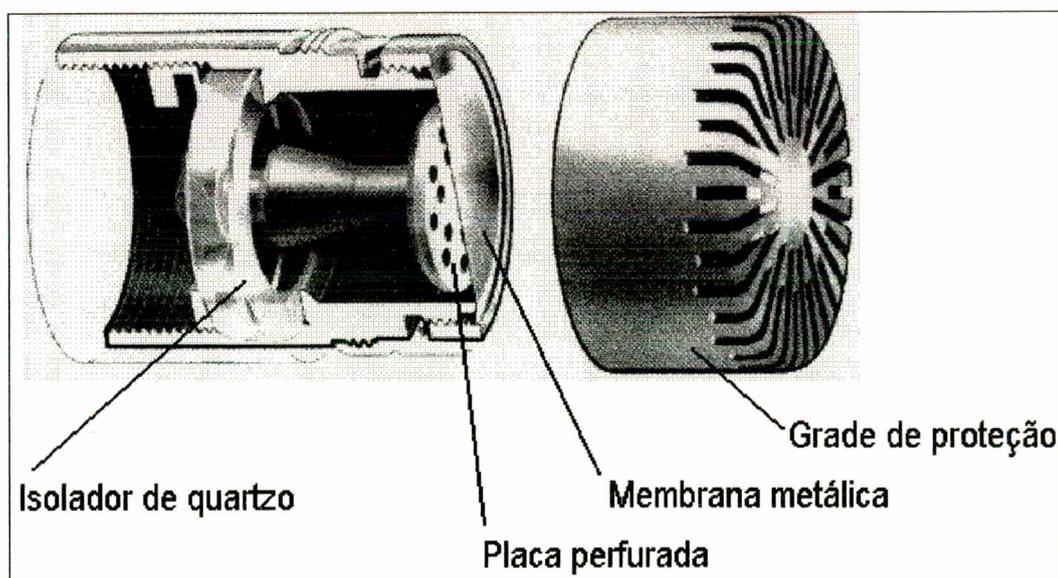


Figura 4.7 - Corte de microfone de medição capacitivo

Na parte inferior da figura 4.8 pode-se ver a placa perfurada que é sustentada pelo isolador transparente de quartzo. Esse tipo de isolador elétrico pode ser de quartzo ou rubi sintético com tratamento contra umidade para maior eficiência, evitando correntes elétricas de fuga.

Segundo Gerges [15] “o microfone é o elemento mais caro em um sistema de medição de ruído”. Atualmente, o microfone de medição não é o mais caro dos elementos que compõem os sistemas de calibração de audiômetro disponíveis no mercado, mas seu preço é igual ou superior a um décimo do custo do sistema todo. Um microfone de uma polegada dificilmente será adquirido por menos de dois mil dólares⁵⁴.

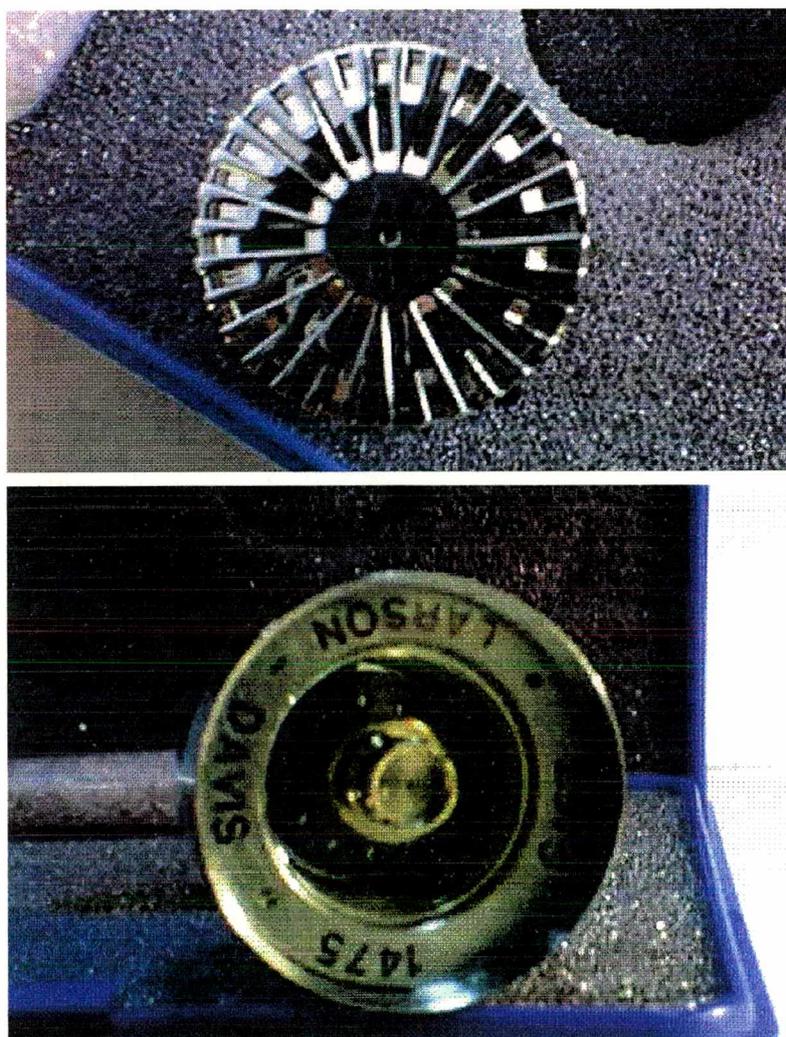


Figura 4.8 - Fotos do microfone de medição capacitivo de uma polegada

⁵⁴ Dois mil dólares equivalem a aproximadamente cinco mil reais no câmbio atual.

4.1.4 Acoplador mecânico

As medições de força vibratória transmitida pelos vibradores ósseos são executadas com auxílio de acopladores mecânicos, também chamados mastóides artificiais. As características desejadas para uma mastóide artificial estão descritas na norma IEC 60373, antigamente denominada IEC 373 [24].

Nesse trabalho foram estudados dois modelos de mastóide artificial. O modelo AMC493 Larson Davis, e o Type 4930 Brüel & Kjær. O primeiro funciona segundo princípio de transformar a força vibratória em pressão sonora a qual fica confinada dentro do mesmo acoplador acústico utilizado para medições com fones de ouvidos. A partir disso é necessário medir o NPS no acoplador acústico e depois converter matematicamente em dB NA proporcional ao nível de força do vibrador ósseo. A mastóide modelo AMC493 é posicionada sobre o acoplador, como na figura 4.10 à esquerda. O princípio de funcionamento da mastóide artificial Type 4930 é totalmente diferente. É independente do acoplador acústico. Esse modelo é baseado no efeito piezoelétrico para transformar a força vibratória diretamente em sinal elétrico. A figura 4.11 apresenta o aspecto interno, e a figura 4.9 mostra a visão exterior de mastóides artificiais Brüel & Kjær.

Do ponto de vista dos fabricantes ambos afirmam que o seu produto atende aos requisitos da norma IEC 373. Na prática a calibração do AMC493, pelo menos atualmente, é inviável. O LAETA / INMETRO não aceita executar a calibração desse modelo; talvez tal situação mude, mas depende de mais estudos e reconhecimento do desempenho do AMC493. Sem a calibração da mastóide artificial em uso não há o elo das rastreabilidade das medições e também compromete o balanço de incertezas da calibração da via óssea dos audiômetros.

Foram efetuados ensaios comparativos entre o sistema Larson Davis e o Brüel & Kjær no LAETA em junho de 2001. Foram ensaios que compararam os valores de medições: dos níveis de pressão sonora, dos níveis de força vibratória, das frequências, e das taxas de distorção harmônica total. Os desvios padrão experimentais na tabela 4.1 indicam que o modelo Type 4930 teve desempenho metroológico superior porque a maioria dos valores de desvios encontrados são inferiores, exceto em 6000 Hz onde também houve ruído mais elevado no modelo Type 4930.

Tabela 4.1

Desvios padrão experimentais, calibração utilizando acopladores mecânicos. (dB)						
Nível selecionado dB NA	Frequência					
	250 Hz		1000 Hz		6000 Hz	
	Type 4930	AMC493	Type 4930	AMC493	Type 4930	AMC493
70			0,23	0,53		
50			0,23	0,47	1,16	0,40
30	0,38	0,67	0,23	0,44	1,20	0,97
10	0,38	0,52	0,27	0,47	-	0,25



Figura 4.9 - Fotos de acopladores mecânicos, mastóides artificiais. (NPL – Inglaterra)



Figura 4.10 - Fotos do acoplador mecânico Larson Davis modelo AMC493 (LARI)

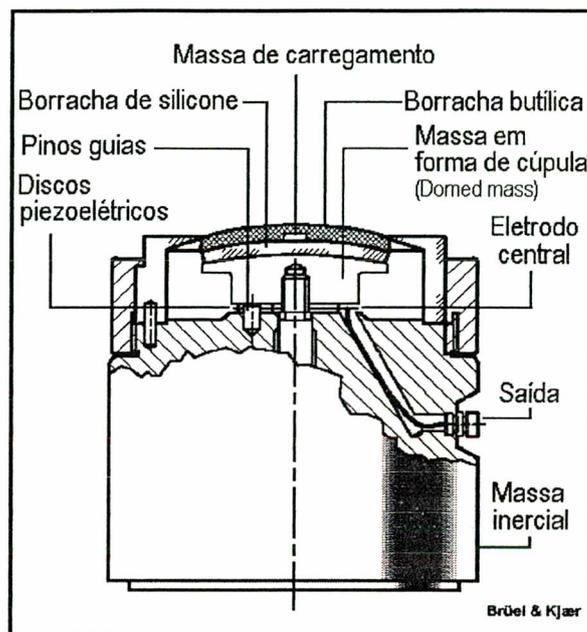


Figura 4.11 - Corte de acoplador mecânico fabricado por Brüel & Kjær

4.1.5 Pré-amplificador de medição

O pré-amplificador utilizado junto ao microfone de medição é um casador de impedância, funciona como um amplificador de corrente. Seu ganho típico é muito pequeno, da ordem de $-0,1$ dB, isso quando conectado à microfones de meia polegada. O pré-amplificador de medição é um dispositivo eletrônico que amplifica os sinais de entrada⁵⁵, porém o sinal amplificado contém parcelas de ruído adicionais, ruído eletrônico, tanto parcelas de valores fixos quanto variáveis. Essa característica impede medições de NPS baixos; menores que 0 dB ou 5 dB, por exemplo.

O pré-amplificador deve ter erros de linearidade baixos⁵⁶, para que seja possível avaliar a linearidade do atenuador do audiômetro de modo correto. Além disso é desejado que o amplificador tenha resposta em frequência o mais plana possível pelo menos na faixa de frequências de interesse (100 a 20.000 Hz⁵⁷). Porém, se o pré-amplificador apresentar desvios

⁵⁵ Sinal que já contém o ruído sonoro ambiental.

⁵⁶ Em torno de 0,1 dB ou menos, mesmo em níveis de sinais mais elevados.

⁵⁷ Na medição da terceira harmônica de 4000 Hz, que é obrigatória para determinação da DHT, temos a presença da frequência de 12000 Hz

sistemáticos na curva de resposta em frequência, será necessário efetuar as correções matematicamente.

4.1.6 Medidor de nível de pressão sonora

O medidor de nível de pressão sonora recomendado é do tipo 1; classificação segundo a norma IEC 60942 – Medidores de nível sonoro [22]. O medidor de NPS é composto por amplificadores, filtros eletrônicos, detetores eletrônicos de valor eficaz (*RMS*), conversor linear para logarítmico (dB), e indicador da leitura. Opcionalmente podem ser equipados com sistema de comunicação de dados, que é conectado ao microcomputador para transferências das leituras e automatização da calibração. Também é possível encontrar modelos com freqüencímetro incorporado ao mesmo sistema.

Algumas vezes a expressão “medidor de NPS” se refere ao conjunto que inclui também o microfone e o pré-amplificador. O fato parece lógico porque o conjunto sem microfone, ou sem o pré-amplificador devidamente conectados não poderá medir pressão sonora.

4.1.7 Freqüencímetro

O freqüencímetro é usado para avaliar se cada um dos tons puros gerados pelo audiômetro está, ou não, dentro dos limites de tolerância de frequência estipulados em norma.

Será necessário um freqüencímetro com incerteza máxima em torno de $\pm 0,1\%$ na faixa de frequência de 125 Hz a 8 kHz. Deve-se lembrar que a menor tolerância em frequência, audiômetros tipo 1, é de $\pm 1\%$ e que a incerteza deve ser menor que essa tolerância. O quanto menor? Um dos valores tradicionalmente utilizados em metrologia está na faixa de um décimo da menor tolerância requerida. Ou seja, um décimo de $\pm 1\%$ leva a $\pm 0,1\%$, que é o valor de incerteza aceitável para um freqüencímetro neste tipo de medição.

O aspecto da rastreabilidade do freqüencímetro é fundamental. Ele deve ser calibrado em laboratório competente. O freqüencímetro interno do medidor de NPS (sistema modelo 824) até a presente data não foi calibrado, porém para fins específicos desse trabalho serão

usados os valores obtidos durante a comparação laboratorial entre equipamentos do LARI e do LAETA feita em junho de 2001.

4.1.8 Câmaras e cabinas

O ruído sonoro encontrado em qualquer ambiente é sem dúvida uma grandeza variável e que precisa ser evitada durante as calibrações de audiômetros. A presença do fone de ouvido sobre o acoplador acústico proporciona uma atenuação sonora desejável. Entretanto é necessário garantir que o ruído ambiente seja atenuado o suficiente para não interferir nas medições dos NPS. O uso de cabinas ou câmaras para isolamento acústico é recomendado. No LAETA existe uma cabina acústica de metal que foi projetada para atenuar ruído ambiental durante calibrações de audiômetros, ela é mostrada na figura 4.12, com a tampa aberta, e na figura 4.13, do item 4.3, à direita, com a tampa fechada.

No LARI foi implementada uma pequena cabina de madeira selada com cola nas arestas para uso experimental e acadêmico. Ela pode ser vista nas figuras 4.2 e 4.3. Os ensaios mostraram que a cabina é eficiente no seu propósito, dispensando o uso de câmaras acústicas de concreto existentes no LARI, os quais estão disponíveis para outras atividades laboratoriais.

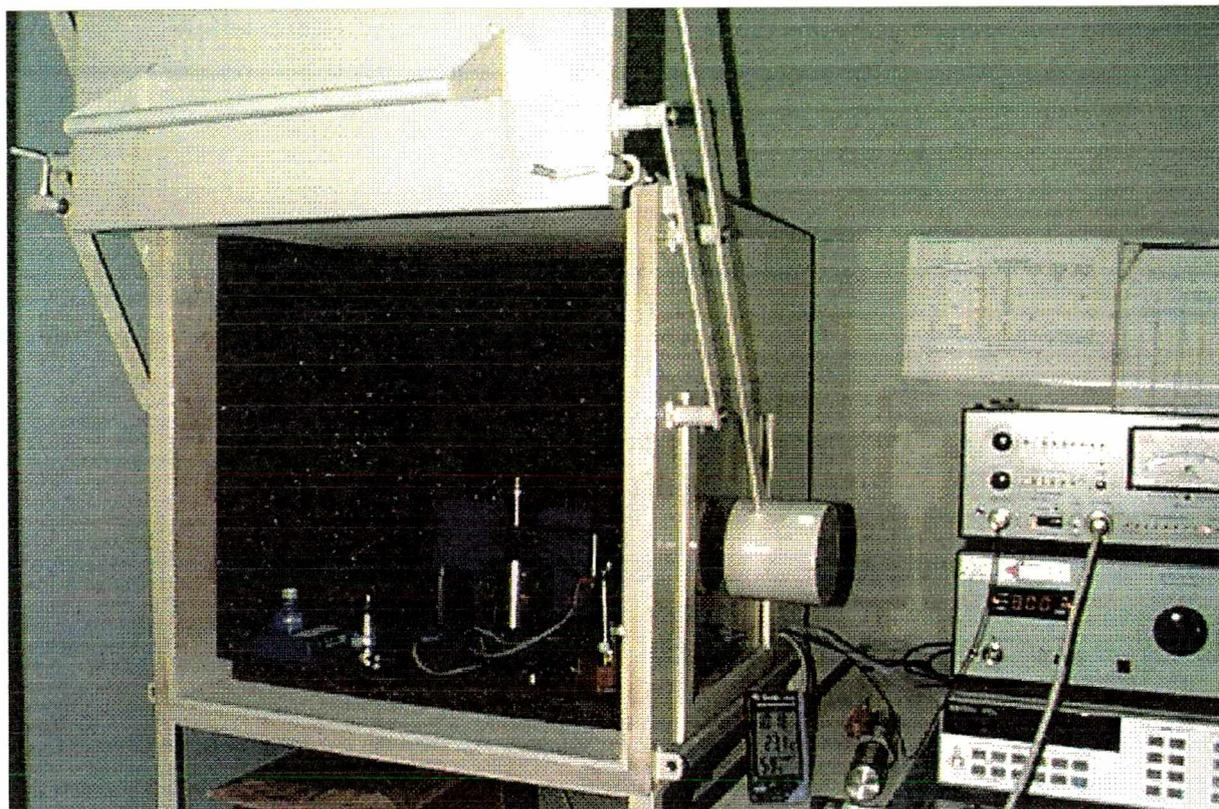


Figura 4.12 - Foto da cabina acústica e equipamentos de calibração de audiômetros (INMETRO)

4.1.9 Outros equipamentos necessários

A distorção harmônica de um tom puro pode ser quantificada através de um instrumento especialmente dedicado para esse fim, como um analisador espectral de sinais com funções de cálculo de harmônicos e da distorção harmônica total (DHT). De outra maneira, é possível utilizar um medidor de NPS com recursos de análise espectral em conjunto com microcomputador e *software* capaz de executar os cálculos para obtenção dos valores dos parâmetros relativos à distorção harmônica dos tons puros.

Instrumentos de medição auxiliares tais como termômetro, higrômetro e barômetro são utilizados na avaliação das condições ambientais dentro do laboratório. As informações obtidas com esses instrumentos geralmente são informadas no certificado de calibração do audiômetro.

4.2 Sistematizando a calibração de audiômetros de tons puros

Para que haja serviços de calibração, automatizados ou não, que sejam mais rápidos e confiáveis, será sempre necessário adotar uma sistemática eficaz. A organização geral das etapas é dada a seguir:

- Montagem do equipamento (sistema de calibração e o audiômetro);
- Ligar aparelhos e aguardar o tempo de aquecimento (*warm up time*);
- Ajuste de escala do sistema de calibração através do uso de calibrador de nível sonoro;
- Posicionar fone de ouvido ou vibrador ósseo sobre acoplador acústico ou mecânico;
- Selecionar, no audiômetro, cada combinação de frequência e nível;
- Anotar as leituras do medidor de NPS (repetir o passo anterior para cada ponto de medição);
- Aplicar as correções dos desvios sistemáticos dos instrumentos de medição aos valores indicados pelo medidor de NPS, encontrando assim os NPS corrigidos⁵⁸;
- Aplicar a transformação de NPS para NA através da subtração dos valores dos LERNPS ou dos LERNF⁵⁹;
- Obter os desvios (diferença entre valores de NA medidos e NA nominais)⁶⁰;
- Medir as frequências dos tons puros usando freqüencímetro;
- Medir os valores de distorção harmônica dos tons puros.
- Medir os níveis médios dos ruídos de mascaramento (opcional).

O detalhamento e implementação desses passos geralmente é encontrado no procedimento de calibração no item “método de calibração”. Neste trabalho a sistematização detalhada encontra-se em 5.2.4 e em 5.2.5, e também nas seções 7 e 8 do procedimento de calibração mostrado no anexo 9.2.

⁵⁸ Essas etapas são cálculos matemáticos que podem ser feitas automaticamente por computador, durante as medições ou posteriormente.

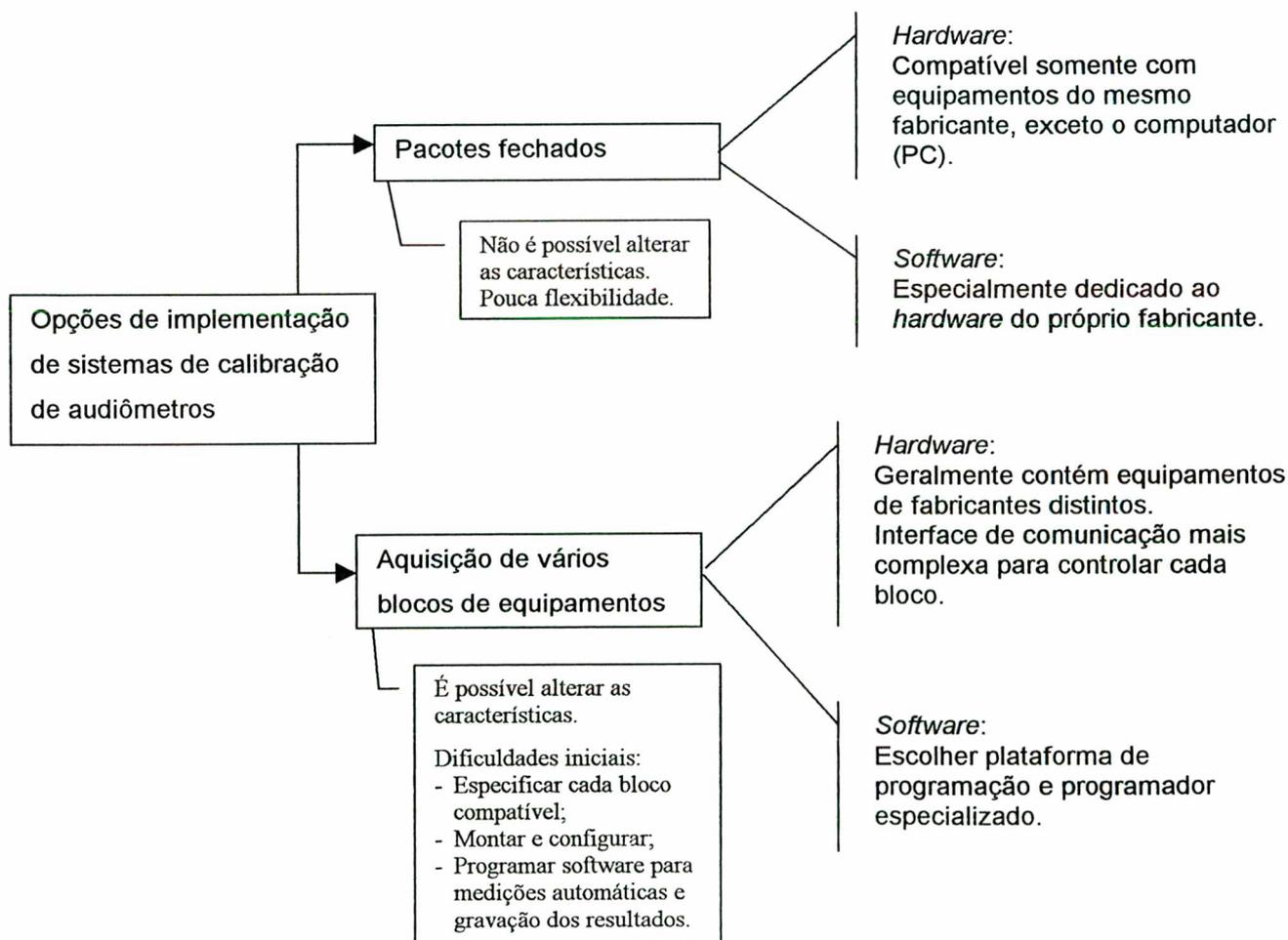
⁵⁹ Idem 58

⁶⁰ Idem 58

4.3 Recursos utilizados para automatização da calibração de audiômetros

De um modo geral pode-se classificar a implementação de um sistema automatizado de calibração em dois tipos. Em pacote fechado de um fabricante especializado, ou em pacote aberto que poder ser composto por equipamentos de vários fabricantes e aceitar programação por parte do usuário para se adequar às necessidades específicas. O diagrama a seguir esboça essas duas opções de implementação.

Durante visita ao LAETA/INMETRO, setor de calibração de audiômetros, foi observada a implementação de características flexíveis, de vários blocos conectados por cabos de comunicação e controlados por computador. Ambas as placas de comunicação lá adotadas são utilizadas mediante programação implementada pelo operador, facilitando eventuais modificações. Caracterizando um pacote aberto dedicado a automatizar as calibrações. As figuras 4.14 e 4.15 mostram equipamentos do LAETA, além de um audiômetro Interacoustics AD 25 que estava sendo calibrado.



O sistema utilizado no LARI, 824 Larson Davis, tem características de “pacote fechado”. Apesar das facilidades oferecidas, não há possibilidade de reprogramar o sistema a partir dos conhecimentos do operador. Qualquer modificação ou atualização fica por conta do fabricante e/ou seu fornecedor de *software*.

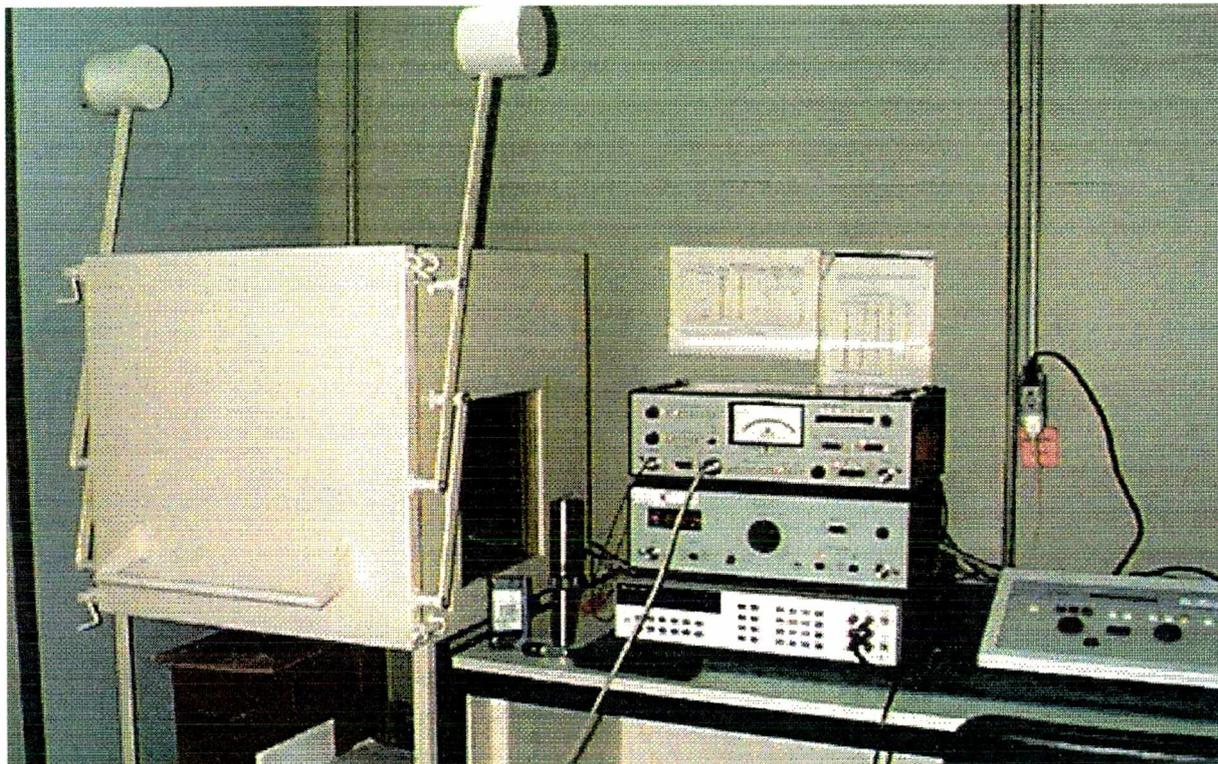


Figura 4.13 - Foto do audiômetro modelo AD25 e equipamentos de calibração (INMETRO)

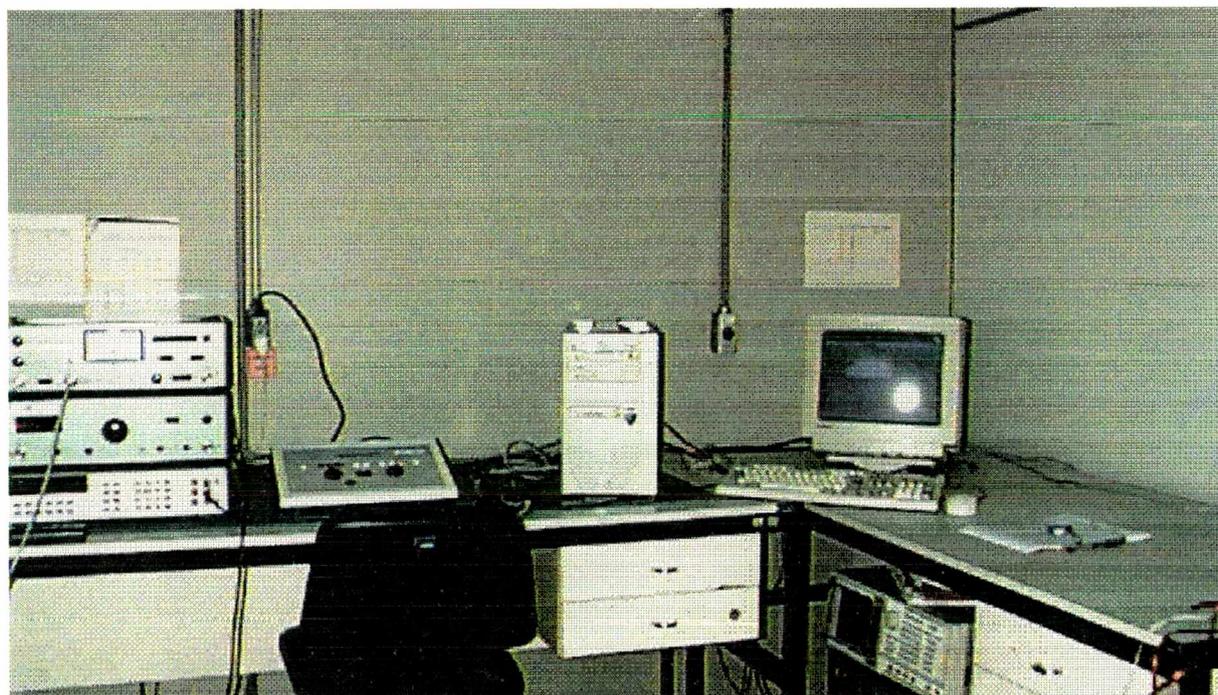


Figura 4.14 - Foto do audiômetro modelo AD25, equipamentos e computador (INMETRO)

4.4 Fontes de incertezas da calibração de audiômetros

Os instrumentos de medição não são perfeitos. Existem determinadas não-idealidades de cada instrumento, e grandezas de influência contribuindo para aumentar a faixa de incerteza das medições. O objetivo principal do estudo quantitativo de cada fonte de incerteza é a aplicação no balanço de incertezas; sendo este último uma seqüência de cálculos encontrada no item 4.5 deste trabalho.

A seguir serão estudadas algumas fontes de incertezas que podem, ou não, ser incluídas no balanço de incertezas. Algumas fontes de incerteza podem ser desconsideradas porque sua influência é muito pequena⁶¹ diante das outras fontes. Se a grandeza de influência não puder ser desprezada deve-se estimar o parâmetro denominado *incerteza padrão* (u) da respectiva grandeza pesquisada. A equação 4.4.a representa de um modo geral a relação entre *incerteza padrão* (u) e a *incerteza expandida* (U) de uma determinada grandeza, mostrando a necessidade de um fator de correção aqui chamado *fator de abrangência* (k_x). Esse último é determinado através dos *graus de liberdade* (ν - pronuncia-se “ni”) que são estimados em função do modo como foram obtidos os dados da grandeza x ⁶².

$$U(x) = k_x \times u(x) \quad 4.4.a$$

A maioria das informações citadas entre 4.4.1 e 4.4.11, exceto 4.4.3, foram obtidas de forma teórica, incerteza tipo B. Para fins de exemplo será obtido um valor numérico de *incerteza padrão* em cada item a partir de 4.4.1 até 4.4.11, todos valores relativos ao sistema de calibração de audiômetros 824 Larson Davis, e mais especificamente em 4.4.3 os dados experimentais serão referentes aos audiômetros modelo AC-40 da Interacoustics de propriedade do LARI, e ao audiômetro modelo AD 25 que foi cedido por uma fonoaudióloga.

Uma forma amplamente utilizada para ilustrar as fontes de incertezas associadas à calibração é o diagrama de causa e efeito. A figura 4.15 apresenta um levantamento das fontes de incertezas relativas à calibração de audiômetros no formato de diagrama causa e efeito.

⁶¹ Considerando “muito pequeno” valor em torno de 20 vezes menor do que a maior fonte de incerteza, ou valores inferiores.

⁶² O coeficiente t de *student* é um parâmetro amplamente utilizado para estimar o fator de abrangência k . Existe uma relação matemática entre t e os graus de liberdade (ν) (ver subseção C.3.8 do Guia para expressão da incerteza de medição), porém é mais usual obter os valores tabelados de t .

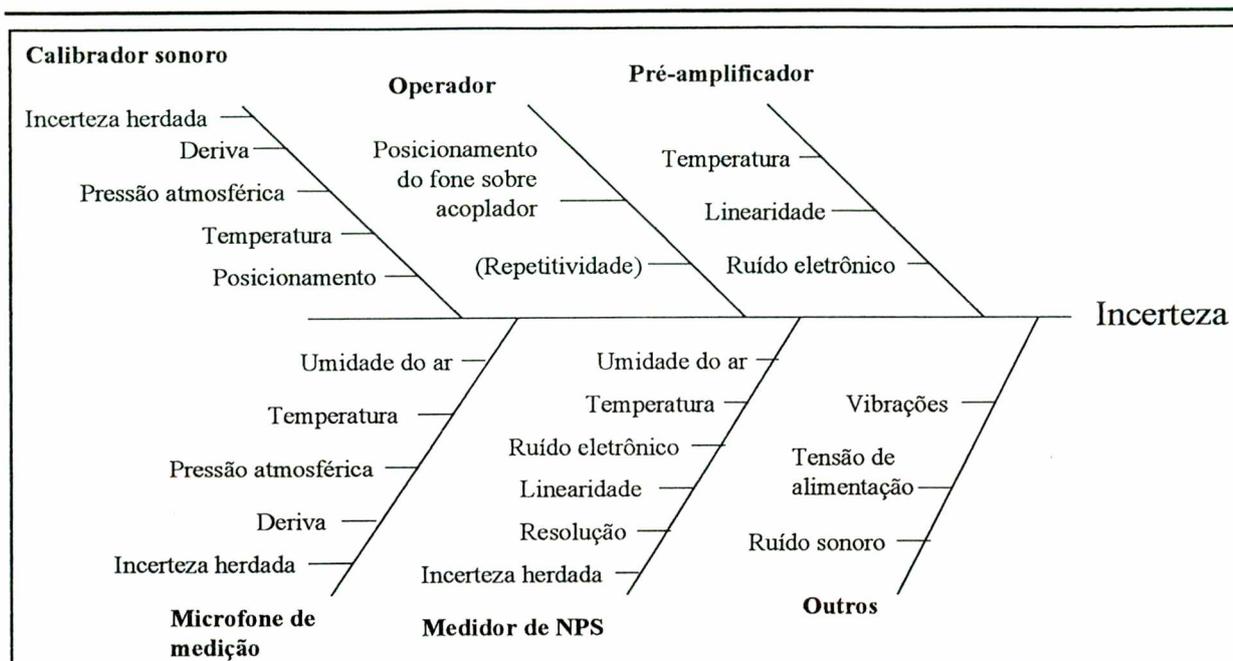


Figura 4.15 - Diagrama de causa e efeito resumindo as possíveis fontes de incerteza da calibração de audiômetros

É importante prever possíveis problemas que podem ocorrer no balanço ou cálculo de incertezas. Um deles diz respeito à escala de medição, ou tipo de unidade, usada na combinação das incertezas. Todos os valores de *incerteza padrão* que entram nos cálculos devem estar na mesma unidade. Em nosso caso a unidade de NPS em dB referente a 20 μPa é compatível com os decibels das incertezas dos instrumentos de medição, ou seja, todos os valores estarão em decibel. Portanto não provocará problemas de unidades incompatíveis. Entretanto, o decibel é uma escala não-linear o que pode causar erros desde a conversão das incertezas expandidas em incertezas padrão, e vice-versa, além de problemas nos cálculos do balanço de incertezas. Uma possível solução seria a transformação em valores percentuais, ou em valores por unidade.

De qualquer forma, neste trabalho o balanço de incertezas (item 4.5) será calculado com valores em decibel, isso é baseado em três fatos:

- no “Suplemento 1, Exemplos, da Versão brasileira do documento de referência EA-4/02-S1” existe um exemplo de cálculo de incertezas feito diretamente em dB. A ordem de grandeza da incerteza obtida naquele exemplo⁶³ é relativamente pequena, $U = 0,045$ dB, sendo esse o provável motivo do uso da escala decibel;

⁶³ Calibração de um atenuador de passo coaxial numa especificação de 30 dB (perda incremental).

- traçando gráficos da escala decibel em função da escala linear percentual é possível observar que os valores em torno de ± 1 dB seguem um comportamento aproximadamente linear, enquanto valores em torno de ± 5 dB ou maiores, são visivelmente não-lineares. Considerando também que o valor esperado para a incerteza total é inferior a $\pm 1,0$ dB haverá menos chances de comprometimento do resultado final devido a não-linearidades da escala decibel.
- É seguro utilizar-se da operação de soma diretamente em escala dB. Ao somar parcelas de incertezas em dB obtendo uma incerteza combinada (u_c) também em dB, esse último valor será igual ou maior do que quando é efetuada a conversão de valores de dB para percentual, ou outra escala linear. Ou seja, pode-se estimar a incerteza total por ambas as formas de maneira segura, porém somar diretamente em dB ocasiona um aumento na incerteza global estimada.

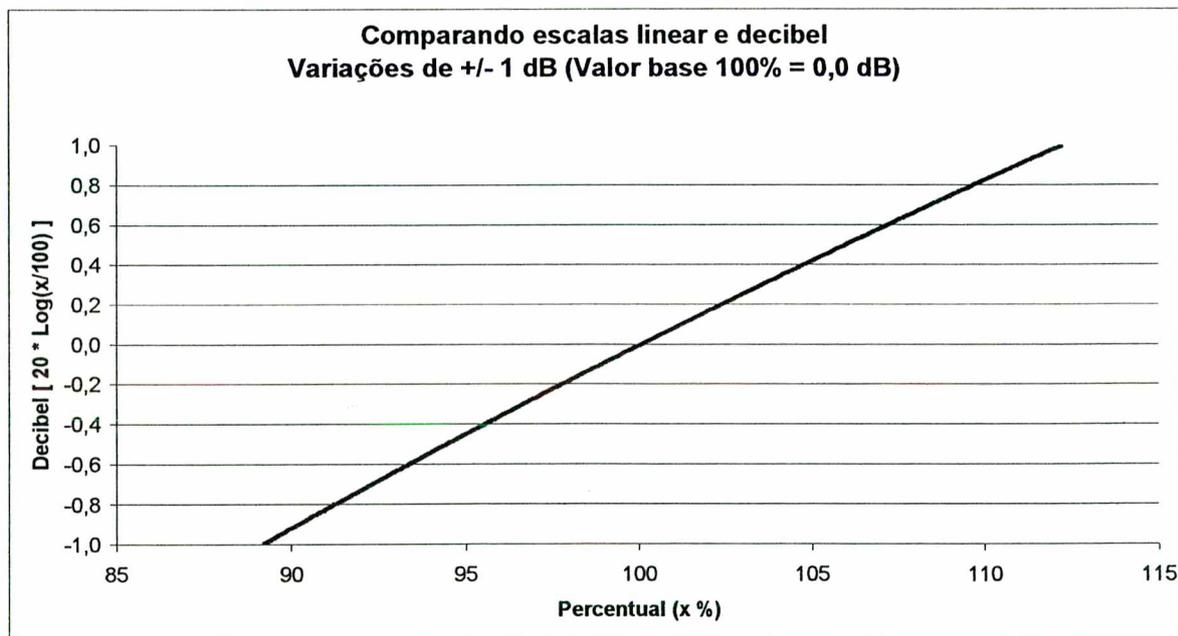


Figura 4.16 - Gráfico comparativo de linearidade entre escala linear e decibel

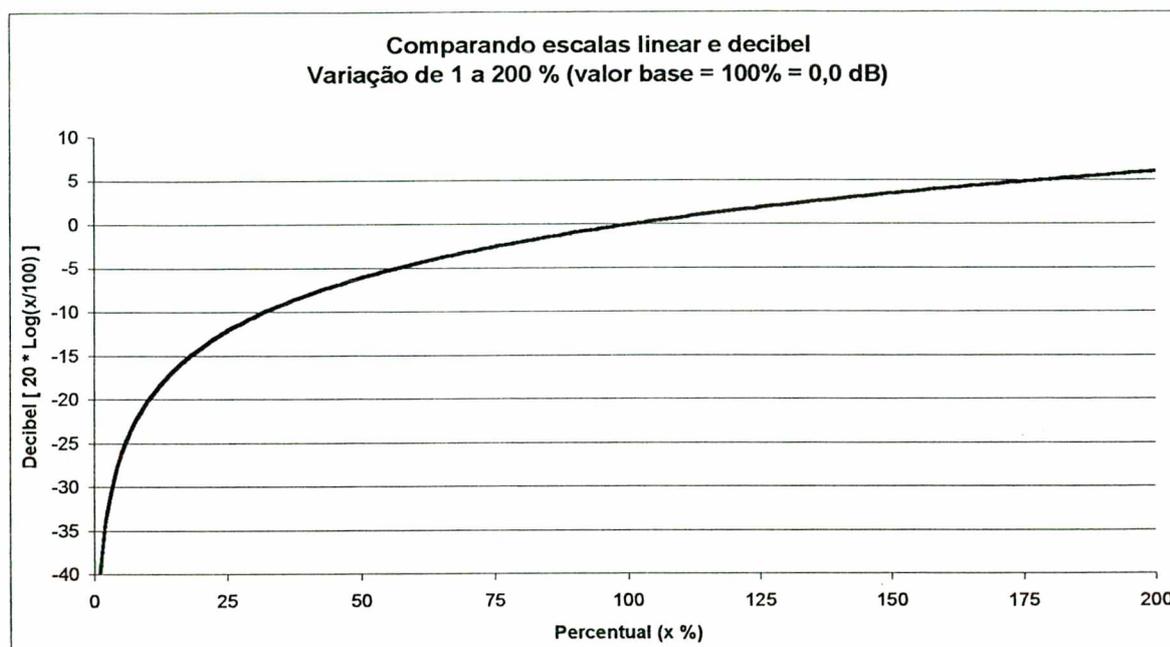


Figura 4.17 - Gráfico comparativo de linearidade entre escala linear e decibel

A demonstração da afirmação anterior pode ser vista na figura 4.18, onde há uma incerteza constante, 0,5 dB, somada a uma incerteza variável. Onde a reta que representa o somatório feito diretamente em dB alcança valores ligeiramente superiores a da curva que representa o somatório previamente convertido em percentual. O mesmo fato ocorre com a soma quadrática, ou seja, é seguro utilizar os valores diretamente em dB quando se soma duas variáveis para estimar incertezas. As inequações 4.4.b e 4.4.c ilustram o significado da demonstração da figura 4.18, mas não provam a afirmação com deduções matemáticas. Na inequação 4.4.b as variáveis A e B são somadas de forma algébrica, e em 4.4.c são somadas de forma quadrática, esse último tipo de operação será necessária no balanço de incertezas para somar variáveis não correlacionadas.⁶⁴

$$|A_{dB}| + |B_{dB}| \geq |A_{\%}| + |B_{\%}| \quad 4.4.b$$

$$\sqrt{(A_{dB})^2 + (B_{dB})^2} \geq \sqrt{(A_{\%})^2 + (B_{\%})^2} \quad 4.4.c$$

⁶⁴ Nas inequações 4.4.b e 4.4.c as variáveis com índice “%” são correspondentes à variação percentual, ou seja, variação em torno de 0%.

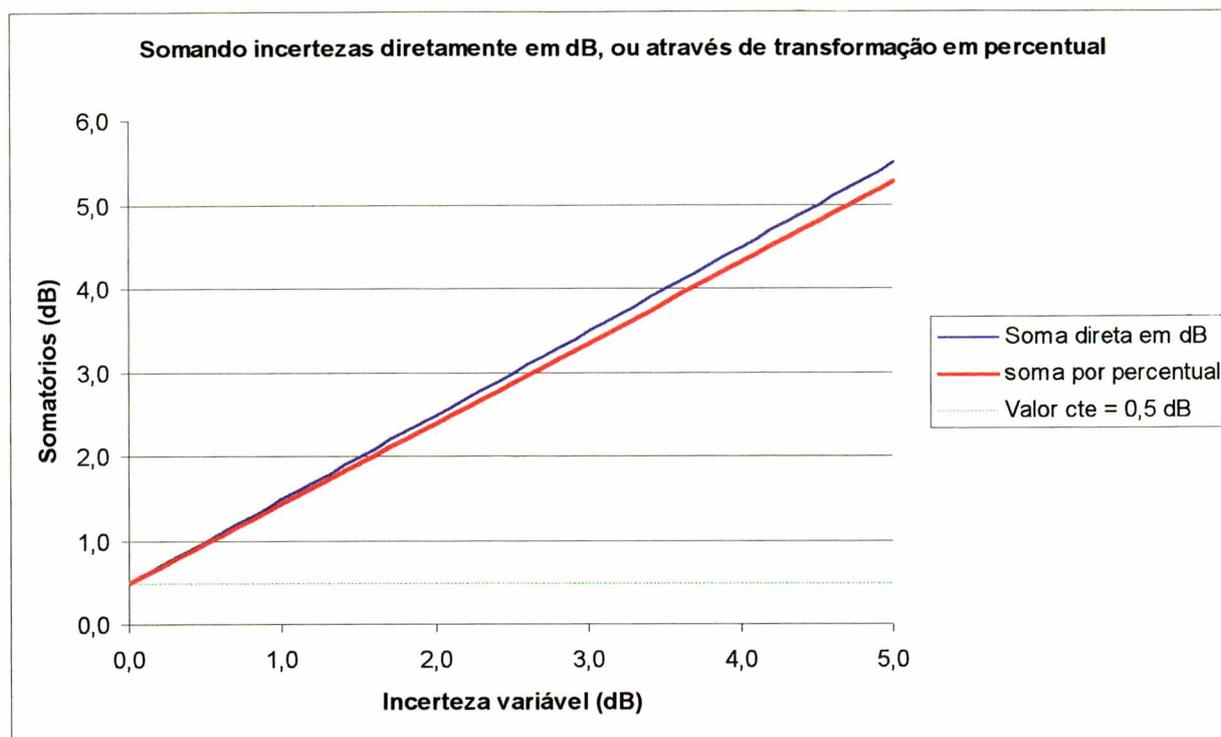


Figura 4.18 - Gráfico demonstrativo do somatório de incertezas em decibel

4.4.1 Incerteza herdada do padrão, calibrador de nível sonoro.

As fontes de informações a respeito da incerteza associada ao calibrador de nível sonoro são os catálogos e manuais do fabricante, e o certificado de calibração mais recente do mesmo. A partir do certificado obtém-se o valor da incerteza de medição declarada pelo laboratório que o calibrou.

Uma das não-idealidades dos calibradores de nível sonoro, como em todo sistema físico, é a deriva em função do tempo. A estabilidade em função do tempo não é perfeita. Então o próximo passo será estimar a deriva do NPS gerado pelo calibrador de nível sonoro. Caso existam alguns certificados de calibração do calibrador em questão, três ou mais certificados válidos, pode-se traçar um gráfico que nos ajudará a estimar a deriva.

Na figura 4.19 estão representados valores hipotéticos de valores de NPS. Supondo que todos aqueles valores foram obtidos de certificados de calibração de um mesmo calibrador de nível sonoro, é possível estimar que a deriva máxima ocorrida foi

aproximadamente $\pm 0,1$ dB / ano. Como que esse valor de deriva entrará no cálculo da incerteza?

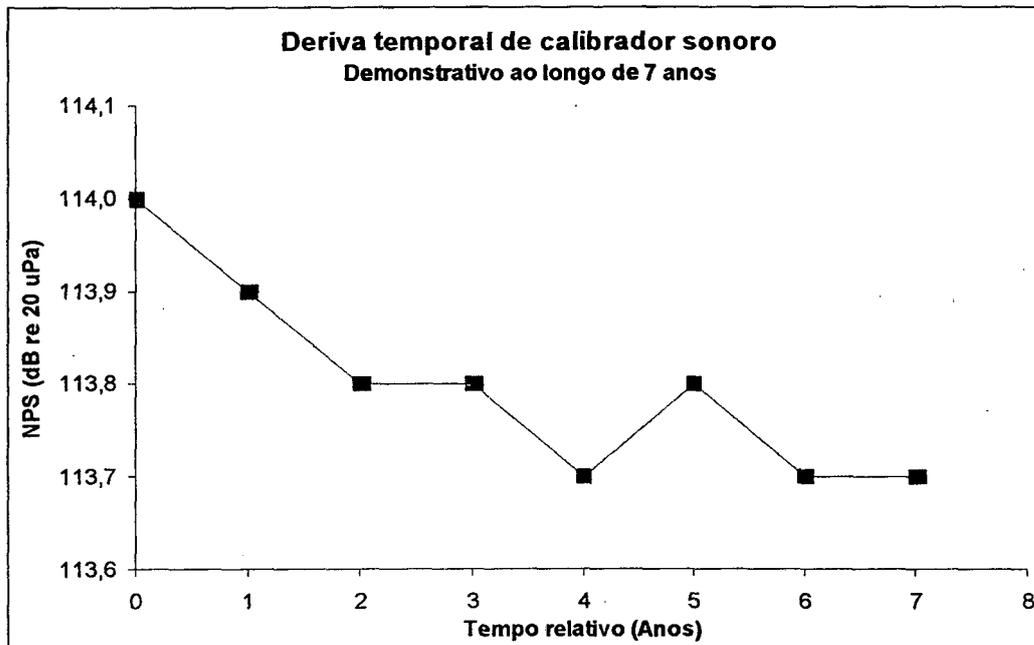


Figura 4.19 - Gráfico demonstrativo de deriva de calibrador de nível sonoro

Por segurança deve-se somar o valor da deriva do calibrador de nível sonoro ao valor da incerteza ($U_{\text{certificado_cal}}$) do mesmo. Assim encontra-se a incerteza do calibrador acrescida de sua deriva ($U_{\text{calibrador}}$), de acordo com a equação 4.4.1.a.

$$U_{\text{calibrador}} = k \times \sqrt{\left(\frac{U_{\text{certificado_cal}}}{k}\right)^2 + (\text{Deriva})^2} \quad 4.4.1.a$$

Onde $k = 2$

Caso existam apenas um ou dois certificados será interessante observar os catálogos e/ou manuais do fabricante. Por exemplo, o catálogo do fabricante do calibrador modelo CA250, Larson Davis, informa um valor de deriva (*stability*) de $\pm 0,1$ dB / ano. A idéia fundamental é não desprezar nenhuma fonte de incerteza sem analisá-la previamente. Mesmo que a deriva seja aparentemente igual a 0,0 dB no primeiro ano, ou em dois anos de uso, não é cabível simplesmente esquecê-la para sempre.

O valor estimado para a incerteza padrão proporcionada pelo calibrador (u_{cal}) será:

$$u_{cal} = \frac{U_{calibrador}}{k} = \pm \frac{2,0 \times \sqrt{\left(\frac{0,1}{2,0}\right)^2 + (0,1 \times 2)^2}}{2,0} = \pm 0,206 \text{ dB} \quad 4.4.1.b$$

A incerteza total no numerador da equação 4.4.1.b foi calculada considerando duas vezes a deriva estimada para um ano ($2 \times 0,1$ dB) porque seu certificado de calibração é datado de 1999, e assim temos dois anos de prazo até o ano corrente de 2001.

O fator de abrangência k foi determinado pelo valor do coeficiente t de student segundo dois parâmetros: nível de confiança de 95 %, e número de graus de liberdade em torno de 50 ou mais. Sendo esse último um modo de afirmar que o laboratório que emitiu o certificado já executou pelo menos 50 ensaios do mesmo tipo, com o mesmo equipamento, e com o mesmo procedimento. A distribuição de probabilidade é considerada aproximadamente normal.

4.4.2 Ajuste do sistema de medição

A operação de ajuste do sistema de medição efetuada com auxílio do calibrador de nível sonoro pode apresentar pequenas variações. Ao conferir o valor do ajuste de escala do medidor de NPS modelo 824, por exemplo, foram encontradas variações da ordem de $\pm 0,1$ dB⁶⁵.

Quais seriam as possíveis causas da variação? O posicionamento do calibrador de nível sonoro junto ao microfone, e variações aleatórias do desempenho do calibrador de nível sonoro. Para efetuar a verificação e/ou ajuste do sistema precisamos encaixar o calibrador de nível sonoro no microfone de medição. E ao fazer uma verificação posterior, ao final de um serviço de medição, por exemplo, será necessário encaixar o calibrador novamente e dessa forma não é possível garantir que a posição de encaixe é exatamente a mesma que a anterior.

Para estimar a incerteza padrão devido ao ajuste do sistema (u_{ajuste}) será considerada distribuição de probabilidade retangular e com graus de liberdade tendendo a infinito.

$$u_{ajuste} = \pm 0,1 / \sqrt{3} = \pm 0,0577 \text{ dB} \quad 4.4.2.a$$

⁶⁵ Mesmo valor que a resolução do aparelho.

4.4.3 Resolução do medidor de NPS

A resolução finita de um aparelho digital como o medidor de NPS é uma das fontes de incerteza que sob determinadas condições não entrará no balanço de incerteza. Deve-se refletir a respeito das condições da calibração e analisar os efeitos causados pela resolução do medidor. As principais condições são:

- A escala de medição do sistema de calibração de audiômetros foi ajustada, ou apenas verificada através do calibrador de nível sonoro?
- Na declaração de incerteza do certificado do medidor de NPS o valor da incerteza declarada foi calculado apenas como a incerteza de medição dos instrumentos do laboratório que prestou o serviço, ou já incluiu a resolução do medidor de NPS no cálculo da incerteza global da calibração do mesmo?

Na primeira condição questionada, se for efetuado o ajuste⁶⁶ do medidor evita-se uma parcela de incerteza adicional da ordem da metade da resolução⁶⁷ ($R/2$). Quando o operador faz apenas a verificação (*check*), usando o calibrador de nível sonoro, mesmo assim ele está restrito à resolução do aparelho. Porém quando é feito o ajuste de escala elimina-se essa fonte de incerteza. Isso ocorre porque o ajuste proporcionado pelo sistema eletrônico do medidor de NPS não está restrito à resolução de 0,1 dB.

A dúvida levantada na segunda condição seria fácil de resolver se a incerteza declarada fosse menor que a metade da resolução ($R/2$) que corresponde a $\pm 0,05$ dB. Porém a informação declarada no certificado de calibração de medidores de NPS fornecido pelo INMETRO, ver anexo 9.7, é expressa da seguinte forma:

“Incerteza das medições: 0,2 dB”.

Sendo um valor superior a $R/2$ não podemos afirmar à primeira vista que o valor da resolução foi, ou não foi, incluído no cálculo da declaração acima. Portanto, na dúvida devemos perguntar ao responsável pela prestação do serviço de calibração do medidor.

O laboratorista responsável pela calibração (INMETRO) afirmou que o valor da resolução do medidor de NPS já está incluído no cálculo da incerteza declarada no certificado de calibração do mesmo. Portanto, não se deve incluir a resolução no balanço de incertezas de

⁶⁶ O ajuste é acessado pela opção *calibration* em alguns medidores de NPS.

⁶⁷ O tipo de distribuição de probabilidade dessa parcela é retangular.

audiômetros, para evitar que a mesma fonte de incerteza seja considerada de forma redundante.

4.4.4 A repetitividade das medições.

Devido a efeitos aleatórios, os resultados de quaisquer medições sucessivas estão sujeitos a variações. A dispersão entre os vários resultados das medições pode ser usado para quantificar a denominada repetitividade das medições. Por ser evidentemente uma fonte de incerteza de caráter experimental a repetitividade é classificada como incerteza tipo A, e pode ser quantificada através de tratamento estatístico dos resultados de medições repetidas. Para uma definição mais completa observe o texto do VIM [7] reproduzido a seguir.

“3.6 Repetitividade (de resultados de medições) [repeatability (of results of measurement) / répétabilité (des résultats de mesure)], f]

Grau de concordância entre os resultados de medições sucessivas de um mesmo mensurando efetuadas sob as mesmas condições de medição.

Observações:

- 1) Estas condições são denominadas condições de repetitividade*
- 2) Condições de repetitividade incluem:*
 - mesmo procedimento de medição;*
 - mesmo observador;*
 - mesmo instrumento de medição, utilizando nas mesmas condições;*
 - mesmo local;*
 - repetição em curto período de tempo.*
- 3) Repetitividade pode ser expressa quantitativamente em função das características da dispersão dos resultados.”*

Podem-se usar alguns dos cálculos estatísticos recomendados pelo Guia para expressão de incerteza de medição [4] para quantificar a repetitividade. Os principais são o desvio padrão experimental ($s(q_k)$), equação 4.4.4.b, e o desvio padrão experimental da média ($s(\bar{q})$), equação 4.4.4.c⁶⁸. Nas equações estão presentes os seguintes parâmetros: q representa uma variável aleatória, para a qual foram obtidas n medições independentes q_k sob as mesmas condições de medição. Sendo \bar{q} a média aritmética dos valores q_k , ver equação 4.4.4.a.

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n q_k \quad 4.4.4.a$$

⁶⁸ Recomendados para grandezas com características aleatórias e não correlacionadas.

$$s(q_k) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (q_k - \bar{q})^2}{n-1}} \quad 4.4.4.b$$

$$s(\bar{q}) = \frac{s(q_k)}{\sqrt{n}} \quad 4.4.4.c$$

Na verdade, a repetitividade (*Re*) é dada pela equação 4.4.4.d, porém esse parâmetro não entrará exatamente dessa forma no balanço de incertezas. Os dados necessários são: o desvio padrão experimental da média de cada “ponto” de medição $s(\bar{q})$, e o número de graus de liberdade (ν); ver equação 4.4.4.e..

$$Re = \pm t \times s(\bar{q}) \quad 4.4.4.d$$

Onde t é o coeficiente de *student*, que pode ser obtido através de tabela especializada, ou a partir da equação 4.5.f no item 4.5.

$$\nu = n - 1 \quad 4.4.4.e$$

Na tabela 4.2, estão os dados experimentais de uma calibração efetuada no audiômetro Interacoustics AC 40 em setembro de 2001. A instrumentação usada foi o sistema de calibração de audiômetros 824 Larson Davis. Trata-se da estimativa dos valores de repetitividade através dos desvios padrão experimentais da média calculados para cada uma das frequências do audiômetro. Foi selecionado o nível de audição específico de 70 dB NA. A amostragem contou com apenas $n = 3$ medições em cada uma das onze frequências. Certamente outros audiômetros, independentemente de marca ou modelo, terão comportamento diferente quanto aos valores de desvios padrão evidenciando a natureza aleatória própria de algumas características do audiômetro em teste e também do método de calibração. Quais seriam essas características?

O desempenho dos circuitos eletrônicos de cada audiômetro é diferente. Além disso, o posicionamento do fone de ouvido sobre o acoplador acústico, ou o do vibrador ósseo sobre o acoplador mecânico é uma das causas dos efeitos aleatórios nesse tipo de medição. Pequenas variações dos ângulos de posicionamento e da centralização dos fones de ouvido ou vibrador ósseo levam a variações na pressão sonora, ou força vibratória medidas.

Tabela 4.2

Desvios padrão experimentais da média (dB)			
Audiômetro modelo AC 40 – Nível de audição selecionado: 70 dB NA			
Frequência (Hz)	Fone esquerdo	Fone direito	Vibrador ósseo
125	0,033	0,000	--
250	0,033	0,067	0,120
500	0,033	0,033	0,120
750	0,033	0,033	0,058
1000	0,000	0,000	0,033
1500	0,033	0,033	0,058
2000	0,033	0,000	0,067
3000	0,000	0,033	0,067
4000	0,000	0,000	0,186
6000	0,145	0,058	0,418
8000	0,058	0,067	0,321

Como foram feitas apenas $n = 3$ medições para cada “ponto” de medição o número de graus de liberdade da incerteza experimental será: $\nu = n - 1 = 2$. Esse número de graus de liberdade é relativamente baixo. E quando for aplicado ao balanço de incertezas tenderá aumentar o fator de abrangência (k) relativo à incerteza expandida total da calibração do audiômetro ($U_{95\%}$).

Alguns dados experimentais relativos a um audiômetro modelo AD 25 são mostrados nas tabelas 4.3, 4.4 e 4.5, eles foram obtidos em vários níveis de audição selecionáveis no audiômetro, mas apenas em três frequências escolhidas, e com $n = 3$ medições em cada “ponto” de medição⁶⁹.

Tabela 4.3

Desvios experimentais (dB) – Audiômetro modelo AD25 – Fone esquerdo						
Nível de audição selecionado (dB NA)	Frequência (Hz)					
	250		1000		6000	
	Desvio padrão experimental	Desvio padrão experimental da média	Desvio padrão experimental	Desvio padrão experimental da média	Desvio padrão experimental	Desvio padrão experimental da média
110	0,100	0,060	0,060	0,030	0,060	0,030
90	0,000	0,000	0,060	0,030	0,100	0,060
70	0,100	0,060	0,000	0,000	0,120	0,070
50	0,100	0,060	0,000	0,000	0,100	0,060
30	0,100	0,060	0,060	0,030	0,100	0,060
10	0,120	0,070	0,150	0,090	0,100	0,060

⁶⁹ Medições em 21/06/2001. Com sistema 824 Larson Davis. Local: INMETRO – Xerém – Rio de Janeiro.

Tabela 4.4

Desvios experimentais (dB) – Audiômetro modelo AD25 – Fone direito						
Nível de audição selecionado (dB NA)	Frequência (Hz)					
	250		1000		6000	
	Desvio padrão experimental	Desvio padrão experimental da média	Desvio padrão experimental	Desvio padrão experimental da média	Desvio padrão experimental	Desvio padrão experimental da média
110	0,360	0,210	0,060	0,030	0,000	0,000
90	0,650	0,380	0,060	0,030	0,460	0,270
70	0,700	0,400	0,060	0,030	0,520	0,300
50	0,550	0,320	0,060	0,030	0,550	0,320
30	0,660	0,380	0,060	0,030	0,000	0,000
10	0,740	0,430	0,120	0,070	0,870	0,500

Tabela 4.5

Desvios experimentais (dB) – Audiômetro modelo AD25 – Vibrador ósseo						
Nível de audição selecionado (dB NA)	Frequência (Hz)					
	250		1000		6000	
	Desvio padrão experimental	Desvio padrão experimental da média	Desvio padrão experimental	Desvio padrão experimental da média	Desvio padrão experimental	Desvio padrão experimental da média
70			0,530	0,310		
50			0,470	0,270	0,400	0,230
30	0,670	0,380	0,440	0,250	0,970	0,560
10	0,520	0,300	0,470	0,270	0,250	0,150

Com o mesmo audiômetro modelo AD 25 foi realizada outra calibração⁷⁰ cujos resultados das dispersões experimentais estão na tabela 4.6. Além das diferenças de local e condições ambientais, o número de medições em cada “ponto” foi maior ($n = 5$). Aumentando os graus de liberdade (ν). Houveram diferenças relativamente grandes entre os resultados, nos mesmos pontos de medição, entre os valores apresentados nas tabelas 4.3, 4.4 e 4.5; diferenças que chegaram a cerca dez vezes. Alguns dos fatores que explicam essas diferenças são:

- Ensaio realizados em locais e datas distintas;
- O estado de concentração do operador era diferente;
- Houve pelo menos uma diferença entre os procedimentos, os *audiocups*⁷¹ foram retirados somente nos ensaios no LAETA, em 21/06/2001, e foram mantidos nos outros ensaios.

⁷⁰ Medições em 26/06/2001. Com sistema 824 Larson Davis. Local: UFSC - Florianópolis - SC

⁷¹ São similares a protetores auditivos do tipo concha. *Audiocups* são fabricados especialmente para atenuar o ruído ambiente quando montados sobre os fones de ouvidos utilizados em audiometrias. Para desmontar os

Tabela 4.6

Desvios padrão experimentais da média (dB)			
Audiômetro modelo AD 25 – Nível de audição selecionado: 70 dB NA			
Freqüência (Hz)	Fone esquerdo	Fone direito	Vibrador ósseo
250	0,554	0,295	4,540
500	0,483	0,660	2,796
1000	0,132	0,626	1,589
2000	0,068	0,600	1,694
3000	0,136	0,938	2,009
4000	0,121	0,966	2,040
6000	0,409	0,528	3,678
8000	0,482	0,649	2,245

Agora será necessário estimar os valores das incertezas padrão (u_A) relativas a incerteza experimental, incerteza tipo A, para esses dois audiômetros. Para isso é recomendado utilizar os próprios valores dos desvios padrão experimentais da média relativos a cada fone de ouvido e vibrador ósseo, ou seja, $u_{A(f)} = s(\bar{q})_{(f)}$. Que são os desvios experimentais da média correspondentes a uma determinada freqüência (f). Dessa forma basta incluir os valores das tabelas anteriores nos balanços de incertezas apresentados nas tabelas 4.9 e 4.11 do item 4.5

4.4.5 Influências da temperatura

Segundo informação do fabricante do calibrador CA250 (Larson Davis) a variação típica do NPS no interior da cavidade do calibrador de nível sonoro devido à variação da temperatura é de $\pm 0,2$ dB em 25 °C e de $\pm 0,3$ dB dentro da faixa de 0 a 50 °C. Ou seja, um acréscimo de $\pm 0,1$ dB de incerteza devido à variação de ± 25 °C em relação a temperatura de referência de 25 °C, o que equivale à taxa de acréscimo t_a de $\pm 0,004$ dB / °C quanto mais afastado da temperatura de 25 °C. Expressando de outra forma, o acréscimo de incerteza estimado $u_{temp_ref} = \pm 0,004$ dB \times Δt , sendo Δt a diferença máxima entre temperatura ambiente e a temperatura de referência. Apesar da existência de um sensor de temperatura e sistema interno de compensação no modelo CA250, esta parcela de incerteza deve ser considerada no balanço de incertezas. Isso porque os efeitos aleatórios causados pela diferença da temperatura em relação à temperatura referência não podem ser compensados, nem automaticamente nem manualmente.

audiocups é necessário retirar e reconectar os terminais elétricos dos fones de ouvido, e isso pode interferir nos resultados de ensaios da calibração de um audiômetro.

Na figura 4.20 [9] pode-se observar esse tipo de comportamento metrológico. Onde está ilustrada a tolerância associada ao valor padrão em função da temperatura do calibrador de nível sonoro *type 4230* da Brüel & Kjær. Nesse exemplo, na faixa de 20 a 26 °C a tolerância é estimada em ± 0,3 dB e para temperaturas além desta faixa a tolerância aumenta na proporção de ± 0,007 a ± 0,010 dB / °C.

Para chegar a um valor prático de incerteza padrão devido à influência da temperatura sobre o calibrador de nível sonoro deve-se estipular a faixa de temperatura ambiente esperada no laboratório. Então considerando a faixa entre 20° C e 26° C, por exemplo, isso resulta em uma diferença máxima Δt de 6° C. O que produzirá:

$$u_{temp_ref} = t_a \times \Delta t = 0,004 \times 6 = 0,024 \text{ dB} \quad 4.4.5.a$$

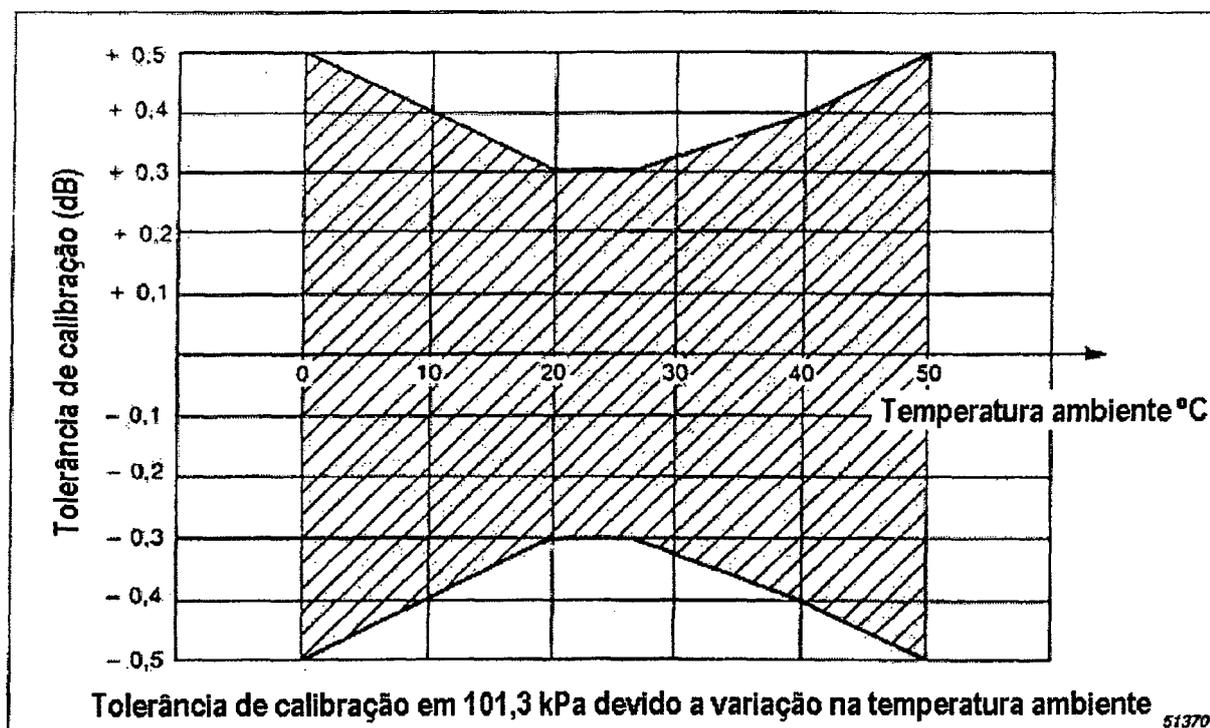


Figura 4.20 - Gráfico de tolerância do NPS do calibrador de nível sonoro *Type 4230*

O componente de incerteza u_{tem_ref} pode ser somado a incerteza $U_{calibrador}$ ou somado adequada e diretamente no balanço de incertezas. Aceitando a primeira opção obtém-se um novo valor para u_{cal} praticamente igual àquele que foi calculado na equação 4.4.1.b. A

distribuição de probabilidade de u_{cal} continua sendo normal; a afirmação é baseada no teorema central do limite⁷².

$$u_{cal} = \pm \sqrt{\left(\frac{U_{calibrador}}{k}\right)^2 + \left(\frac{u_{temp_ref}}{\sqrt{3}}\right)^2} = \pm \sqrt{\left(\frac{0,412}{2,0}\right)^2 + \left(\frac{0,024}{\sqrt{3}}\right)^2} = \pm 0,207 \text{ dB} \quad 4.4.5.b$$

Quanto ao microfone de medição capacitivo, o fabricante não informa a influência da temperatura. Porém de acordo com Gayford [14] o coeficiente de sensibilidade se altera em função da temperatura, e o valor típico dessa variação, para microfones capacitivos, é $C_t = 0,01 \text{ dB} / ^\circ\text{C}$ a 20°C . Entretanto ao observar gráficos demonstrativos da influência de temperatura em microfones de 1 polegada fabricados por Brüel & Kjær, pode-se estimar a variação do coeficiente de temperatura (C_t) em aproximadamente $0,008 \text{ dB} / ^\circ\text{C}$ na frequência de 4 kHz. Em frequências menores, por exemplo, em 250 Hz o C_t é estimado em torno de $0,002 \text{ dB} / ^\circ\text{C}$. Conhecida a ordem de grandeza desta influência segue a questão: Como aplicá-la no balanço de incertezas?

Se a calibração do audiômetro for efetuada em uma sala climatizada, temperatura estável, durante todo o tempo da calibração, o efeito da deriva térmica da sensibilidade do microfone pode ser desconsiderado. Observe na figura 4.21 como a variação da temperatura produz um efeito sistemático que é compensado no ato do ajuste de escala do sistema de calibração no início de cada serviço de calibração. Porém se houver variação de temperatura ($\Delta\theta$) durante o serviço, que pode demorar horas, deve-se estimar e incluir esta parcela no balanço de incerteza de modo adequado.

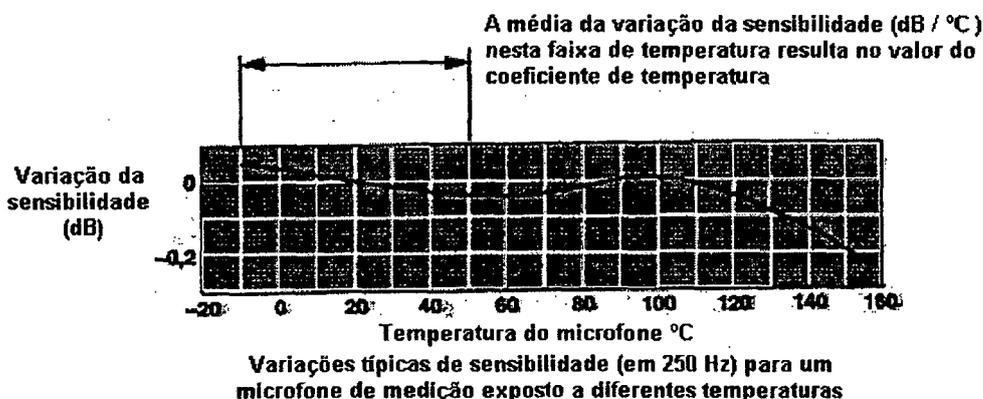


Figura 4.21 - Gráfico da influência da temperatura sobre a sensibilidade de um microfone de medição (Brüel & Kjær)

⁷² O teorema central do limite demonstra que a combinação de um grande número de fatores de natureza aleatória, com qualquer distribuição, aproxima-se da distribuição normal à medida que aumenta o número de fatores envolvidos.

Deve-se estimar uma variação de temperatura em função da sala utilizada, isso depende das observações feitas no(s) termômetro(s) no ambiente laboratorial. Por exemplo, as variações de temperatura durante o expediente de trabalho no LARI podem ser estimadas em $\Delta\theta = \pm 2,0^\circ \text{C}$, aproximadamente. Importante lembrar que a distribuição de probabilidade é considerada retangular, assim deve-se dividir a variação $\Delta\theta_{dB}$ pelo fator $\sqrt{3}$. Produzindo o valor de incerteza padrão devido à influência da variação de temperatura sobre o microfone u_{mic_temp} segundo a equação 4.4.5.c.

$$\Delta\theta_{dB} = C_t \times \Delta\theta = 0,01 \times 2,0 = 0,02 \text{ dB} \quad 4.4.5.b$$

$$u_{mic_temp} = \pm \Delta\theta_{dB} / \sqrt{3} = \pm 0,02 / \sqrt{3} \cong \pm 0,0116 \text{ dB} \quad 4.4.5.c$$

Note que o parâmetro C_t foi super dimensionado e generalizado para todas as frequências através do valor máximo encontrado no estudo, objetivando simplificar os cálculos.

A influência específica da temperatura sobre a mastóide artificial é informada pelo fabricante conforme a norma IEC 373 [24], subseção 5.3, como mostrado na tabela 4.7. Mas como diz a própria norma⁷³, são apenas indicadores da dependência da temperatura e não podem ser usados diretamente para corrigir dados de medições feitas em outras temperaturas.

Tabela 4.7

Resposta relativa à temperatura de 23 °C da mastóide artificial AMC 493 (dB) Fornecido por Larson Davis Company						
Temp. (° C)	Frequências (Hz)					
	250	500	1000	2000	4000	6000
18	-3,4	-0,6	-2,9	-1,0	-0,1	0,4
19	-3,0	-0,5	-2,7	-0,9	-0,1	0,3
20	-2,3	-0,4	-2,0	-0,7	-0,1	0,2
21	-1,6	-0,3	-1,3	-0,5	-0,1	0,2
22	-0,8	-0,1	-0,6	-0,2	0	0,1
23	0	0	0	0	0	0
24	0,7	0,1	0,8	0,2	0	-0,2
25	1,4	0,3	1,5	0,4	0	-0,4
26	2,0	0,5	2,3	0,5	0,1	-0,7
27	2,7	0,8	3,0	0,7	0,2	-0,9
28	3,5	1,2	3,8	0,8	0,4	-1,1

Com relação à influência da temperatura em pré-amplificadores de medição encontrou-se a afirmação de que eles mantêm as características de desempenho numa faixa

⁷³ A afirmação é feita em nota da norma IEC 373.

ampla de temperatura. Na ordem de -10 a $+60$ °C, para um pré-amplificador como o modelo 2619, segundo o manual da empresa Brüel & Kjær [11]. Sendo assim pode-se considerar que o ruído do pré-amplificador, que se encontrar na faixa de 1 a 10 μ V aproximadamente, não se altera significativamente diante das variações de temperatura.

A contribuição de incerteza proporcionada pela influência da temperatura sobre o medidor de NPS Larson Davis modelo 824 (tipo 1) foi quantificada a partir da tabela fornecida pelo fabricante, ver tabela 4.8. Estimando que a faixa de variação da temperatura seja aproximadamente ± 3 °C obtém-se $\pm 0,05$ dB devido a essa influência. Importante lembrar que equipamentos do tipo 2 proporcionam incertezas maiores, e que a influência da temperatura e umidade será maior em tais equipamentos.

Tabela 4.8

<i>Especificações gerais (reprodução parcial)</i>	
<i>Temperatura de armazenamento:</i>	-10 °C a 60 °C
<i>Temperatura:</i>	$\leq \pm 0,5$ dB de erro entre -10 e 50 °C
<i>Umidade:</i>	$\leq \pm 0,5$ dB de erro entre 30 e 90 %de umidade relativa em 40 °C

A distribuição de probabilidade foi considerada retangular e a influência da temperatura sobre o medidor de NPS foi estimada através do seguinte cálculo:

$$u_{temp_NPS} = \frac{\pm 0,05}{\sqrt{3}} \cong \pm 0,029 \text{ dB} \quad 4.4.5.d$$

4.4.6 Pressão atmosférica

De acordo com o catálogo do calibrador de nível sonoro modelo CA250 a influência da variação da pressão atmosférica sobre o NPS gerado é da ordem de $\pm 0,03$ dB / 100 mbar. Considerando que as variações de pressão estática ao longo do ano, pelo menos no caso específico de Florianópolis-SC, estão na faixa de 20 mbar, logo temos uma influência estimada em $\pm 0,006$ dB. De fato, não se sabe exatamente a distribuição de probabilidade desse fenômeno, então, por segurança, se adotou distribuição de probabilidade retangular. Assim a incerteza padrão relativa à variação da pressão atmosférica é dada por:

$$u_{cal_pressão} = \pm 0,006 / \sqrt{3} \cong 0,0035 \text{ dB} \quad 4.4.6.a$$

Em microfones de medição a influência da pressão atmosférica provoca um efeito sistemático. É uma variação sistemática na sensibilidade do microfone estimada na faixa de - 0,0005 a - 0,003 dB / mbar aproximadamente. Um aumento na sensibilidade ocorre devido à diminuição da rigidez do sistema vibratório do microfone proporcionado pela diminuição da pressão atmosférica.

4.4.7 Incertezas declaradas nos certificados de calibração do microfone de medição, pré-amplificador e medidor de NPS

A calibração de audiômetros é executada em várias frequências, entre 125 e 8000 Hz e em vários níveis de pressão sonora. Para fins didáticos pode-se imaginar que as medições estivessem restritas a “pontos” em torno do “ponto de medição” de frequência 250 Hz e nível 114 dB re 20 μ Pa. Se fosse dessa maneira não haveria necessidade de observar os certificados de calibração do microfone, do pré-amplificador, nem do medidor de NPS. A incerteza predominante seria a do calibrador de nível sonoro e da resolução do medidor de NPS. Isso porque os parâmetros do calibrador de nível sonoro são $f = 250$ Hz e NPS = 114 dB.

Mas como as curvas de calibração em função da frequência do microfone, do pré-amplificador e do medidor de NPS, ver figura 5.1 no item 5.2.5, foram levantadas cada uma sob uma incerteza declarada no respectivo certificado de calibração, então há margens de dúvida que não podem ser desconsideradas. Principalmente em frequências mais afastadas de 250 Hz. Ou seja, as incertezas declaradas nos certificados de calibração entram no balanço de incertezas devido à necessidade de medir em frequências diferentes da frequência padrão do calibrador de nível sonoro; 250 Hz.

Nas equações 4.4.7.a até 4.4.7.c os fatores de abrangência “ k ”, nos denominadores, foram estimados em função dos graus de liberdade de cada fonte de incerteza. Em se tratando de certificados de calibração pressupõe-se que os graus de liberdade são relativamente elevados, no mínimo 50, o que corresponde a fatores de abrangência de aproximadamente 2,0.

$$u_{certif_mic} = U_{certif_mic} / k_{mic} = 0,3 / 2,0 = 0,15 \text{ dB} \quad 4.4.7.a$$

$$u_{certif_pré} = U_{certif_pré} / k_{pré} = 0,02 / 2,0 = 0,01 \text{ dB} \quad 4.4.7.b$$

$$u_{certif_M_NPS} = U_{certif_M_NPS} / k_{Med_NPS} = 0,2 / 2,0 \text{ dB} = 0,1 \text{ dB} \quad 4.4.7.c$$

4.4.8 Deriva do microfone, do pré-amplificador e do medidor de NPS

A membrana metálica é o elemento sensor de um microfone capacitivo. Com o passar do tempo essa membrana tende a perder a tensão mecânica inicial que tinha quando era nova, causando aumento na sensibilidade do microfone. Esse fenômeno que afeta a estrutura dos átomos de metal que compõem a membrana do microfone é função do tempo e da temperatura de armazenamento.

Estudos da empresa fabricante de microfones Brüel & Kjær [11] procuram demonstrar que microfones capacitivos de medição⁷⁴, de uma e de meia polegada de diâmetro, quando armazenados em temperatura em torno de 30 °C aumentam a sensibilidade em 1 dB somente após 200 anos ou mais. Essa conclusão foi obtida por extrapolação em gráficos experimentais, como mostrado na figura 4.22. No gráfico há um valor base que se refere à estabilidade relativa a temperatura de 150 °C, condição na qual determinados microfones sofrem aumento de sensibilidade da ordem de 1,0 dB em apenas duas horas. A reta tracejada representa a extrapolação.

⁷⁴ No original são citados os modelos *Type 4149, 4165 e 4166* como exceções. Indicando que o desempenho da estabilidade em função do tempo dos microfones varia conforme o modelo.

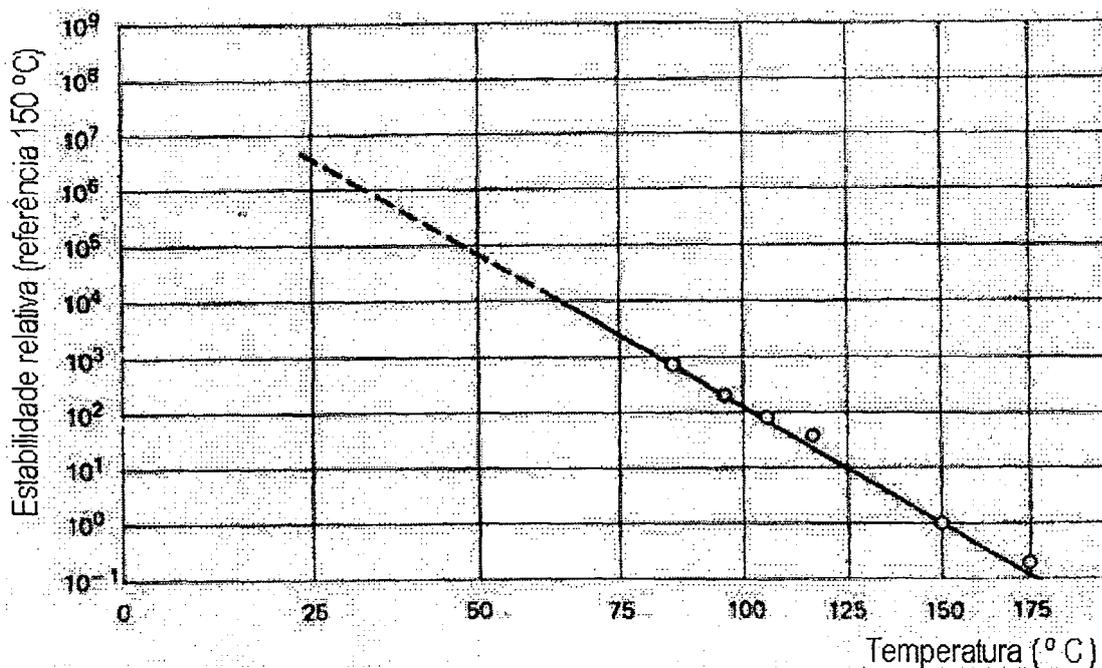


Figura 4.22 - Gráfico da influência da temperatura de armazenamento sobre a deriva da sensibilidade de microfones de medição

Ao considerar a temperatura de armazenamento como sendo 30 °C temos uma deriva de aproximadamente:

$$Deriva_{mic_tempo_temperatura} = 1,0 / 200 = 0,005 \text{ dB / ano} \quad 4.4.8.a$$

Tal valor é um dos menores diante das outras fontes de incertezas, apesar disso será considerado no balanço de incertezas. A distribuição de probabilidade será considerada retangular.

Com relação ao pré-amplificador e ao medidor de NPS não foram encontradas informações específicas a respeito da deriva. A estabilidade temporal desses instrumentos será considerada perfeita para fins do balanço de incerteza. Ou seja, a deriva deles será considerada igual a zero.

4.4.9 Erros de linearidade do microfone, do pré-amplificador e do medidor de NPS

A causa de erro de linearidade mais comum, e mais fácil de entender, em todo sistema físico é a saturação. A amplitude do sinal de entrada poderá aumentar, porém a saída não responderá proporcionalmente, ou responderá com incrementos insignificantes. Além da

saturação existem outras causas de erro de linearidade que podem ser provenientes de ruídos e/ou características não-lineares próprias do princípio de funcionamento da instrumentação.

Ao observar a figura 4.23⁷⁵ pode-se ter uma idéia de como se comporta o erro de linearidade do pré-amplificador e do medidor de NPS quando conectados juntos. O gráfico foi obtido por teste eletrônico usando um sinal senoidal de frequência 1 kHz aplicado ao pré-amplificador PRM902 conectado com o medidor de NPS modelo 824 Larson Davis.

Estimando o erro de linearidade através da curva do gráfico, na faixa de 30 a 128 dB, e admitindo distribuição de probabilidade retangular, obtém-se:

$$u_{lin_pré_MNPS} = \pm 0,1 / \sqrt{3} = \pm 0,0577 \text{ dB} \quad 4.4.9.a$$

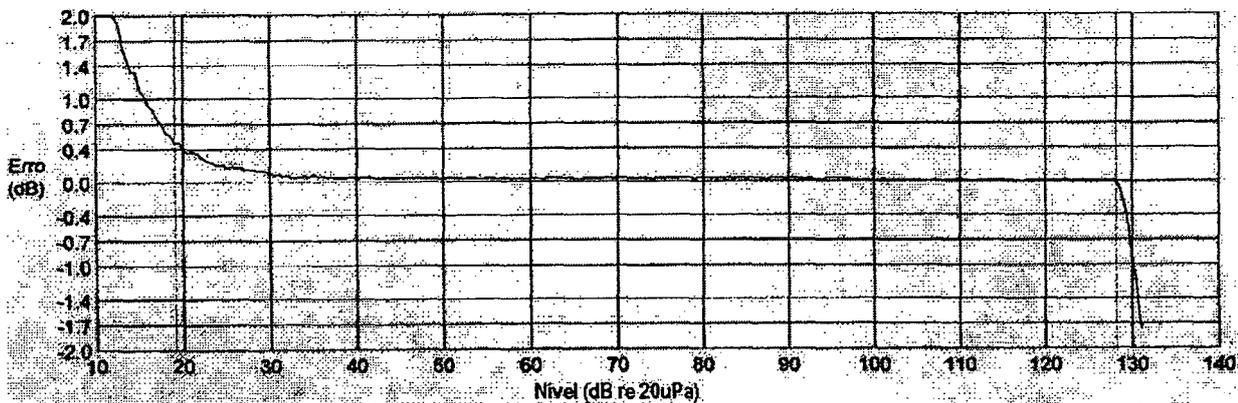


Figura 4.23 - Gráfico da linearidade do pré-amplificador PRM902 e do medidor de NPS 824

Em amplitudes inferiores a 30 dB o erro, mostrado no gráfico da figura 4.23, apresenta valores elevados devido ao ruído eletrônico gerado pelos circuitos da instrumentação. Para que a equação 4.4.9.a corresponda à realidade deve-se aplicar os resultados do balanço de incertezas apenas em medições com valor igual ou superior a 30 dB referente a 20 µPa. As medições feitas abaixo de 30 dB re 20 µPa terão incertezas maiores devido aos efeitos de não-linearidade.

A única informação encontrada a respeito do erro de linearidade estimado para microfones de medição de uma polegada é proveniente de contato com laboratorista do LAETA⁷⁶. Segundo ele:

“A norma IEC 611094-4 estabelece no item 6.4 a linearidade de um microfone. É dito que em condições de referência o nível de sensibilidade não deverá variar mais que 0,2 dB dentro da faixa de frequências de 160 Hz a 1000 Hz quando o nível de pressão sonora

⁷⁵ Gráfico levantado pelo fabricante *Larson Davis Company*.

⁷⁶ Via e-mail com o laboratorista Zemar Soares, LAETA / INMETRO.

variar dentro da faixa especificada na tabela 2, item 6. Bem, esta faixa especificada para microfones de uma polegada, que é o seu caso, inicia-se em 10 dB e termina em 130 dB. Vale lembrar que esta exigência é para aprovação de modelo de um microfone.”

O valor de erro de linearidade de 0,2 dB ($erro_{lin}$), nesse caso específico, é sobre-dimensionado para aplicação no balanço de incertezas. Isso porque é o valor máximo permissível normalizado para aprovação de um modelo de microfone de uma polegada. Seja como for, é uma fonte de incerteza que influencia diretamente o processo de medição e será incluída no balanço de incertezas com distribuição de probabilidade retangular.

$$u_{lin_mic} = \frac{erro_{lin}}{\sqrt{3}} = \frac{0,2}{\sqrt{3}} \cong 0,116 \text{ dB} \quad 4.4.9.b$$

4.4.10 Tensão de polarização do microfone

A tensão elétrica de polarização afeta diretamente a sensibilidade do microfone. Segundo um exemplo encontrado no esboço de norma IEC / CD 61094-5 [21] a ordem de grandeza da incerteza produzida pela polarização é de 0,2 V, porém naquele caso o equipamento utilizado provavelmente foi um de classe 0 (classe zero), o que significa que é equipamento de melhor qualidade possível. Também significa que a variação da tensão de polarização de outros instrumentos, como o medidor da Larson Davis 824, tipo 1, é maior que 0,2 V. Segundo comunicação com laboratorista do LAETA / INMETRO⁷⁷ a variação da tensão de polarização pode ser estimada em $\pm 1\%$, ou até mais, para o equipamento Larson Davis; ver equações 4.4.10.a e 4.4.10.b. A distribuição de probabilidade é retangular.

$$V_{pol} = \bar{V}_{pol} \pm u_{pol_V} = 200 \text{ V} \pm 1,0 \% = (200 \pm 2) \text{ V} \quad 4.4.10.a$$

$$u_{pol} = \pm \frac{20 \times \log \left(\frac{\bar{V}_{pol} + |u_{pol_V}|}{\bar{V}_{pol}} \right)}{\sqrt{3}} = \pm \frac{20 \times \log \left(\frac{202}{200} \right)}{\sqrt{3}} = \pm 0,050 \text{ dB} \quad 4.4.10.b$$

⁷⁷ Eng. Zemar Soares

4.4.11 Umidade relativa do ar

O fabricante não informa a ordem de grandeza da influência da umidade relativa do ar sobre o calibrador de nível sonoro (modelo CA250 – Larson Davis). Apenas comenta sobre precauções tais como evitar condensação de umidade nas paredes internas do calibrador. Portanto, a influência da umidade sobre o calibrador de nível sonoro será ignorada.

De acordo com o manual do fabricante Brüel & Kjær “Desde de que não haja condensação de água, o efeito da umidade elevada sobre o microfone é negligenciável” [11].

Conforme o fabricante, ver tabela 4.8 do item 4.4.5, a influência da umidade sobre o medidor de NPS é menor que $\pm 0,5$ dB na faixa de 30 a 90 % de umidade relativa do ar, na temperatura de 40 °C. Considerando que a faixa de operação estará entre 30 e 70 % de umidade relativa, isso leva a $\pm 0,333$ dB. Considerando distribuição de probabilidade retangular obtém-se a seguinte incerteza padrão.

$$u_{\text{umidade_NPS}} = \frac{\pm 0,333}{\sqrt{3}} \cong \pm 0,192 \text{ dB} \quad 4.4.11.a$$

4.4.12 A grade de proteção do microfone de medição

Já foi comentado no item 4.1.3 (O microfone de medição) a respeito do impasse quanto à utilização da grade de proteção. No contexto atual o LAETA / INMETRO faz calibrações sem grade de proteção, isso é fundamentado em estudos de normas. Porém alguns laboratórios, ainda não credenciados, preferem manter a grade de proteção no microfone durante todo tempo, o que é recomendável para evitar possíveis danos no microfone. Com relação à incerteza de medição, o que se pode esperar?

A princípio o efeito que tende a diminuir os NPS medidos ao usar a grade é apenas um efeito sistemático. A partir dessa consideração é possível desconsiderar a influência da grade do microfone sobre a incerteza global da calibração de audiômetros. De qualquer forma, as normas relativas a medições e calibrações envolvendo microfones em cavidades⁷⁸ não permitem que o operador simplesmente opte por deixar a grade do microfone. Portanto, a

⁷⁸ Normas tais como a IEC\CD 61094-5 [21]

grade deve ser retirada, com extremo cuidado para não danificar a frágil membrana metálica do microfone que ficará exposta.

4.4.13 Orifício capilar do acoplador acústico

O orifício capilar tem um arame metálico original de fábrica que não deve ser retirado. Mas, supondo que por algum motivo o acoplador acústico seja utilizado sem o arame no orifício capilar, qual será o efeito esperado? Em testes experimentais⁷⁹, no LARI, foi encontrado o efeito de diminuição de NPS na faixa de 0,2 a 0,4 dB nas frequências de 125 e 250 Hz. Esses valores não são desprezíveis diante do balanço de incertezas. Portanto é importante deixar o arame no seu lugar original, e por isso ele deve ser recolocado logo após eventual limpeza ou desobstrução do orifício capilar evitando extravios.

4.4.14 Tensão elétrica de alimentação

Variações da tensão elétrica da rede que alimenta a instrumentação são frequentes e aleatórias. Tais flutuações, da ordem de $\pm 5\%$ ou até mais, ocorrem devido à diversidade de cargas que são conectadas à rede elétrica a todo momento e de forma imprevisível.

Existem circuitos integrados eletrônicos dedicados, denominados reguladores de tensão, que fornecem na sua saída uma tensão elétrica fixa, pelo menos até um determinado valor máximo de corrente elétrica. A função desse tipo de circuito é evitar que as flutuações de tensão elétrica prejudiquem o funcionamento e desempenho do aparelho alimentado. Por exemplo, circuitos integrados como o LM317, 7805, 7905, 7812 que fazem parte de vários aparelhos eletro-eletrônicos com a função de prover tensão estável. No caso do circuito integrado LM317 [33]⁸⁰ o fabricante garante uma taxa de variação máxima de tensão de saída de $0,07\% / V$ com diferenças de tensão de entrada / saída ($V_{\text{entrada}} - V_{\text{saída}}$) entre 3 e 40 V⁸¹;

⁷⁹ Para estudo teórico, ver norma IEC 61094-2 – *Measurement Microphones - Part 2: Primary Method for Pressure Calibration of Laboratory Standard Microphones by the Reciprocity Technique, 1992*, onde há uma equação que descreve a impedância acústica de um tubo capilar.

⁸⁰ Circuitos reguladores como o LM317 estão presentes em audiômetros, por exemplo, o audiômetro modelo AD28 da Interacoustics.

⁸¹ Para temperatura interna do componente na faixa de 0 °C até +125 °C, e corrente elétrica $I = 10$ mA.

também garante variação relativa da tensão de saída de 1,5 % mesmo com corrente de carga na saída variando entre 10 mA até 1,5 A⁸².

Na figura 4.24 há um diagrama de blocos que representa a distribuição dos elementos de uma fonte de alimentação regulada. A carga nesse caso é qualquer circuito que necessita tensão de alimentação constante para perfeito funcionamento.

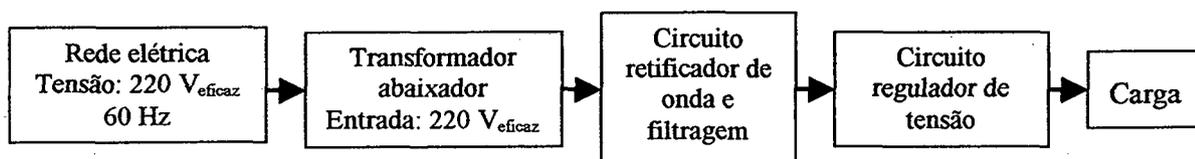


Figura 4.24 - Diagrama de blocos de um sistema de alimentação elétrica com regulador de tensão

Certamente o medidor de NPS conta com sistema de circuito regulador similar ao tipo apresentado. Por exemplo, o medidor modelo 824 aceita tensões de alimentação na faixa de 5 a 15 V, além de funcionar opcionalmente com três pilhas recarregáveis que proporcionam tensões entre 4,0 a 4,5 V aproximadamente. Sendo que o regulador de tensão compensa tais variações de tensão de alimentação fornecendo, internamente, energia de forma estável.

Também há evidências experimentais: os valores das medições não foram afetados por flutuações de tensão elétrica durante os ensaios⁸³, demonstrando a eficácia do circuito regulador. Portanto, a influência da tensão elétrica de alimentação será desprezada no balanço de incertezas.

4.4.15 O ruído ambiente e ruído eletrônico

Parte do efeito aleatório do ruído sonoro ambiental se faz presente na avaliação experimental, incerteza tipo A. Nem sempre é possível separar completamente qual é a fonte de incerteza responsável por uma determinada parcela de incerteza, principalmente quando se trata da avaliação experimental que é realizada em ensaios repetitivos. Além disso, em se tratando de baixos níveis de ruído sonoro, há predominância do ruído eletrônico sobre o ruído

⁸² Temperatura interna de 0 °C até +125 °C, tensão de saída de 5 V.

⁸³ Afirmação está restrita ao valor da resolução do medidor de NPS; 0,1 dB.

sonoro, sendo impossível quantificar a ordem de grandeza do ruído sonoro. Independente desses problemas técnicos relativos à quantificação da incerteza de medição sempre se deve tomar atitudes para diminuir as parcelas de incertezas. Como atenuar os ruídos presentes nas medições dos NPS?

- Ruído sonoro ambiental \Rightarrow uso de cabina ou câmara acústica; procurar locais mais silenciosos e com menos vibrações para garantir a completa eficiência da cabina ou câmara acústica.
- Ruído eletrônico \Rightarrow ficar atento para o valor do ganho do amplificador do sistema de medição. Para medir NPS mais baixos é importante aumentar o ganho do amplificador, assim diminuirá a influência do ruído eletrônico.

Há uma quantidade excessiva de variáveis e de problemas técnicos, e para chegarmos a um valor prático de incerteza padrão devido ao ruído ($u_{ruído}$) será necessário fazer algumas considerações:

- Que os resultados são aplicáveis para medições onde os NPS são iguais ou superiores a 30 dB re 20 μ Pa;
- Que o efeito do ruído eletrônico já foi considerado no erro de linearidade, ver figura 4.23 e item 4.4.9;
- Que a influência do ruído sonoro ambiental está presente e totalmente quantificada nas dispersões dos valores encontrados nas medições repetitivas; incerteza experimental.

A partir dessas considerações serão desprezados os efeitos dos ruídos no balanço de incertezas. Na verdade, o resultado desejado nos cálculos para obtenção da incerteza de medição não deve conter parcelas redundantes, o que causa ampliação desnecessária da incerteza final.

4.5 Balanço de incertezas da calibração de audiômetros

Em vários dos tópicos anteriores foi citado o termo *resultado de medição (RM)* dando a entender que este é obtido através de uma *indicação (I)* adicionando a devida *correção (C)*, que pode ser o somatório de vários efeitos sistemáticos, várias correções. Até esse ponto tudo está correto. Entretanto o *resultado de medição* tem uma componente de incerteza associada a qual geralmente é estimada como a *incerteza expandida* com probabilidade de 95% ($U_{95\%}$). A equação 4.2.8.a expressa matematicamente a idéia da incerteza expandida associada ao resultado de medição encontrado experimentalmente.

$$RM = (I + C) \pm U_{95\%} \quad 4.5.a$$

Como estimar $U_{95\%}$? Este é o objetivo do balanço de incertezas. Quantificar a faixa de dúvida, incerteza, provocada pelas várias fontes de incertezas. E qual será a metodologia usada para analisar e calcular $U_{95\%}$? Com base na norma do INMETRO, NIT-DICLA-021 [19] os cálculos e a expressão da incerteza de medição devem estar de acordo com os princípios encontrados na “Versão brasileira do documento de referência EA-4/02 – Expressão da incerteza de medição na calibração” [3]. Outro documento fundamental é o “Guia para expressão da incerteza de medição” [4]. A metodologia de elaboração do balanço de incerteza também conta com orientações do curso de pós-graduação em metrologia científica e industrial - PósMCI⁸⁴.

No Guia para expressão da incerteza de medição [4], no capítulo 8, é apresentado um “Resumo do procedimento para avaliação e expressão da incerteza”, são os passos a serem seguidos para estimar e expressar a incerteza de medição. De forma similar existe o “Procedimento passo a passo para o cálculo da incerteza de medição”, que se encontra no capítulo 7 do documento de referência EA-4/02 [3].

O primeiro passo para estimar a incerteza pede uma representação matemática que não pode ser satisfeita plenamente quando aplicada à calibração de audiômetros. Isso é devido ao fato que os LERNPS são valores encontrados em forma de tabela, e não permitem

⁸⁴ Além disso existem cursos de “incerteza de medição” em algumas instituições que podem ser úteis para pesquisadores de diversas áreas, porque são de caráter geral, ou seja, são cursos interessantes para iniciar um estudo específico, mas o aprofundamento depende de cada caso.

representação em equação matemática explícita. Ver item 4.1.2 do Guia para expressão da incerteza de medição [4], ver também as equações 4.5.b e 4.5.c.

“1 Exprese, matematicamente, a relação entre o mensurando Y e as grandezas de entrada X_i das quais Y depende: $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N)$. A função f deverá conter cada grandeza, incluindo todas as correções e fatores de correção, que podem contribuir com um componente de incerteza significativo para o resultado da medição” [4]

$$NPS_{medido} = 20 \times \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right) \quad 4.5.b$$

Onde P é a pressão sonora a ser medida (mensurando); e P_0 é a pressão sonora de referência equivalente a 20 μ Pa.

$$NA = NPS_{medido} + C - LERNPS \quad 4.5.c$$

Onde C é o somatório das correções; e NPS_{medido} é a indicação no medidor de NPS.

O segundo e o terceiro passo [4] dizem respeito a observações estatísticas (avaliação Tipo A da incerteza) e outros meios (avaliação Tipo B) para estimar a incerteza padrão. Nesse trabalho foram utilizados ambos os tipos de avaliações. A incerteza Tipo A, avaliação experimental, foi avaliada em cada faixa de frequência gerada pelo audiômetro.

Com relação ao quarto passo [4], avaliação das covariâncias associadas, foi considerado que todas as fontes de incertezas são não-correlacionadas. Motivo pelo qual é aplicada a soma quadrática das incertezas padrão (u_i), ver tabela 4.9 e 4.10.

O quinto passo não se aplica porque necessita da relação funcional f , porém f não pode ser expressa matematicamente de forma explícita.

Os últimos passos estão exemplificados nas tabelas 4.9 a 4.12. São operações que visam estimar a incerteza expandida ($U_{95\%}$) a partir das incertezas padrão obtidas nos itens 4.4.1 a 4.4.15 deste trabalho, também a partir dos desvios padrão de resultados experimentais, que estão no item 4.4.4.

A planilha do balanço de incertezas foi resolvida com auxílio de algumas equações vistas a seguir:

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_i^2} \quad 4.5.d$$

Soma quadrática das incertezas padrão (u_i) de cada fonte de incerteza está representado na equação 4.5.d.

$$v_{ef} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^n \frac{u_i^4}{v_i}} \quad 4.5.e$$

O número de graus de liberdade efetivos (v_{ef}) foi obtido de acordo com a equação 4.5.e, chamada fórmula de Welch-Satterthwaite.

$$p(t, \nu) = \frac{1}{\sqrt{\pi\nu}} \frac{\Gamma\left(\frac{\nu+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{\nu}{2}\right)} \left(1 + \frac{t^2}{\nu}\right)^{-(\nu+1)/2} \quad 4.5.f$$

Onde: $-\infty < t < +\infty$

A distribuição de probabilidade mostrada na equação 4.5.f é a distribuição- t , ou distribuição de Student. A equação é a mesma encontrada no item C.3.8 do Guia para expressão da incerteza de medição [4]. Para obtenção do fator de abrangência ($k_{95\%}$) é necessário calcular o inverso da equação 4.5.f. Na verdade, os cálculos foram implementados diretamente em editor de planilha no computador, aplicando-se nível de confiança de 95% e o respectivo número de graus de liberdade efetivo (v_{ef}), relativo a cada frequência gerada pelo audiômetro, como argumentos da função inversa t de Student⁸⁵.

Após obter $k_{95\%}$ foi utilizada a equação 4.5.g⁸⁶ para determinar a incerteza expandida $U_{95\%}$.

$$U_{95\%} = k_{95\%} \times u_c \quad 4.5.g$$

⁸⁵ Função INVT do aplicativo *Microsoft Excel*.

⁸⁶ Na verdade as equações 4.4.a e 4.5.g são equivalentes.

Tabela 4.9

Balanco de incertezas – Audiômetro Interacoustics modelo AC 40 do LARI							
Símbolo	Fontes de incertezas	Valor bruto (± dB)	Tipo de distribuição	Fator de abrangência (divisor)	Incerteza padrão (± dB)		Nº de graus de liberdade (v)
u_{cal}	Calibrador de nível sonoro	0,414	Normal	2,0	0,207		50
u_{ajuste}	Ajuste do sistema de medição	0,1	Retangular	$\sqrt{3}$	0,0577		Infinito
u_R	Resolução medidor de NPS	-	-	-	-		-
u_{mic_temp}	Influência da variação de temperatura (± 2 °C) no microfone.	0,02	Retangular	$\sqrt{3}$	0,0116		Infinito
u_{temp_NPS}	Variação da temperatura sobre o medidor de NPS	0,050	Retangular	$\sqrt{3}$	0,029		Infinito
$u_{cal_pressão}$	Influência da pressão atmosférica sobre calibrador	0,006	Retangular	$\sqrt{3}$	0,0035		Infinito
u_{certif_mic}	Declarada no certificado de calibração do microfone	0,3	Normal	2,0	0,15		50
$u_{certif_pré}$	Certificado de calibração do pré-amplificador	0,02	Normal	2,0	0,01		50
$u_{certif_M_NPS}$	Certificado do medidor de NPS	0,2	Normal	2,0	0,1		50
$u_{deriva-mic}$	Deriva do microfone em função do tempo	0,005	Retangular	$\sqrt{3}$	0,0029		Infinito
-	Deriva do pré-amplificador e medidor de NPS	-	-	-	-		-
u_{lin_mic}	Erro linearidade microfone	0,2	Retangular	$\sqrt{3}$	0,116		Infinito
$u_{lin_préNPS}$	Erro de linearidade do pré-amplificador e medidor de NPS	0,1	Retangular	$\sqrt{3}$	0,0577		Infinito
u_{pol}	Tensão de polarização do microfone	0,087	Retangular	$\sqrt{3}$	0,050		Infinito
$u_{umidade_NPS}$	Umidade relativa do ar sobre medidor de NPS	0,333	Retangular	$\sqrt{3}$	0,192		Infinito
-	Grade de proteção microfone	-	-	-	-		-
-	Orifício capilar do acoplador	-	-	-	-		-
-	Tensão de alimentação	-	-	-	-		-
$u_{ruído}$	Ruídos de fundo, sonoro e eletrônico	-	-	-	-		-
					FE	FD	
$u_{A\ 125}$	Incerteza tipo A – 125 Hz		Normal	1,0	0,033	0,000	2
$u_{A\ 250}$	Incerteza tipo A – 250 Hz		Normal	1,0	0,033	0,067	2
$u_{A\ 500}$	Incerteza tipo A – 500 Hz		Normal	1,0	0,033	0,033	2
$u_{A\ 750}$	Incerteza tipo A – 750 Hz		Normal	1,0	0,033	0,033	2
$u_{A\ 1000}$	Incerteza tipo A – 1000 Hz		Normal	1,0	0,000	0,000	2
$u_{A\ 1500}$	Incerteza tipo A – 1500 Hz		Normal	1,0	0,033	0,033	2
$u_{A\ 2000}$	Incerteza tipo A – 2000 Hz		Normal	1,0	0,033	0,000	2
$u_{A\ 3000}$	Incerteza tipo A – 3000 Hz		Normal	1,0	0,000	0,033	2
$u_{A\ 4000}$	Incerteza tipo A – 4000 Hz		Normal	1,0	0,000	0,000	2
$u_{A\ 6000}$	Incerteza tipo A – 6000 Hz		Normal	1,0	0,145	0,058	2
$u_{A\ 8000}$	Incerteza tipo A – 8000 Hz		Normal	1,0	0,058	0,067	2

Nas tabelas, as siglas FE e FD significam: fone esquerdo, e fone direito, respectivamente.

Tabela 4.10

Balanço de incertezas – Audiômetro Interacoustics modelo AC 40 do LARI - continuação								
Frequência (Hz)	Incerteza padrão combinada (u_c) [± dB]		Graus de liberdade efetivos (v_{ef})		Fator de abrangência ($k_{95\%}$)		Incerteza expandida ($U_{95\%}$) [± dB]	
	FE	FD	FE	FD	FE	FD	FE	FD
125	0,370	0,369	379	378	1,966	1,966	0,73	0,72
250	0,323	0,328	292	248	1,968	1,970	0,64	0,65
500	0,370	0,370	379	379	1,966	1,966	0,73	0,73
750	0,370	0,370	379	379	1,966	1,966	0,73	0,73
1000	0,370	0,369	378	378	1,966	1,966	0,72	0,72
1500	0,370	0,370	379	379	1,966	1,966	0,73	0,73
2000	0,370	0,369	379	378	1,966	1,966	0,73	0,72
3000	0,369	0,370	378	379	1,966	1,966	0,72	0,73
4000	0,369	0,369	378	378	1,966	1,966	0,72	0,72
6000	0,396	0,373	91	355	1,986	1,967	0,79	0,73
8000	0,373	0,375	355	334	1,967	1,967	0,73	0,74

O balanço de incertezas⁸⁷ mostrado nas tabelas 4.9 e 4.10 foi baseado nas características do sistema de medição modelo 824 fabricado pela empresa Larson Davis, e nos resultados experimentais gerados pelo audiômetro Interacoustics modelo AC 40 do LARI.

Especialmente na frequência de 250 Hz foram desprezadas as incertezas declaradas nos certificados de calibração dos instrumentos do sistema de medição, para indicar essa diferença de cálculo algumas linhas das tabelas tem caracteres em negrito.

As incertezas expandidas obtidas na tabela 4.10 podem ser generalizadas para todas as frequências tomando-se o valor máximo, $U_{95\% \text{ máx}} = \pm 0,79$ dB, e arredondando-o para $U_{95\% \text{ máx}} = \pm 0,8$ dB, sendo que esse último valor será declarado no certificado ou relatório de calibração do audiômetro. Mas qual será a incerteza relativa a outros audiômetros, sendo que os modelos são diferentes e o desempenho metrológico também difere?

O balanço de incertezas da calibração de um audiômetro Interacoustics modelo AD 25⁸⁸, calibrado usando sistema Larson Davis, é mostrado nas planilhas a seguir. Todas as fontes de incertezas Tipo B, desde u_{cal} até $u_{ruído}$, são as mesmas que estão contidas na tabela 4.9. O número de graus de liberdade das incertezas padrão Tipo A é quatro, isso porque foram executadas cinco seqüências de medições.

⁸⁷ O balanço de incertezas deve ser feito para a via óssea, e segue metodologia similar, apenas mudando algumas fontes de incerteza. Neste caso o cálculo de incerteza da via óssea não foi feito por falta do certificado de calibração da mastóide artificial, o qual é fundamental para determinar a incerteza herdada da mesma. O LAETA/INMETRO atualmente não aceita efetuar calibração de mastóides artificiais como o modelo AMC493 da Larson Davis.

⁸⁸ Equipamento cedido temporariamente por uma fonoaudióloga.

Tabela 4.11

Parte do balanço de incertezas – Audiômetro Interacoustics modelo AD 25 (cedido por fonoaudióloga)							
Símbolo	Fontes de incertezas (ver também a tabela 4.9)	Valor bruto (± dB)	Tipo de distribuição	Fator de abrangência (divisor)	Incerteza padrão (± dB)		Graus de liberdade (v)
					FE	FD	
$u_{A\ 125}$	Incerteza tipo A – 125 Hz		***	***	***	***	***
$u_{A\ 250}$	Incerteza tipo A – 250 Hz		Normal	1,0	0,554	0,295	4
$u_{A\ 500}$	Incerteza tipo A – 500 Hz		Normal	1,0	0,483	0,660	4
$u_{A\ 750}$	Incerteza tipo A – 750 Hz		***	***	***	***	***
$u_{A\ 1000}$	Incerteza tipo A – 1000 Hz		Normal	1,0	0,132	0,626	4
$u_{A\ 1500}$	Incerteza tipo A – 1500 Hz		***	***	***	***	***
$u_{A\ 2000}$	Incerteza tipo A – 2000 Hz		Normal	1,0	0,068	0,600	4
$u_{A\ 3000}$	Incerteza tipo A – 3000 Hz		Normal	1,0	0,136	0,938	4
$u_{A\ 4000}$	Incerteza tipo A – 4000 Hz		Normal	1,0	0,121	0,966	4
$u_{A\ 6000}$	Incerteza tipo A – 6000 Hz		Normal	1,0	0,409	0,528	4
$u_{A\ 8000}$	Incerteza tipo A – 8000 Hz		Normal	1,0	0,482	0,649	4

Tabela 4.12

Frequência (Hz)	Incerteza padrão combinada (u_c) [± dB]		Nº de graus de liberdade efetivos (v_{ef})		Fator de abrangência ($k_{95\%}$)		Incerteza expandida ($U_{95\%}$) [± dB]	
	FE	FD	FE	FD	FE	FD	FE	FD
125	***	***	***	***	***	***	***	***
250	0,640	0,436	7	18	2,365	2,101	1,51	0,92
500	0,608	0,756	9	6	2,262	2,447	1,37	1,85
750	***	***	***	***	***	***	***	***
1000	0,392	0,726	229	7	1,970	2,365	0,77	1,72
1500	***	***	***	***	***	***	***	***
2000	0,375	0,704	618	7	1,964	2,365	0,74	1,67
3000	0,393	1,008	212	5	1,971	2,571	0,77	2,59
4000	0,388	1,034	282	5	1,968	2,571	0,76	2,66
6000	0,551	0,644	13	8	2,160	2,306	1,19	1,49
8000	0,607	0,746	10	6	2,228	2,447	1,35	1,83

Com o audiômetro AD 25 as dispersões obtidas experimentalmente levaram a ocorrência de incertezas $U_{95\%}$ maiores que as encontradas para o audiômetro AC 40, principalmente no fone direito onde a proprietária (fonoaudióloga) já havia constatado problemas de desempenho há vários meses. Além do fato que tal experimento foi um dos primeiros executados, conseqüentemente houve falta de conhecimento prático por parte do operador, contribuindo para aumentar os valores das dispersões obtidas. Ou seja, os valores de incerteza expandida acima de $\pm 0,8$ dB são devidos às falhas alheias ao desempenho do sistema de medição utilizado. A partir dos fatos e argumentos expostos até aqui se conclui que, para instrumentação utilizada neste trabalho, a incerteza expandida ($U_{95\%}$) a ser declarada é estimada em $\pm 0,8$ dB, sendo que o número de graus de liberdade é estimado em 90 aproximadamente.

5 A elaboração do procedimento de calibração.

Um dos requisitos para o credenciamento na RBC

O mais recente guia para implementação da qualidade laboratorial é a norma NBR ISO/IEC 17025 [2]. Ela substitui a ABNT ISO/IEC Guia 25, é possível notar isso no texto de introdução da mesma:

“Esta norma foi produzida como resultado de ampla experiência na implementação do ABNT ISO/IEC Guia 25 e da EN 45001, que são agora substituídos. Ela contém todos os requisitos que os laboratórios de ensaio e calibração devem atender se desejam demonstrar que têm implementado um sistema de qualidade, são tecnicamente competentes e que são capazes de produzir resultados tecnicamente válidos.

Recomenda-se que os organismos de credenciamento que reconhecem a competência dos laboratórios de ensaio e calibração utilizem esta Norma como base para seus credenciamentos. ...’

Tomando como base as diretrizes desta nova norma fica evidente que a elaboração e perfeita documentação de procedimentos são elementos essenciais para implementar um sistema laboratorial com infra-estrutura necessária para alcançar o credenciamento junto ao INMETRO (na RBC). Algumas subseções da NBR ISO/IEC 17025 afirmam a necessidade de procedimentos eficientes no sistema da qualidade:

“4.2 Sistema da qualidade

4.2.1 O laboratório deve estabelecer, implementar e manter um sistema da qualidade apropriado ao escopo das suas atividades. O laboratório deve documentar suas políticas, sistemas, programas, procedimentos e instruções, na extensão necessária para assegurar a qualidade dos resultados de ensaios e/ou calibrações. ...”

Novamente na subseção 5.4 aparecem afirmações que apontam os procedimentos como um elemento chave em laboratórios de calibração:

“5.4.1 Generalidades

O laboratório deve utilizar métodos e procedimentos apropriados para todos os ensaios e/ou calibrações dentro do seu escopo. Estes incluem amostragem manuseio, transporte, armazenamento e preparação dos itens a serem ensaiados e/ou calibrados e, onde apropriado, uma estimativa da incerteza de medição, bem como as técnicas estatísticas para análise dos dados de ensaio e/ou calibração. ...”

Logo o procedimento de calibração é uma das exigências do organismo credenciador. A seguir, em 4.1, há uma breve listagem sobre os benefícios que podem ser alcançados, ou seja, de que maneira um procedimento bem elaborado mostrará suas utilidades.

5.1 Importância e finalidades de um procedimento de calibração

Algumas vantagens que tornam o procedimento uma ferramenta muito conveniente foram listadas no curso sobre Elaboração de Procedimentos de Calibração e/ou Ensaio [12] ministrado na Fundação CERTI em abril de 2001.

- *“Uniformização de medições, testes ou calibrações;*
- *Simplificações e conseqüente redução de custos;*
- *Melhoria da produtividade pela diminuição de erros;*
- *Melhoria da qualidade dos resultados pelo aumento da confiabilidade;*
- *Documentação do know-how que estava apenas na mente das pessoas;*
- *Aumenta o tempo das pessoas para outras atividades;*
- *Ferramenta de treinamento;*
- *Diminuição de dificuldades e problemas de processamento de dados.”*

5.2 Requisitos e desenvolvimento do procedimento de calibração de audiômetros

Um requisito imprescindível durante a escrita da documentação do laboratório de calibração é o uso do Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia (VIM) [7]. No Brasil, esse vocabulário foi publicado através da Portaria n.º 29 de 10 de março de 1995.

O apoio da chefia e a presença de pessoa(s) com conhecimento técnico específico das normas e de qualidade laboratorial são dois elementos que ajudam a viabilizar a elaboração de procedimentos técnicos. Também existem cursos ministrados com objetivo de ensinar como elaborar procedimentos de calibração e ensaio. Esses cursos são de caráter geral, e cabe ao laboratorista aplicar e adaptar a metodologia estudada a cada caso.

5.2.1 Requisitos segundo norma ISO 17025

Os requisitos técnicos para competência de laboratórios de ensaio e calibração são descritos na seção 5 da norma ISO 17025 [2]. Segundo a mesma norma os fatores determinantes da confiabilidade das calibrações são:

- Fatores humanos;
- Acomodações e condições ambientais;
- Métodos de ensaio e calibração e validação de métodos;
- Equipamentos;
- Rastreabilidade da medição;
- Amostragem;
- Manuseio de itens de ensaio e calibração.

Tais itens correspondem às subseções 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7 e 5.8 da norma ISO [2], respectivamente. No contexto da elaboração de procedimento de calibração destaca-se o conteúdo do item 5.4 *Métodos de ensaio e calibração e validação de métodos*, nele são encontradas algumas diretrizes essenciais, por exemplo, a seleção de métodos, item 5.4.2.

“O laboratório deve utilizar métodos de ensaio e/ou calibração, incluindo amostragem, que atendam às necessidades do cliente e que sejam apropriados para os ensaios e/ou calibrações que realiza. De preferência, devem ser utilizados métodos publicados em normas internacionais, regionais ou nacionais. O laboratório deve assegurar a utilização

da última edição válida de uma norma, a não ser que isto não seja apropriado ou possível. Quando necessário, a norma deve ser suplementada com detalhes adicionais para assegurar uma aplicação consistente. ...”

Tomando como ponto de partida as normas IEC 60645-1 [23] e ISO 389-1 / 3 / 4 [26] [28] [27], que dão as informações fundamentais sobre audiômetros e níveis de audição, ainda será necessário estudar, praticar e otimizar cada etapa da calibração até esclarecer eventuais dúvidas e detalhes sobre o método, sobre os cálculos e sobre a apresentação dos resultados. Ou seja, as normas são insuficientes para especificar e uniformizar todo o procedimento de calibração.

5.2.2 A estrutura do procedimento

É interessante que todos os procedimentos, dentro dos laboratórios de calibração, sejam escritos conforme uma estrutura similar, ou seja, organizados em uma seqüência de títulos das seções igual ou semelhante. Cada seção detalha um aspecto do procedimento, observe a seqüência proposta para o procedimento de calibração de audiômetros do LARI:

1. Objetivo
2. Campo de aplicação
3. Documentos de referência
4. Terminologia
5. Equipamentos e materiais auxiliares necessários
6. Condições ambientais
7. Preparação e precauções
8. Método
9. Registros
10. Análise dos resultados
11. Incerteza de medição
12. Apresentação dos resultados
13. Apêndices

O conteúdo do procedimento pode ser visto no anexo 9.2. Os itens de 1 até 5 já foram comentados em capítulos anteriores deste trabalho. A partir do item 6 será necessário esclarecer alguns dos assuntos com maior profundidade.

5.2.3 Considerações sobre condições ambientais

De acordo com o manual do usuário do sistema de calibração de audiômetros da marca Larson Davis [31] as condições ambientais de referência são:

- pressão estática: 101,3 kPa
- temperatura: 23 °C
- umidade relativa do ar: 50 %.

No mesmo manual [31] segue uma afirmação sobre os desvios em relação às condições de referência.

“IEC 318-3 Calibration should be performed at the above conditions within $\pm 3,0$ kPa, $\pm 3,0$ °C, and ± 20 % R.H. or else actual values should be stated.”

O que significa que acopladores acústicos, usados para calibração de fones de ouvido supra-aurais (IEC 318-3), devem ser usados nas seguintes condições ambientais:

- pressão estática: 98,3 a 104,3 kPa,
- temperatura: 20 a 26 °C,
- umidade relativa do ar: 30 a 70 %,

ou que as condições reais durante a calibração sejam declaradas.

As grandezas acima têm influências na qualidade da calibração. Logo, de acordo com a norma ISO 17025 [2] o termômetro, higrômetro e o barômetro utilizados devem ser calibrados.

“Todo o equipamento utilizado em ensaios e/ou calibrações, incluindo os equipamentos para medições auxiliares (por exemplo: condições ambientais), que tenha efeito sobre a exatidão ou validade do resultado do ensaio, calibração ou amostragem, deve ser calibrado antes de entrarem em serviço. O laboratório deve estabelecer um programa e procedimento para a calibração dos seus equipamentos.”

A utilidade da informação da temperatura diz respeito ao aumento da incerteza que ocorre quanto mais afastada a temperatura estiver do seu valor de referência. Fato que foi estudado em 3.5.1 “Influências da temperatura”. De fato, quanto maior o desvio da temperatura ambiente do seu valor de referência maior será a incerteza de medição do calibrador de nível sonoro e conseqüentemente de todo o sistema, mesmo quando forem feitas correções automáticas ou manualmente por cálculos matemáticos.

Na prática, é possível obter melhores resultados de medição ao evitar ambientes com umidade relativa maior que 90 % porque poderá afetar o desempenho do microfone. Excesso de umidade também pode causar condensação de água sobre partes do calibrador e/ou sobre o microfone prejudicando o ajuste de escala do sistema de medição, e conseqüentemente prejudicará os resultados da calibração dos audiômetros. Dessa forma é aconselhável o uso de desumidificadores e/ou condicionadores de ar quando a região tem características de clima úmido.

5.2.4 Preparação e precauções

A seção 7 do procedimento de calibração, preparação e precauções, diz respeito à montagem do sistema de medição⁸⁹, ao tempo de aquecimento requerido, além de cuidados iniciais para manter a qualidade dos serviços de calibração.

Após a montagem do sistema de medição, e/ou a cada serviço de calibração de audiômetro, é necessário verificar o estado metrológico em que se encontra a escala de medição do sistema⁹⁰. Através do calibrador de nível sonoro, que gera um nível de pressão sonora padrão, é possível verificar⁹¹ se houve deriva das características metrológicas da instrumentação. Além da deriva é possível que o equipamento tenha sido usado para efetuar outros tipos de medições acústicas e assim sofreu ajustes que diferem totalmente do desejado para a calibração de audiômetros.

Antes da execução do método de calibração deve-se preparar um meio para registrar cada valor medido, seja em papel ou eletronicamente. No procedimento escrito, teórico, o item sobre registros, seção 9, ficou situado depois do método. Na prática as atividades de medições e de registro das leituras ocorrem simultaneamente.

5.2.5 Comentários sobre o método de calibração

A primeira etapa do método é posicionar corretamente o fone de ouvido sobre o acoplador acústico. Segundo a norma ISO 389-1 [26] “o fone de ouvido deve ser aplicado ao acoplador sem vazamento acústico com uma força estática nominal de $4,5 \text{ N} \pm 0,5 \text{ N}$, não incluindo o peso do próprio fone de ouvido”. E como foi brevemente comentado no capítulo 3, de acordo com Wilber [36] e de acordo com Morrill [5], a maneira prática de efetuar o posicionamento correto do fone de ouvidos segue os seguintes passos:

- Coloca-se o fone sobre o acoplador acústico;

⁸⁹ Montagem do sistema de medição, às vezes chamado sistema de calibração, consiste na conexão dos instrumentos descritos nos itens 3.1 e 3.1.2 até 3.1.7 deste trabalho.

⁹⁰ A verificação comentada somente serve para via aérea, acoplador acústico; geralmente não há verificação diária equivalente para a via óssea. Na calibração de vibradores ósseos, geralmente não se dispõe de um “calibrador mecânico” ou “vibrador padrão”, então o acoplador mecânico, juntamente com seu certificado de calibração válido, será o padrão de força vibratória do laboratório.

⁹¹ Geralmente nos medidores de NPS a verificação é acessada através da opção *check*.

- Sobre o fone coloca-se um peso ou sistema de mola(s) correspondente à força estática de $(4,5 \pm 0,5)$ N;
- No audiômetro seleciona-se a menor frequência (125 ou 250 Hz) e em um nível de audição relativamente alto (50 a 70 dB NA, por exemplo);
- É necessário esperar 5 a 10 segundos⁹², então se observa a leitura (indicação) no medidor de NPS;
- Lentamente, com a mão segurando e movimentando o fone, procura-se obter a leitura de NPS de maior valor possível, assim minimizando eventuais vazamentos acústicos;
- Sem alterar a posição do fone de ouvido faz-se todas as medições necessárias relativas àquele fone.

Podem ocorrer dois casos extremos com relação ao vazamento acústico entre o fone de ouvido e o acoplador. Quando a borracha da almofada do fone é nova, sem deformações e macia o vazamento acústico é praticamente nulo. Porém quando o fone é velho, e a almofada já está deformada e endurecida, então teremos dificuldade na tentativa de minimizar o vazamento acústico. Se neste último caso a deformação estiver realmente comprometendo o acoplamento entre fone de ouvido e acoplador acústico a única solução será a substituição do(s) fone(s) de ouvido. Assim será necessário entrar em contato com o proprietário do audiômetro com objetivo de decidir a melhor maneira de aquisição de almofadas e/ou fones compatíveis e em bom estado de conservação.

Atenção especial também deve ser dada para o posicionamento, centralizado, do vibrador ósseo sobre o acoplador mecânico; sendo que este é o primeiro passo para efetuar a calibração da via óssea. E se a força estática⁹³ sobre o vibrador ósseo for fornecida por sistema de molas será importante medir periodicamente esta força para garantir a padronização do método.

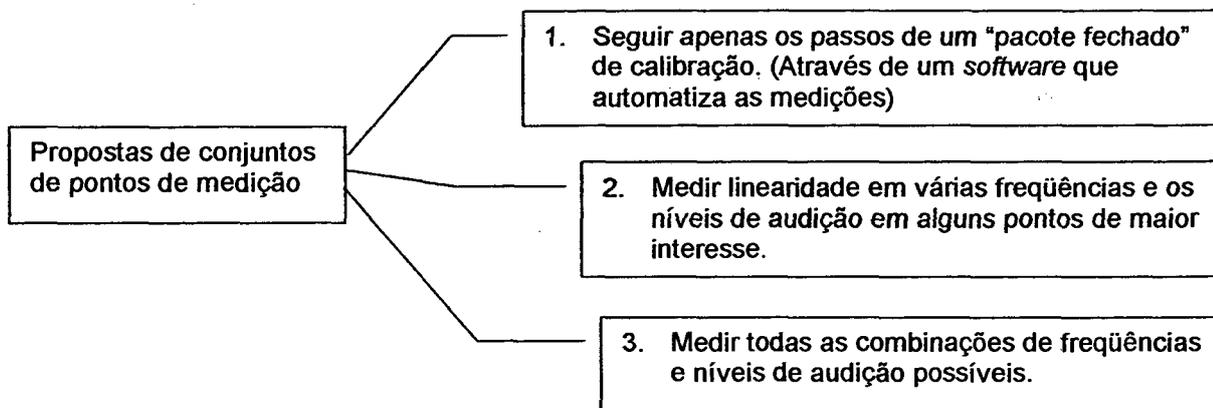
Partindo do princípio de que o fone está corretamente posicionado e que as conexões de todos os cabos do audiômetro estão corretas e não apresentam nenhum problema, ainda surgem algumas questões metrológicas a respeito dos níveis de pressão sonora dos tons puros a serem estudadas. Quais os “pontos” de medição, combinações entre níveis e frequências, que devem ser medidos? Lembrando que se deve avaliar a tolerância dos níveis e também a

⁹² Tempo para estabilização do valor de cada leitura, geralmente o tempo necessário é maior em baixas frequências do que nas altas.

⁹³ Força estática de $5,4 \text{ N} \pm 0,5 \text{ N}$. Conforme anexo A.3 da norma ISO 389-3 [28].

linearidade do atenuador. Até que ponto se pode confiar nas leituras obtidas? Qual é a ordem de grandeza da repetitividade de cada leitura?

Volta a tona uma das questões apresentadas desde o capítulo 3; quantos “pontos” de medição são necessários para avaliar os níveis dos tons puros de um audiômetro? Em primeiro lugar pode-se pensar em algumas possibilidades, ou propostas de “pontos” de medição.



Tendo como exemplo o *software* AUDit⁹⁴, fornecido pela Larson Davis Company, a proposta 1, no diagrama acima, corresponde a medir apenas os “pontos” relativos a cada frequência, de 125 a 8000 Hz, no nível de 70 dB NA e avaliar a linearidade em 1000 Hz. Desta maneira serão medidos de 30 a 120 “pontos” aproximadamente⁹⁵.

A proposta 3, medir todas combinações possíveis, mostra-se inviável em audiômetros com passo de 1 dB, onde temos mais de 2000 combinações possíveis. O tempo tomado será equivalente a cerca de uma semana de trabalho ou mais, tornando o preço elevado demais para o cliente. A proposta 2 é apenas uma sugestão na tentativa de encontrar um meio termo entre 1 e 3.

Além das propostas anteriores, que tendem a deixar a questão em aberto, há uma afirmação bem objetiva na norma que trata dos requisitos de audiômetros. De acordo com a norma IEC 60645–1 [23], subseção 7.4.1 (Audiômetros manuais), a calibração deve ser efetuada para cada frequência e em passos de 5 dB ou passos menores.

⁹⁴ A versão 1.34, ano 2000, do *software* AUDit tem um banco de dados projetado para armazenar 11 valores de níveis de audição de tons puros (para cada frequência), e cerca de 120 valores de níveis resultantes do teste de linearidade em uma frequência apenas. Isso não é suficiente para automatizar os testes de todos os “pontos” de medição possíveis, por mais simples que o audiômetro seja.

⁹⁵ Neste caso os primeiros 8 ou 11 “pontos” são os níveis relativos a 70 dB NA nominal, variando apenas a frequência. Os “pontos” restantes, entre 20 e 110 aproximadamente, correspondem à avaliação de linearidade do atenuador de audiômetros com passos de 5 dB ou 1 dB, respectivamente.

“O indicador de nível de audição deve ter somente uma escala e um ponto zero de referência que seja comum para todas as frequências. O indicador do controle de nível de audição para audiômetros tipos 1, 2, 3 e 4 deve ser calibrado em intervalos de 5 dB ou menos, com 0 dB em cada frequência correspondendo ao nível de limiar equivalente de referência.”

Seguindo a afirmação acima, para apenas um fone de ouvido, obtém-se um arranjo de valores de NPS similar ao mostrado na tabela 5.1⁹⁶. Os NPS ainda não são os *resultados de medição*. A equação 5.2.5.a apresenta a obtenção de cada NPS através do valor bruto, que é a *indicação* do medidor de NPS, e da soma das *tendências*. As *tendências* são os desvios sistemáticos do microfone de medição, do pré-amplificador e do medidor de NPS.

$$NPS_{\text{corrigido}} = \text{Indicação}_{\text{medidor. NPS}} - \text{Tendências} \quad 5.2.5.a$$

Cada tendência é gerada por efeitos sistemáticos e deve ser corrigida matematicamente. Se os instrumentos de medição fossem ideais, todas as tendências teriam valores nulos. Como se pode ver comparando os gráficos na figura 5.1 a tendência predominante é proveniente dos efeitos sistemáticos apresentados pela curva de resposta em frequência do microfone de medição. A equação 5.2.5.a pode ser implementada em computador a partir de um pequeno banco de dados onde devem ser armazenados os valores das tendências⁹⁷.

⁹⁶ Medições em 19/07/2001; com sistema Larson Davis 824. Temperatura: $(21,8 \pm 1,0)$ °C, umidade relativa do ar: (61 ± 5) %. Alguns valores, correspondentes à faixa entre 0 e 10 dB NA nominais, não são apresentados devido ao ruído de fundo. Em 250 Hz o ruído de fundo mostrou-se mais elevado e prejudicou três das medições.

⁹⁷ No *software* AUDit a equação 5.2.5.a já vem implementada, basta apenas obter e digitar os valores das tendências contidos nos certificados de calibração do microfone de medição, do pré-amplificador e do medidor de NPS.

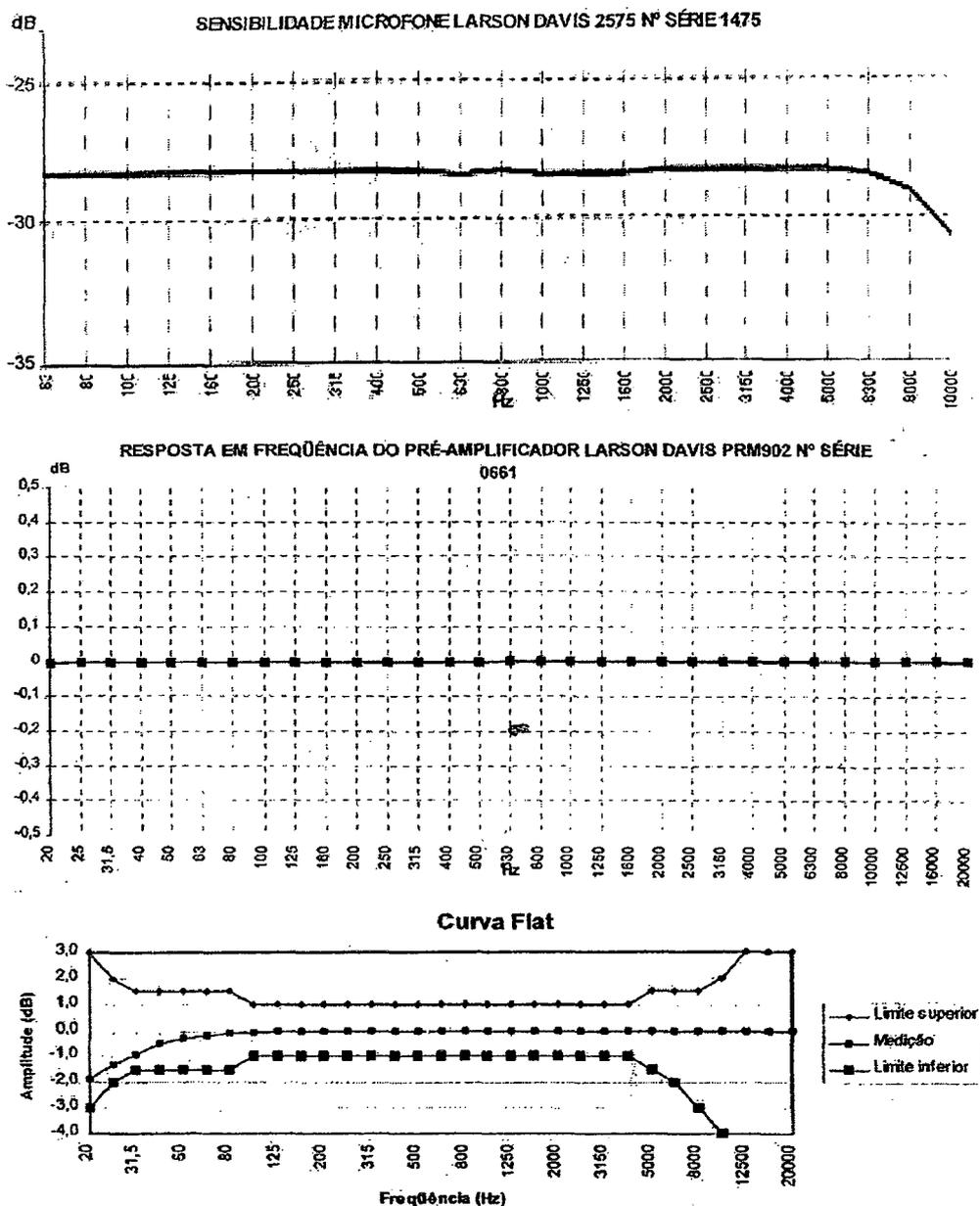


Figura 5.1 - Gráficos de calibração do microfone, pré-amplificador e medidor de NPS (Certificados de calibração de equipamentos do LARI, ver anexos)

A partir de cada NPS corrigido, calculado na equação 5.2.5.a e exemplificado na tabela 5.1, e do valor de limiar equivalente de referência de nível de pressão sonora (LERNPS) adequado, ver tabela 5.3, pode-se calcular o *resultado* de cada medição em nível de audição (NA). A equação 5.2.5.b apresenta tal operação, e a tabela 5.2 é um exemplo de sua aplicação. O conceito de *resultado de medição* também pode ser estendido de modo a apresentar o desvio em relação ao valor nominal de NA, ver equação 5.2.5.c.

$$NA_{resultante} = NPS_{corrigido} - LERNPS \quad 5.2.5.b$$

$$Desvio_{dB} = NA_{resultante} - NA_{nominal} \quad 5.2.5.c$$

Segundo o que foi exposto pode-se verificar que as tabelas 5.1 e 5.2 são equivalentes. A única diferença entre elas é a subtração dos LERNPS contidos na tabela 5.3 [1]. Por exemplo, os valores da segunda coluna da tabela 5.1, relativos à frequência de 125 Hz, correspondem aos valores da segunda coluna da tabela 5.2 menos o LERNPS de 45,0 dB encontrado na tabela 5.3, também relativo a 125 Hz.

Tabela 5.1

Níveis de pressão sonora obtidos ao testar o fone esquerdo (TDH39) do audiômetro AC 40 do LARI (dB re 20 μ Pa)											
NA nominal (dB NA)	Frequências (Hz)										
	125	250	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000
100			112,0	108,0	108,2	107,0	110,2	111,6	111,2	120,1	
95			107,0	103,0	103,3	102,0	105,3	106,6	106,2	115,2	
90		116,4	102,0	98,0	98,2	97,0	100,1	101,3	100,8	109,1	105,4
85		111,4	97,0	93,0	93,2	92,0	95,1	96,3	95,8	104,1	100,4
80		106,4	92,0	88,0	88,2	87,0	90,1	91,4	90,8	99,1	95,4
75		101,4	87,0	83,0	83,2	82,0	85,1	86,4	85,8	94,1	90,4
70	116,2	96,4	82,0	78,0	78,2	77,0	80,1	81,4	80,8	89,1	85,4
65	111,3	91,4	77,0	73,0	73,2	72,0	75,1	76,3	75,8	84,1	80,4
60	106,2	86,4	72,0	68,0	68,2	67,0	70,1	71,3	70,8	79,1	75,4
55	101,3	81,4	67,0	63,0	63,2	62,0	65,1	66,4	65,8	74,1	70,4
50	96,3	76,4	62,0	58,0	58,2	57,0	60,1	61,3	60,8	69,1	65,4
45	91,3	71,4	57,0	53,0	53,2	52,0	55,1	56,4	55,8	64,1	60,4
40	86,2	66,4	52,0	48,0	48,3	47,0	50,2	51,4	50,9	59,1	55,4
35	81,3	60,7	47,0	43,0	43,3	42,0	45,2	46,4	45,9	54,1	50,5
30	76,3	55,7	42,0	38,0	38,3	37,0	40,2	41,4	40,9	49,1	45,5
25	71,3	50,7	37,0	33,0	33,3	32,0	35,2	36,4	35,9	44,2	40,5
20	65,6	45,7	32,0	28,0	28,3	27,0	30,2	31,4	30,9	39,2	35,5
15	61,3	40,9	27,0	23,0	23,3	22,0	25,2	26,5	25,9	34,2	30,5
10	56,3		22,0	18,0	18,4	17,0	20,3	21,6	21,0	29,2	25,5
5	51,3		17,0	13,0		13,0	15,4	16,7	16,2		20,7
0	46,3			9,0					11,8		16,2

A partir dos valores dos níveis de pressão sonora medidos que estão nas tabelas anteriores, ainda não é possível ter idéia da ordem de grandeza da repetitividade dos resultados das medições. Então, objetivando quantificar valores de repetitividade, repete-se o método, desde o posicionamento de cada fone de ouvido até a medição e registros, mas somente para alguns “pontos” escolhidos⁹⁸. Na tabela 5.4⁹⁹ são apresentados valores de medições efetuadas sob condições de repetitividade.

⁹⁸ Repetições necessárias para o estudo acadêmico das condições de repetitividade das medições. Na prática diária as repetições das medições podem ser dispensadas por motivo de economia de tempo.

⁹⁹ Medições em 08/09/2001. Temperatura: (22,3 \pm 1,0) °C, umidade relativa do ar: (67 \pm 5) %. As médias e os desvios padrão foram calculados diretamente em decibels; sem transformar em escala linear.

Tabela 5.2

Níveis de audição obtidos ao testar o fone esquerdo (TDH39) do audiômetro AC 40 do LARI (dB NA)

NA nominal (dB NA)	Frequências										
	125	250	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000
100			100,5	100,0	101,3	100,6	101,2	101,6	101,6	104,7	
95			95,5	95,0	96,4	95,6	96,3	96,6	96,6	99,8	
90		90,9	90,5	90,0	91,3	90,6	91,1	91,3	91,2	93,7	93,2
85		85,9	85,5	85,0	86,3	85,6	86,1	86,3	86,2	88,7	88,2
80		80,9	80,5	80,0	81,3	80,6	81,1	81,4	81,2	83,7	83,2
75		75,9	75,5	75,0	76,3	75,6	76,1	76,4	76,2	78,7	78,2
70	71,2	70,9	70,5	70,0	71,3	70,6	71,1	71,4	71,2	73,7	73,2
65	66,3	65,9	65,5	65,0	66,3	65,6	66,1	66,3	66,2	68,7	68,2
60	61,2	60,9	60,5	60,0	61,3	60,6	61,1	61,3	61,2	63,7	63,2
55	56,3	55,9	55,5	55,0	56,3	55,6	56,1	56,4	56,2	58,7	58,2
50	51,3	50,9	50,5	50,0	51,3	50,6	51,1	51,3	51,2	53,7	53,2
45	46,3	45,9	45,5	45,0	46,3	45,6	46,1	46,4	46,2	48,7	48,2
40	41,2	40,9	40,5	40,0	41,4	40,6	41,2	41,4	41,3	43,7	43,2
35	36,3	35,2	35,5	35,0	36,4	35,6	36,2	36,4	36,3	38,7	38,3
30	31,3	30,2	30,5	30,0	31,4	30,6	31,2	31,4	31,3	33,7	33,3
25	26,3	25,2	25,5	25,0	26,4	25,6	26,2	26,4	26,3	28,8	28,3
20	20,6	20,2	20,5	20,0	21,4	20,6	21,2	21,4	21,3	23,8	23,3
15	16,3	15,4	15,5	15,0	16,4	15,6	16,2	16,5	16,3	18,8	18,3
10	11,3		10,5	10,0	11,5	10,6	11,3	11,6	11,4	13,8	13,3
5	6,3		5,5	5,0		6,6	6,4	6,7	6,6		8,5
0	1,3			1,0					2,2		4

Tabela 5.3

Limiares equivalentes de referência de nível de pressão sonora.
Para fones modelo TDH39 e com acoplador NBS 9-A

Frequência	125	250	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000
LERNPS	45,0	25,5	11,5	8,0	7,0	6,5	9,0	10,0	9,5	15,5	13,0

Tabela 5.4

Desvios padrão dos níveis de audição obtidos ao testar o fone esquerdo (TDH39) do audiômetro AC 40 do LARI (dB NA)

NA nominal (dB NA)	Frequências (Hz)										
	125	250	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000
70	71,0	70,6	71,0	70,4	71,1	71,0	71,0	71,1	71,0	72,9	72,9
70	71,0	70,7	70,9	70,4	70,9	70,9	71,0	70,9	70,9	73,2	72,9
70	71,0	70,7	71,0	70,4	71,0	71,0	71,0	70,9	71,0	73,1	72,8
70	71,0	70,5	71,0	70,4	71,1	71,0	71,0	71,1	71,0	73,2	73,0
Média	71,0	70,6	71,0	70,4	71,0	71,0	71,0	71,0	71,0	73,1	72,9
Desvio padrão experimental	0,000	0,096	0,050	0,000	0,096	0,050	0,000	0,115	0,050	0,141	0,082
Desvio padrão experimental da média	0,000	0,048	0,025	0,000	0,048	0,025	0,000	0,058	0,025	0,071	0,041

Os desvios padrão obtidos na tabela 5.4 são demonstrações das dispersões dos resultados experimentais de um audiômetro específico¹⁰⁰, e são dados de grande importância

¹⁰⁰ Os valores na tabela 5.4 e tabela 4.2 no item 4.4.4, diferem porque foram obtidos a partir de ensaios efetuados em datas distintas. Mesmo assim, representam a ordem de grandeza das dispersões dos valores das medições.

para o balanço de incertezas do mesmo. Não há motivo especial na escolha do nível 70 dB NA nominal para testar a repetitividade. Dessa forma pode-se escolher qualquer nível e simplesmente fazer as medições repetidas vezes; por exemplo, em 10 dB NA nominal, ver tabela 5.5¹⁰¹. Mas isso é sempre válido?

Tabela 5.5

Níveis de audição obtidos ao testar o fone esquerdo (TDH39) do audiômetro AC 40 do LARI (dB NA)											
NA nominal (dB NA)	Frequências (Hz)										
	125	250	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000
10	11,1	10,1	10,5	10,6	11,3	11,2	11,2	11,3	11,2	13,5	13,3
10	11,1	10,1	10,5	10,6	11,3	11,2	11,2	11,3	11,2	13,6	13,2
10	11,1	10,7	10,4	10,6	11,3	11,2	11,1	11,4	11,2	13,5	13,1
10	11,1	10,8	10,5	10,6	11,3	11,2	11,1	11,3	11,2	13,5	13,1
Média	11,1	10,4	10,5	10,6	11,3	11,2	11,2	11,3	11,2	13,5	13,2
Desvio padrão experimental	0,000	0,377	0,050	0,000	0,000	0,000	0,058	0,050	0,000	0,050	0,096
Desvio padrão experimental da média	0,000	0,189	0,025	0,000	0,000	0,000	0,029	0,025	0,000	0,025	0,048

Note que na banda de 250 Hz, em 10 dB NA, o desvio padrão encontrado foi suficiente para quadruplicar a dispersão dos resultados das medições; comparando os valores nas tabelas 5.4 e 5.5. Fato que pode comprometer a análise da repetitividade do experimento em tal frequência. Em consequência disso deve-se ter em mente que os níveis mais altos são mais confiáveis no que diz respeito a repetitividade. Quanto mais alto seria necessário? Dependerá de fatores tais como desempenho da instrumentação usada, além do ruído ambiente e do ruído eletrônico, entre outros.

Aprofundando o estudo de uma forma mais crítica e exigente, comparam-se os resultados obtidos em datas distintas, sem condições de repetitividade, ver tabela 5.6. Caso não houvesse coerência entre os valores seria evidência de algum efeito de variação das características metrológicas ou de algum erro durante a execução do método de calibração.

Tabela 5.6

Níveis de audição obtidos ao testar o fone esquerdo (TDH39) do audiômetro AC 40 do LARI (dB NA) Em datas diferentes (19/07/2001 e 08/09/2001, respectivamente)											
NA nominal (dB NA)	Frequências										
	125	250	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000
70	71,2	70,9	70,5	70,0	71,3	70,6	71,1	71,4	71,2	73,7	73,2
70	71,0	70,6	71,0	70,4	71,0	71,0	71,0	71,0	71,0	73,1	72,9
Diferença	0,2	0,3	-0,5	-0,4	0,3	-0,4	0,1	0,4	0,2	0,6	0,3
10	11,3		10,5	10,0	11,5	10,6	11,3	11,6	11,4	13,8	13,3
10	11,1	10,4	10,5	10,6	11,3	11,2	11,2	11,3	11,2	13,5	13,2
Diferença	0,2		0,0	-0,6	0,2	-0,6	0,1	0,3	0,2	0,3	0,1

¹⁰¹ Medições em 08/09/2001. Temperatura: $(22,3 \pm 1,0)$ °C, umidade relativa do ar: (67 ± 5) %. As médias e os desvios padrão foram calculados diretamente em decibels; sem transformar em escala linear.

De um modo geral, as diferenças na tabela 5.6 variam entre - 0,6 e 0,6 dB, no máximo, o que é compatível com os valores de incertezas levantados desde o capítulo 3 e com o balanço de incertezas calculado no capítulo 4. Até esse ponto do estudo pode-se concluir que os valores encontrados são coerentes, e que o método foi aplicado de maneira correta, ou suficientemente correta para alcançar resultados aceitáveis.

O método de calibração não se encerra com o término das medições de níveis dos tons puros, é mais fatigante, pois há mais grandezas para avaliar. Após ter medido os níveis dos tons puros ainda podem-se medir:

- Os desvios em frequência dos tons puros;
- A distorção harmônica dos tons puros;
- Os níveis de ruídos de mascaramento;
- A relação “ligado / desligado”;
- A interferência cruzada (*crosstalk test*);
- Tempos de duração dos tons pulsáteis.

As três primeiras grandezas listadas são mais usuais e importantes que as últimas; elas são mais facilmente encontradas nos certificados emitidos atualmente no Brasil, como pode ser visto no anexo 9.8. Apesar disso, se for a primeira calibração do audiômetro e/ou se o usuário (fonoaudiólogo ou médico) desconfia de anormalidades no aparelho será mais conveniente executar todos os testes listados.

Os desvios em frequência e os valores de distorção harmônica dos tons puros são medidos em níveis de pressão sonora relativamente elevados. Em ambos os casos as formas de onda geradas pelo audiômetro serão mais fáceis de analisar em níveis elevados, porém para distorção harmônica devemos respeitar alguns valores de níveis normalizados na subseção 6.1.3 da norma IEC 60645-1 [23]; são os níveis de audição entre 70 e 110 dB NA para via aérea e entre 20 e 60 dB NA para via ósea que estão transcritos na tabela 5.11.

Para efetuar a medição das frequências utiliza-se um freqüencímetro cujas principais características já foram descritas em 3.1.7. Veja a tabela 5.7 que mostra resultados experimentais de medições de frequência e distorção harmônica total (DHT).

Equação 5.2.5.d serve para determinar a distorção harmônica total em percentual. Com a utilização de computador, *software* e aquisição direta¹⁰² dos valores de cada harmônica o cálculo da DHT torna-se mais cômodo e rápido.

$$DHT\% = 100 \times \sqrt{\left(\frac{P_{f2}}{P_{f1}}\right)^2 + \left(\frac{P_{f3}}{P_{f1}}\right)^2 + \left(\frac{P_{f4}}{P_{f1}}\right)^2 + \dots + \left(\frac{P_{fn}}{P_{f1}}\right)^2} \quad 5.2.5.d$$

Onde P_{f1} é a pressão sonora da onda senoidal fundamental;

P_{f2} , P_{f3} , P_{f4} são as pressões sonoras da segunda, terceira e quarta harmônicas, respectivamente;

P_{fn} é a pressão sonora da n-ésima harmônica;

Todas as pressões em escala linear; em pascal ou micro pascal, por exemplo.

¹⁰² Através do cabo de comunicação serial entre computador e medidor de NPS, por exemplo.

103 Tabela 5.7

Resultados das medições de frequências e distorção harmônica do audiômetro modelo AC40 com sistema Larson Davis 824 e software AUDi TM				
Frequência nominal (Hz)	Frequência medida (Hz)	Amplitude utilizada (dB NA)	Distorção harmônica total (%)	
125	125,0	75	Esq	0,1
			Dir	0,1
			Óssea	
250	250,0	75	Esq	0,1
			Dir	0,1
		20	Óssea	2,0
500	500,0	110	Esq	0,2
			Dir	0,2
		50	Óssea	0,8
750	750,0	110	Esq	0,1
			Dir	0,2
		50	Óssea	0,6
1000	999,9	110	Esq	0,2
			Dir	0,3
		60	Óssea	0,3
1500	1499,9	110	Esq	0,2
			Dir	0,2
		60	Óssea	0,0
2000	2000,0	110	Esq	0,9
			Dir	1,0
		60	Óssea	0,2
3000	3000,0	110	Esq	0,1
			Dir	0,1
		60	Óssea	0,1
4000	4000,0	110	Esq	0,0
			Dir	0,1
		60	Óssea	0,6
6000	6000,0	-----	Esq	
		-----	Dir	
		-----	Óssea	
8000	8004,0	-----	Esq	
		-----	Dir	
		-----	Óssea	

Na figura 5.2 é apresentado um espectro em frequência de uma senóide distorcida tendo DHT em torno de 15 %. É um exemplo de sinal cuja qualidade não atende o requisito de distorção harmônica total normalizado na IEC 60645-1 [23].

¹⁰³ As expressões “esq”, “dir” e “óssea” se referem a “fone esquerdo”, “fone direito” e “vibrador ósseo”, respectivamente.

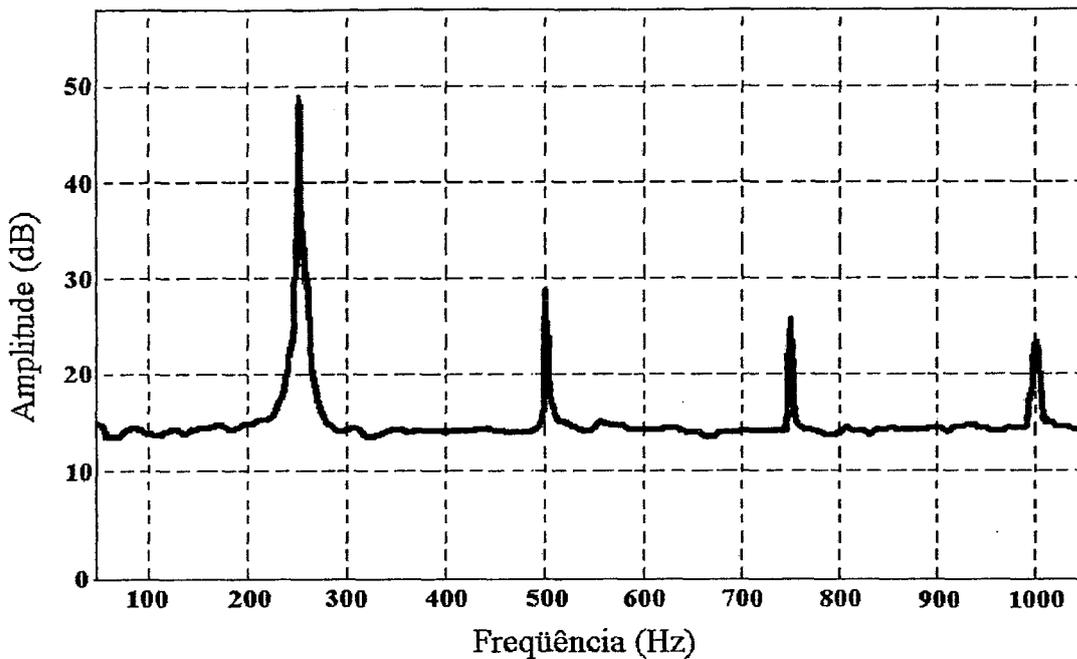


Figura 5.2 - Gráfico do espectro de sinal senoidal com distorção harmônica

O método de medição dos níveis de ruído de mascaramento é similar à medição dos tons puros. Duas são as diferenças básicas entre os tipos de sinais, e são dois os problemas adicionais a serem contornados para medir os níveis de ruído de mascaramento de forma correta. Quando se mede um nível de um tom puro geralmente obtém-se um valor constante; isso após alguns segundos até alcançar a estabilização da leitura. Entretanto quando se mede um ruído aparecem várias leituras instáveis, oscilando aleatoriamente em torno de um valor médio. A solução está na implementação de algum artifício que calcule a média das leituras, seja no próprio medidor de NPS ou no *software* que auxilia as medições.

As características da distribuição da densidade espectral do ruído podem ocasionar outro problema técnico. De qualquer forma, para medir sinais¹⁰⁴ de nível médio ou baixo, entre 0 e 50 dB NA aproximadamente, é imprescindível o uso de filtros eletrônicos passa-faixa, também chamados filtro de banda. Caso o filtro de banda usado estiver bloqueando parte do sinal de ruído de mascaramento a medição será inválida. Porque obterá leituras sempre menores do que os valores corretos. Este fato aconteceu durante os ensaios com um dos audiômetros testado, e a probabilidade de acontecer depende de qual

¹⁰⁴ Principalmente se for tom puro ou ruído de banda estreita.

audiômetro¹⁰⁵ está em teste, de como o operador seleciona os filtros ou da “inteligência” do *software* de automatização ao escolher os filtros.

Certas avaliações de desempenho de audiômetros como a relação “ligado / desligado”; a interferência cruzada (*crosstalk test*), os tempos de duração dos tons pulsáteis geralmente não são apresentados em certificados ou relatórios de calibração. Mesmo assim, a implementação desses testes, segundo norma ANSI S3.6 [1], está contida no *software* AUDit; ver figura 5.3. Mas qual a relação que esses últimos testes têm haver com o método de calibração? De fato, um relatório ou certificado de calibração mais elaborado e completo pode conter todos os dados dos testes citados acima. Isso faz sentido ao recordar o que está escrito no VIM [7] a respeito da definição de calibração: “Uma calibração pode também determinar outras propriedades metrológicas como o efeito das grandezas de influência”¹⁰⁶.

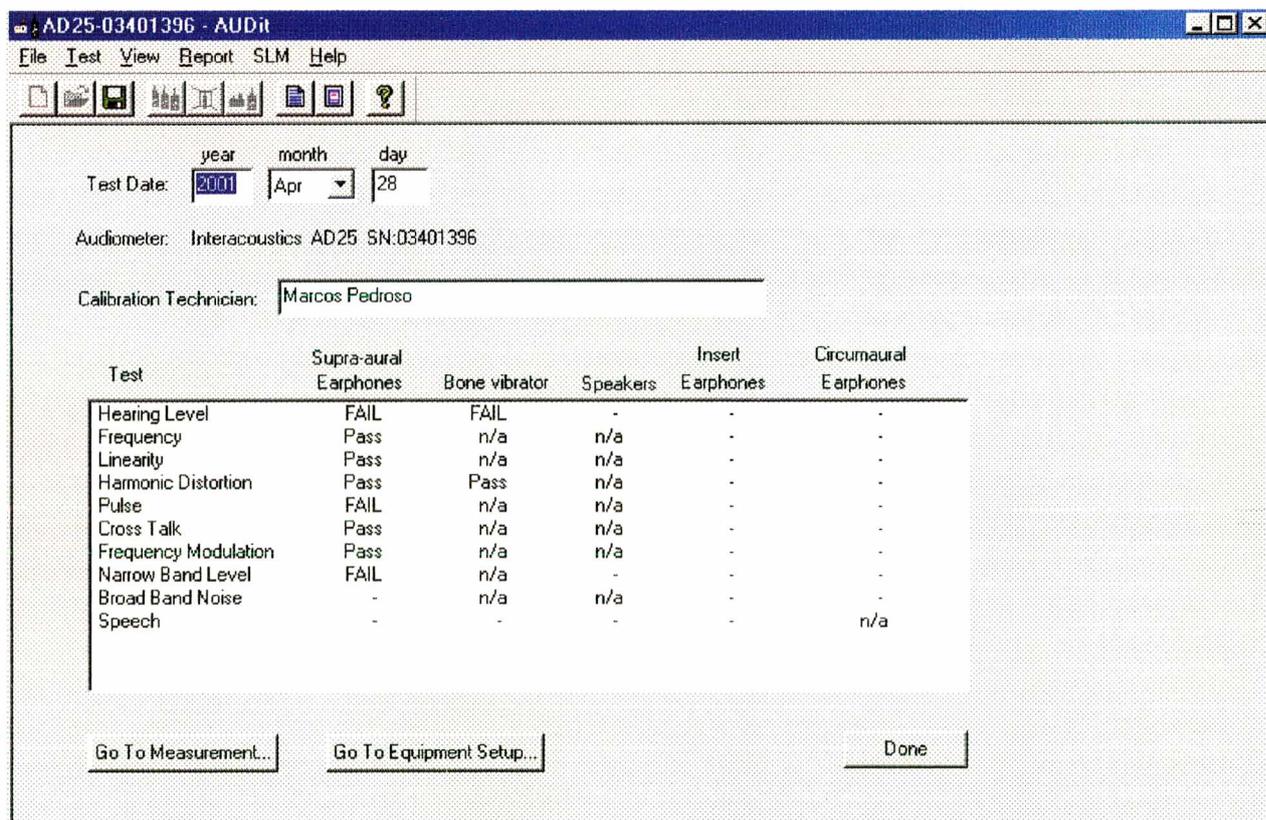


Figura 5.3 - Tela do *software* AUDit, (exibe testes que o aplicativo pode efetuar)

¹⁰⁵ Alguns audiômetros geram ruídos de mascaramento de banda estreita com espectros que abrangem bandas de 1/3 de oitava aproximadamente, outros com espectro um pouco mais largo, 1/2 de oitava.

¹⁰⁶ No VIM, observação número 2, após a definição de calibração.

Para obter os níveis de audição (NA) de força vibratória encontra-se uma situação semelhante à encontrada na obtenção dos níveis de audição relativos a pressão sonora. A partir da *indicação* que é mostrada no medidor de NPS, que estará medindo em uma escala forjada para atender a esta necessidade específica, deve-se obter o NA correspondente a força vibratória, que é o *resultado* ($NA_{\text{vibratório}}$) dessa medição. As equações 5.2.5.e e 5.2.5.f apresentam as operações necessárias para tal cálculo. E na equação 5.2.5.g temos o *resultado de medição* expresso em forma de desvio; diferença algébrica em relação ao valor nominal.

$$NF_{\text{vibratória}} = \text{Indicação}_{\text{medidor NPS}} - \text{Tendências} - \text{Resp}_{\text{mastóide}} \quad 5.2.5.e$$

$$NA_{\text{vibratório}} = NF_{\text{vibratória}} - LERNF \quad 5.2.5.f$$

$$\text{Desvio}_{dB} = NA_{\text{vibratório}} - NA_{\text{nominal}} \quad 5.2.5.g$$

A resposta de sensibilidade da mastóide artificial ($\text{Resp}_{\text{mastóide}}$) é função da frequência, como grande parte das variáveis deste trabalho. A tabela 5.8 contém alguns valores como exemplo.

Tabela 5.8

Sensibilidade da mastóide artificial modelo AMC493, n.º de série 1064; em dB re 20 μPa / μN Valores informados pelo fabricante, Larson Davis Company											
Frequência	125	250	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000
Sensibilidade	--	-16,3	-18,7	-19,8	-20,5	-20,9	-20,5	-20,3	-19,0	-20,0	--

Os valores dos limiares equivalentes de referência de nível de força (LERNF) adequados para o vibrador B-71 são mostrados na tabela 5.9, eles são provenientes da norma ISO 389-3 [28].

Tabela 5.9

Limiares equivalentes de referência do nível de força (LERNF re 1 μN). Para vibradores ósseos modelo B-71, posicionamento sobre a proeminência do osso mastóide											
Frequência	125	250	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000
LERNF	--	67,0	58,0	48,5	42,5	36,5	31,0	30,0	35,5	40,0	40,0

5.2.6 Registros

Os registros podem ser feitos através de anotações escritas manualmente em planilhas previamente organizadas e impressas em papel, ou por meios eletrônicos, especialmente em microcomputadores. As planilhas necessárias para o preenchimento são similares às tabelas 5.1, 5.2 e 5.7, além disso, as tabelas podem conter colunas extras com os valores das tolerâncias normalizadas, facilitando eventuais operações de ajuste no audiômetro, funcionando como um guia para análise rápida dos resultados.

Em se tratando de registros dos resultados das medições em computador, deve-se especificar e instalar um *software* aplicativo que auxiliará a manipulação e armazenará os dados. As opções mais comuns são editores de planilhas, também é possível usar banco de dados, ou até mesmo editor de textos, porém este último não terá recursos para efetuar cálculos matemáticos como um editor de planilhas tem. Outra opção pode ser adquirir um *software* para automatização das medições com capacidade de armazenamento próprio. Por exemplo, um *software* como o AUDit após a manipulação dos valores numéricos armazena-os em arquivo com formato de banco de dados *Access*¹⁰⁷.

O registro mais simplificado e manual possível é a anotação da *indicação* mostrada pelo medidor de NPS, sem nenhuma correção. A *indicação* registrada perderá seu significado se não for acompanhada de todas as correções necessárias. Portanto adota-se uma sistemática, que depende da criatividade da(s) pessoa(s) responsável(is) pela elaboração do procedimento, na qual as informações nunca sejam perdidas. Para tornar os registros mais fáceis de entender e para evitar confusões entre valores é aconselhável registrar os *resultados de medição*, e nunca se restringir a registrar apenas as *indicações* do medidor de NPS.

5.2.7 Análise dos resultados

O objetivo da análise dos resultados é classificar cada *resultado de medição* em função das tolerâncias encontradas em norma. Como foi comentado anteriormente o *resultado de medição* pode ser expresso de duas formas. Porém quando o *resultado* de uma medição está expresso como o desvio em relação ao valor nominal torna-se mais prático analisá-lo e mais fácil de compreendê-lo no contexto de um certificado ou relatório de calibração.

¹⁰⁷ O *software* aplicativo *Access* é marca registrada da *Microsoft Corporation*.

Tabela 5.10

Desvios dos níveis de audição obtidos ao testar o fone esquerdo (TDH39) do audiômetro AC 40 do LARI (dB NA)											
NA nominal (dB NA)	Frequências										
	125	250	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000
100			0,5	0,0	1,3	0,6	1,2	1,6	1,6	4,7	
95			0,5	0,0	1,4	0,6	1,3	1,6	1,6	4,8	
90		0,9	0,5	0,0	1,3	0,6	1,1	1,3	1,2	3,7	3,2
85		0,9	0,5	0,0	1,3	0,6	1,1	1,3	1,2	3,7	3,2
80		0,9	0,5	0,0	1,3	0,6	1,1	1,4	1,2	3,7	3,2
75		0,9	0,5	0,0	1,3	0,6	1,1	1,4	1,2	3,7	3,2
70	1,2	0,9	0,5	0,0	1,3	0,6	1,1	1,4	1,2	3,7	3,2
65	1,3	0,9	0,5	0,0	1,3	0,6	1,1	1,3	1,2	3,7	3,2
60	1,2	0,9	0,5	0,0	1,3	0,6	1,1	1,3	1,2	3,7	3,2
55	1,3	0,9	0,5	0,0	1,3	0,6	1,1	1,4	1,2	3,7	3,2
50	1,3	0,9	0,5	0,0	1,3	0,6	1,1	1,3	1,2	3,7	3,2
45	1,3	0,9	0,5	0,0	1,3	0,6	1,1	1,4	1,2	3,7	3,2
40	1,2	0,9	0,5	0,0	1,4	0,6	1,2	1,4	1,3	3,7	3,2
35	1,3	0,2	0,5	0,0	1,4	0,6	1,2	1,4	1,3	3,7	3,3
30	1,3	0,2	0,5	0,0	1,4	0,6	1,2	1,4	1,3	3,7	3,3
25	1,3	0,2	0,5	0,0	1,4	0,6	1,2	1,4	1,3	3,8	3,3
20	0,6	0,2	0,5	0,0	1,4	0,6	1,2	1,4	1,3	3,8	3,3
15	1,3	0,4	0,5	0,0	1,4	0,6	1,2	1,5	1,3	3,8	3,3
10	1,3		0,5	0,0	1,5	0,6	1,3	1,6	1,4	3,8	3,3
5	1,3		0,5	0,0		1,6	1,4	1,7	1,6		3,5
0	1,3			1,0					2,2		4,0

Portanto, os desvios na tabela 5.10 devem estar dentro da faixa de $\pm 3,0$ dB para frequências de 125 a 4000 Hz, e entre $\pm 5,0$ dB para frequências 6000 Hz e 8000 Hz, de acordo com a norma IEC 60645-1 [23]. Mas para garantir efetivamente a conformidade deve-se considerar também a incerteza de medição. Supondo que o valor da incerteza dos NPS é de $\pm 0,8$ dB os valores de desvios na tabela 5.10 devem estar dentro da faixa de $\pm 2,2$ dB para frequências de 125 Hz e entre $\pm 4,2$ dB para frequências 6000 Hz e 8000 Hz. É possível observar, na tabela 5.10, na coluna de 6000 Hz, linhas relativas à 100 e 95 dB, que os desvios sistemáticos encontrados são superiores ao valor da faixa de conformidade, ou seja são superiores à 4,2 dB.

O *software* AUDit faz análise sem considerar a incerteza, apenas afirma a respeito de cada *resultado de medição* se está, ou não, dentro da tolerância da norma¹⁰⁸. Como vemos na figura 5.4 tal *software* marca com um X ao lado da frequência onde o desvio (*Deviation*) extrapolou a tolerância normalizada.

¹⁰⁸ Norma ANSI S3.6, tolerâncias de NA têm os mesmos valores que na IEC 60645-1

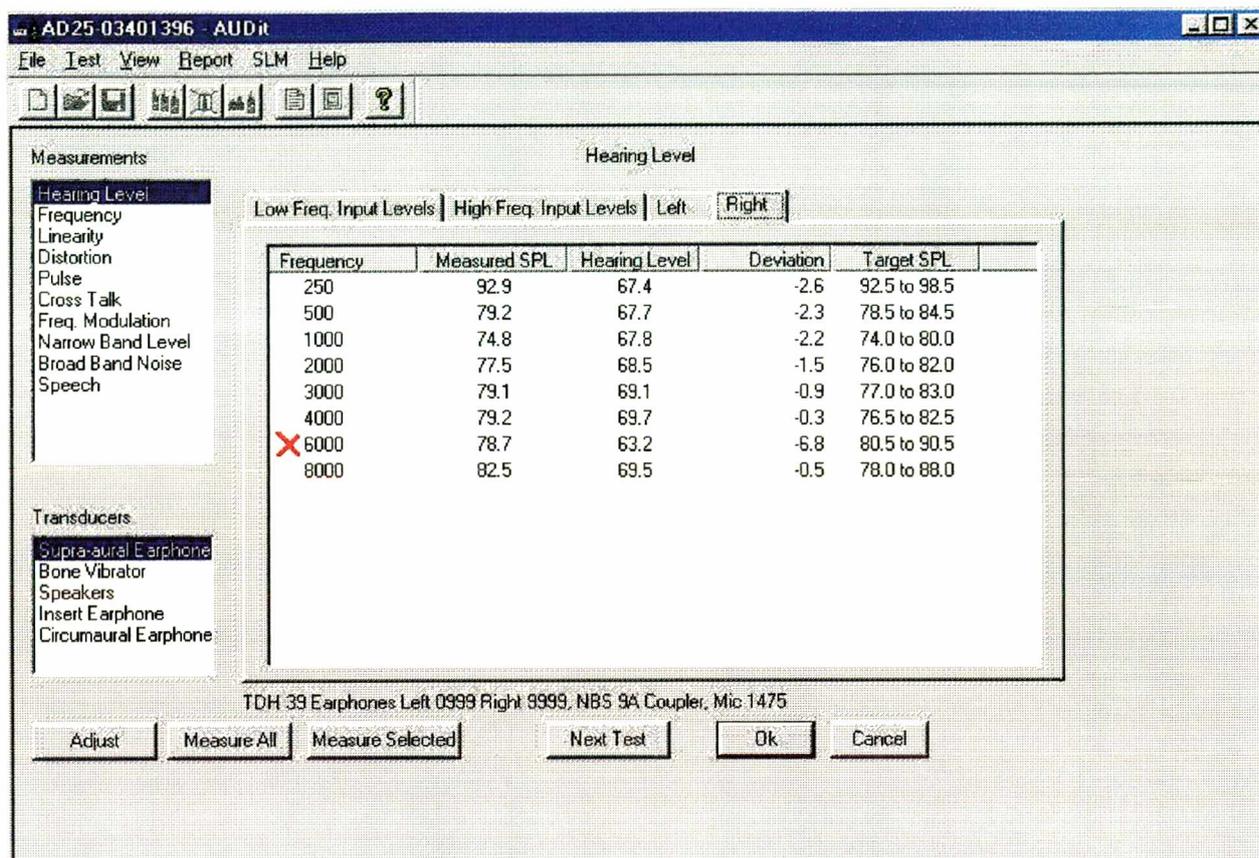


Figura 5.4 - Tela do software AUDit, (exibe teste de conformidade)

Ainda se referindo a tabela 5.10 deve-se analisar cada coluna de valores com objetivo de verificar a conformidade da linearidade do atenuador nas várias frequências testadas. O passo de nível nominal de 5 dB com tolerância de ± 1 dB é o critério de avaliação.

O resultado da análise de linearidade do atenuador no exemplo da tabela 5.10 é de conformidade total com a norma. O item 5.2.9 mostra como apresentar esse tipo de resultado.

A avaliação dos valores de frequências dos tons é desenvolvida a partir da equação 5.2.7.a. Os desvios percentuais ($Desvio_{freq\%}$) não devem ultrapassar as tolerâncias estipuladas em norma [23].

$$Desvio_{freq\%} = 100 \times \frac{|f_{medida} - f_{nominal}|}{f_{nominal}} \quad 5.2.7.a$$

Na tabela 5.7, item 5.2.5, também foram anotados os valores experimentais de distorção harmônica total (DHT), além das frequências experimentais. Os critérios de análise dos valores de distorção harmônica dos tons puros estão transcritos na tabela 5.11 que é proveniente da norma IEC 60645-1 [23]. Idealmente, para um sinal senoidal perfeito, todos os

valores percentuais de distorção na tabela 5.7 seriam nulos. Na prática busca-se quantificar a distorção harmônica total em cada frequência, porque é um indicativo baseado na soma quadrática das amplitudes das harmônicas.

Tabela 5.11

<i>Distorção harmônica máxima permissível, da pressão sonora ou da força vibratória, expressa em porcentagem</i>						
	Condução aérea			Condução óssea		
Faixa de frequências (Hz)	125 a 250	315 a 400	500 a 5.000	250 a 400	500 a 800	1.000 a 5.000
Nível de Audição (dB)	75 ¹⁾	90 ¹⁾	110 ¹⁾	20	50 ¹⁾	60 ¹⁾
Distorção da segunda harmônica	2	2	2	5	5	5
Distorção da terceira harmônica	2	2	2	2	2	2
Distorção da quarta e cada harmônica maior	0,3	0,3	0,3	1	1	1
Distorção de todas as sub-harmônicas	-	0,3	0,3	-	-	-
Distorção harmônica total	2,5	2,5	2,5	5,5	5,5	5,5

¹⁾ ou nível de saída máximo relevante do audiômetro, o que for menor

Se algum valor de DHT ultrapassar o máximo permissível deve-se declarar tal fato no certificado ou relatório de calibração do audiômetro, ver item 5.2.9 – Apresentação dos resultados.

5.2.8 Incertezas de medição

Planilhas tais como a que estão no item 4.5 ajudam o operador a entender como é obtido o valor da incerteza a ser declarada. De qualquer forma, é interessante elaborar um procedimento de cálculo de incertezas em separado, e/ou incluir a planilha do cálculo no procedimento de calibração com instruções breves sobre como executar os cálculos, quando for necessário.

Os valores das incertezas a serem declarados no certificado ou relatório de calibração de audiômetros se referem aos NPS, às frequências medidas, e às taxas de distorção harmônica. A primeira incerteza foi calculada no item 4.5, as outras foram estimadas através de dados obtidos por intercomparação laboratorial, ver capítulo 6 e procedimento de calibração no anexo 9.2.

5.2.9 Apresentação dos resultados

É recomendável apresentar as informações da calibração similares as que estão nos modelos de certificados apresentados nos anexos 9.1 e 9.3. Desde a identificação do solicitante da calibração e do audiômetro até a declaração de incerteza, incluindo também as observações sobre conformidade dos resultados.

Alguns aspectos são fundamentais para apresentar os resultados de medição em um relatório ou certificado de calibração de audiômetro com qualidade e de fácil entendimento:

- Informar quais foram as características do audiômetro que foram avaliadas, por exemplo:
 - Medição de desvios nas amplitudes
 - Avaliação da linearidade do atenuador
 - Medição de distorção harmônica
 - Medição de desvios nas frequências
- Informar condições ambientais relativas à calibração;
- Apresentar os níveis de audição medidos em forma de desvios em relação aos valores nominais, citando tolerâncias máximas, a declaração da incerteza de medição global desses níveis, e a declaração (ou observação) “de acordo” ou “não de acordo” com a norma¹⁰⁹;
- Apresentar os valores de distorção harmônica total em percentual, citar as tolerâncias admitidas, a incerteza de medição, e se os valores estão de acordo com a norma;
- Apresentar os desvios resultantes das medições de frequência, em percentual, citando a tolerância normalizada em função da classificação, por tipo, do audiômetro testado. Informar também a incerteza dessas medições, em percentual, e observação afirmando se os resultados estão de acordo, ou não, com a norma;
- Apresentar os desvios máximos de linearidade relativos a cada frequência, a tolerância normalizada e a incerteza de medição para esses desvios; e observação sobre a conformidade ou não desses resultados diante da tolerância normalizada.

¹⁰⁹ IEC 645-1 [23] ou ANSI S3.6 [1].

6 Ensaaios de intercomparação. Avaliando a rastreabilidade

Para que medições sejam metrologicamente válidas deve-se manter uma cadeia contínua de rastreabilidade ao longo do tempo. Em medições de NPS o calibrador de nível sonoro¹¹⁰ funciona como um elo para manter essa cadeia de rastreabilidade, por isso deve ser calibrado periodicamente. Além disso, é importante efetuar a comparação dos resultados obtidos entre diferentes laboratórios do parâmetro final em questão, o nível de audição (NA), entre outros parâmetros. São motivos que levaram o LAETA a incentivar o planejamento de futuras intercomparações de calibração de audiômetros entre vários laboratórios privados no Brasil. O planejamento está em andamento desde 2001, com datas de circulação previstas para 2002 e 2003.

A figura 5.5 exemplifica a hierarquia da cadeia de rastreabilidade. O nível mais alto da hierarquia apresenta o menor valor de incerteza de medição associado.

No contexto desse trabalho foi realizada uma intercomparação laboratorial visando o estudo das diferenças de desempenho entre equipamentos do LARI e do LAETA. Os ensaios envolveram apenas os parâmetros de calibração de audiômetros, e foi utilizado apenas um audiômetro como padrão. Essa intercomparação se desenvolveu da seguinte maneira, um audiômetro Interacoustics modelo AD25 e o sistema de calibração de audiômetros Larson

¹¹⁰ Além do NPS o calibrador de nível sonoro também é calibrado em função da frequência do sinal que ele gera.



Figura 5.5 - Esboço da hierarquia na cadeia de rastreabilidade entre o INMETRO e o LARI – UFSC

Davis modelo 824 foram transportados até o LAETA, onde esse audiômetro teve seus parâmetros avaliados pelos sistemas de medição de ambos os laboratórios. Os ensaios ocorreram na mesma sala durante quatro dias consecutivos em junho de 2001.

Parte dos resultados da intercomparação podem ser vista na tabela 6.1 onde estão os valores dos desvios em relação aos valores nominais de NA. São somente relativos ao fone esquerdo, mas a amostragem é significativa e analisa quase todas as frequências usadas em audiometrias¹¹¹. A tabela 6.1 mostra a mais ampla faixa de níveis de audição que foi possível obter, em passos de 5 dB.

Observando a tabela 6.1 pode-se notar que a maioria dos resultados obtidos através do equipamento do LARI alcançou valores ligeiramente maiores. Após discussão entre ambos operadores dos sistemas de calibração conclui-se que o posicionamento do fone de ouvido durante a primeira seqüência de medições do LAETA não foi adequada o suficiente. O posicionamento do fone de ouvido tem caráter aleatório, por parte do operador, mas ocasionou queda sistemática dos valores resultantes. A prova desse fato está apresentada na tabela 6.2 onde temos resultados de medições repetitivas que foram executadas pelo LAETA em algumas frequências e níveis previamente definidos. As medições (*1ª med* até *4ª med*) foram executadas em dias consecutivos e em condições de repetitividade.

¹¹¹ Exceto 125, 750 e 1500 Hz, frequências que não podem ser gerados pelo audiômetro Interacoustics AD 25.

Tabela 6.1

Comparação dos desvios (dB), audiômetro modelo AD 25, fone esquerdo (TDH 39)																
Frequência (Hz)																
Nível (dB NA)	250		500		1000		2000		3000		4000		6000		8000	
	LARI	LAETA														
120			0,2	0,0	0,4	0,2	0,1	-0,3	-0,3	-0,9	0,0	-1,2	-0,4	-1,6		
115			0,7	0,4	0,7	0,5	0,3	0,0	0	-0,5	0,3	-0,9	0,2	-1,0		
110	-0,4	-0,6	0,5	0,3	0,6	0,3	0,2	-0,2	-0,2	-0,7	0,2	-1,1	0,2	-1,0		
105	0,2	0,0	0,7	0,4	0,7	0,5	0,3	-0,1	-0,1	-0,6	0,3	-1,0	0,3	-0,8		
100	0,2	0,0	0,7	0,4	0,7	0,5	0,3	-0,1	0,0	-0,6	0,3	-0,9	0,4	-0,8	0,9	-1,7
95	0,4	0,2	0,9	0,6	1,0	0,7	0,5	0,1	0,2	-0,4	0,5	-0,8	0,6	-0,6	1,1	-1,4
90	0,4	0,2	0,7	0,4	0,7	0,5	0,2	-0,1	-0,2	-0,6	-0,1	-0,9	-0,7	-0,8	-0,8	-1,6
85	0,6	0,4	0,8	0,5	0,8	0,6	0,3	0,0	-0,1	-0,5	0,0	-0,9	-0,5	-0,7	-0,7	-1,6
80	0,4	0,2	0,7	0,4	0,7	0,5	0,2	-0,1	-0,2	-0,6	-0,1	-1,0	-0,6	-0,9	-0,7	-1,5
75	1,0	0,3	1,5	1,1	1,5	1,3	1,0	0,6	0,5	0,2	0,7	-0,2	0,2	-0,1	0,0	-0,9
70	1,0	0,2	1,3	0,9	1,3	1,1	0,8	0,5	0,3	0,0	0,5	-0,4	0,0	-0,3	-0,2	-1,1
65	1,1	0,4	1,4	1,1	1,4	1,2	0,9	0,6	0,5	0,1	0,6	-0,3	0,1	-0,2	-0,1	-0,9
60	0,9	0,2	1,3	1,0	1,3	1,1	0,8	0,5	0,3	0,0	0,5	-0,4	0,0	-0,3	0,0	-0,9
55	1,1	0,4	1,5	1,2	1,5	1,3	1,0	0,7	0,6	0,2	0,7	-0,2	0,2	0,0	0,2	-0,7
50	1,0	0,4	1,3	1,0	1,3	1,1	0,9	0,5	0,4	0,0	0,5	-0,3	0,0	-0,2	0,0	-0,9
45	1,2	0,6	1,4	1,1	1,5	1,2	1,0	0,6	0,5	0,1	0,7	-0,2	0,1	-0,1	0,1	-0,8
40	1,0	0,4	1,4	1,1	1,5	1,2	1,0	0,7	0,5	0,2	0,7	-0,2	0,2	-0,1	0,0	-0,9
35	1,1	0,5	1,0	1,3	1,7	1,4	1,2	0,8	0,8	0,4	0,9	0,0	0,4	0,1	0,2	-0,7
30	1,1	0,4	0,8	1,2	1,5	1,2	1,0	0,7	0,6	0,2	0,7	-0,2	0,2	0,0	0,0	-0,8
25	1,3	0,7	0,9	1,3	1,6	1,4	1,1	0,8	0,7	0,3	0,8	0,0	0,3	0,1	0,2	-0,7
20	1,1	0,5	0,8	1,3	1,5	1,3	1,1	0,7	0,6	0,3	0,8	-0,1	0,3	0,0	0,3	-0,9
15	1,3	0,7	1,0	1,5	1,8	1,6	1,3	1,0	1,0	0,5	1,1	0,2	0,6	0,4	0,4	-0,5
10	1,2	0,9	0,9		1,7		1,2	1,0	0,9	0,5	1,1	0,2	0,6	0,3	0,3	-0,6
5		1,6												0,7	0,6	
0		1,2														

Tabela 6.2

Medições LAETA – Audiômetro modelo AD 25, fone esquerdo (TDH 39)													
Freq. (Hz)	250				1000				6000				
Nível (dB NA)	1ª med	2ª med	3ª med	4ª med	1ª med	2ª med	3ª med	4ª med	1ª med	2ª med	3ª med	4ª med	
110	-0,6	-0,1	-0,3	-0,2	0,3	0,3	0,7	0,8	-1,0	-0,6	-0,4	-0,3	
90	0,2	0,4	0,4	0,6	0,5	0,9	0,8	0,9	-0,8	-0,4	-0,2	-0,2	
70	0,2	1,0	1,0	1,1	1,1	1,4	1,4	1,5	-0,3	0,1	0,3	0,4	
50	0,4	1,1	1,0	1,1	1,1	1,5	1,5	1,5	-0,2	0,1	0,4	0,4	
30	0,4	1,3	1,2	1,3	1,2	1,6	1,6	1,6	0,0	0,3	0,6	0,6	

Objetivando avaliação mais significativa em função das médias das medições em determinados “pontos” de medição foi elaborada a tabela 6.3¹¹². Com base na ordem de grandeza das incertezas expandidas encontradas no contexto dos laboratórios LARI e

¹¹² LAETA: executou quatro conjuntos de medições. LARI: três conjuntos de medições.

LAETA, em torno de $\pm 0,6$ a $\pm 0,8$ dB, e observando os valores na tabela 6.3, é possível afirmar que a intercomparação alcançou resultados compatíveis com os conhecimentos teóricos estudados em metrologia científica.

Tabela 6.3

Comparação entre as médias dos desvios – Audiômetro modelo AD 25, fone esquerdo (TDH 39)						
Freq. (Hz)	250		1000		6000	
Nível (dB NA)	LAETA	LARI	LAETA	LARI	LAETA	LARI
110	-0,30	-0,30	0,48	0,63	-0,55	0,17
90	0,45	0,40	0,73	0,77	-0,37	-0,70
70	0,85	0,90	1,30	1,30	0,15	-0,07
50	0,90	0,90	1,35	1,30	0,20	-0,10
30	1,05	1,00	1,45	1,47	0,40	0,10

Infelizmente a calibração da via óssea do audiômetro, vibrador ósseo, através da mastóide artificial modelo AMC493¹¹³ se mostrou problemática. Os valores resultantes das medições não proporcionaram a exatidão esperada quando comparados com os resultados do LAETA que é considerado laboratório de referência, ver tabela 6.4. Esse fato é um forte indicativo da necessidade de trocar o elemento mastóide artificial¹¹⁴ por outro modelo que tenha desempenho superior.

Tabela 6.4

Comparação entre médias dos desvios – Audiômetro modelo AD 25, vibrador ósseo (B-71)						
Freq. (Hz)	250		1000		6000	
Nível (dB NA)	LAETA	LARI	LAETA	LARI	LAETA	LARI
70			-5,7	-2,4		
50			-5,7	-2,2	-17,1	-12,3
30	2,6	4,6	-5,7	-2,2	-16,9	-12,4
10	2,4	4,3	-5,6	-1,8	--	-9,5

A comparação dos resultados de medições de frequências, tabela 6.5, revelou que o grau de concordância desse tipo de medição é muito superior diante da medição de outras grandezas estudadas nesse trabalho. Os desvios de frequência calculados na faixa de 250 a 4000 Hz estão entre 0,025 % até 0,050 % aproximadamente. O que é extremamente coerente com a incerteza de 0,1 % declarada pelo LAETA no modelo de certificado de calibração de audiômetros no anexo 9.1.

¹¹³ O exemplar utilizado foi fabricado em 1999, e segundo o fabricante deve ser substituído anualmente porque há mudanças no material sintético, tais como endurecimento do mesmo.

¹¹⁴ Também chamado acoplador mecânico.

Com relação às medições de distorção harmônica e cálculos de distorção harmônica total foram obtidos resultados coerentes até 2 kHz, a partir de 3 kHz os valores obtidos pelo equipamento do LARI resultaram significativamente menores que os do LAETA. Uma das possíveis causas é o fato da correção da resposta em frequência do microfone além de 10 kHz, onde foram utilizados valores de um certificado antigo¹¹⁵. Importante lembrar que o harmônico de quarta ordem da frequência de 3 kHz são 12 kHz. Essa última frequência está além da faixa do certificado do microfone de medição mostrado no anexo 9.5. Sendo interessante solicitar futuramente a calibração do microfone na faixa de frequência até 12 kHz.

Tabela 6.5

Comparação dos resultados das medições de frequências e distorção harmônica do audiômetro modelo AD 25						
Frequência nominal (Hz)	Frequência medida (Hz)		Amplitude utilizada (dB NA)	Distorção harmônica total (%)		
	LAETA	LARI		Via	LAETA	LARI
250	251,0	251,1	75	Esq	0,10	0,0
			20	Dir	0,10	0,0
				Óssea	7,75	6,9
500	501,7	501,9	110	Esq	0,10	0,1
			50	Dir	0,10	0,1
				Óssea	0,91	0,7
1000	1001,4	1001,7	110	Esq	0,28	0,3
			60	Dir	0,28	0,2
				Óssea	0,60	0,5
2000	2020,0	2021,0	110	Esq	0,70	0,6
			60	Dir	0,53	0,4
				Óssea	0,25	0,3
3000	2996,0	2997,0	110	Esq	0,37	0,1
			60	Dir	0,34	0,2
				Óssea	0,10	0,1
4000	4054	4055,0	110	Esq	0,48	0,1
			60	Dir	0,48	0,2
				Óssea	0,10	0,2
6000	x	6011,0	-----			
8000	x	7972,0	-----			

¹¹⁵ Certificado de calibração interna do laboratório do fabricante, Larson Davis. Faixa de calibração de 20 Hz a 20 kHz.

7 Considerações finais

O estudo da calibração de audiômetros do ponto de vista enfatizado nesse trabalho é extremamente multidisciplinar, envolve conhecimentos específicos das áreas de acústica, metrologia e também fonoaudiologia. E, apesar dos desafios e diversidade de assuntos, foi encontrado êxito através da união de esforços e conhecimentos necessários.

Foi alcançado um grande sucesso que é atribuído ao cálculo de incertezas feito em 3.5, que obteve valores coerentes com a ordem de grandeza das incertezas estudadas e declaradas por outros laboratórios. Esse estudo científico da quantificação da incerteza de medição será de grande valia para a iniciativa privada, contando com diversos laboratórios ainda desejosos de se engajarem na busca do credenciamento na Rede Brasileira de Calibração. Será uma nova rede que ainda não tem nenhum membro. E sem dúvida esse trabalho de mestrado é um passo fundamental, não somente pelo aspecto acadêmico mas também pelo conteúdo experimental.

Outro ponto positivo ocorreu no aspecto da rastreabilidade da calibração de audiômetros pela via aérea, fones de ouvidos. Após meses de empenho em planejamento, experimentos e análise de resultados, houve satisfação e encorajamento diante desses resultados. Isso abre os caminhos para implementação cada vez mais completa e eficaz da calibração na área de audiômetros, com atendimento aos requisitos de qualidade. Sabe-se que o caminho é longo até alcançar a qualidade exigida de um laboratório de calibração, mas esses

primeiros passos são como uma base de crescimento de todo o sistema da qualidade, pelo menos na parte técnica.

A comparação laboratorial revelou-se extremamente útil. Tanto para mostrar os pontos positivos quanto para mostrar os pontos negativos que deverão ser melhorados. Um dos pontos fracos revelados durante a análise dos resultados experimentais diz respeito principalmente ao acoplador mecânico modelo AMC493, porque os desvios aleatórios e sistemáticos encontrados estão além do esperado. Devido a essa circunstância será necessário adquirir um acoplador mecânico com as características e desempenho metrológico compatível com as exigências do LAETA / INMETRO para prosseguir os trabalhos de calibração da via óssea de audiômetros no LARI.

Os resultados da quantificação da distorção harmônica total, especificamente em frequências mais elevadas, deixaram a desejar. Essa questão está ligada à falta de calibração do microfone em frequências além de 10 kHz. Será importante desenvolver mais estudos de intercomparação sobre os critérios de medição e cálculos de distorção harmônica. A primeira atitude que deve ser tomada é solicitar que as calibrações do microfone sejam feitas em faixas de frequências maiores, 12 kHz por exemplo.

Futuramente durante o processo de credenciamento provavelmente haverá um impasse de ordem técnica. A utilização da grade de proteção do microfone de medição ainda causa divergências entre o LAETA e outros laboratórios. De fato o microfone para uso em campo de pressão, quando usado em cavidades fechadas, é projetado para funcionamento otimizado sem a sua grade de proteção. Porém ficará mais vulnerável aos impactos e possíveis danos. Outro fato, durante a intercomparação citada nesse trabalho o acoplador acústico do LARI utilizou microfone com sua grade de proteção. Isso pode ter levado a diminuição dos NPS medidos em frequências mais elevadas. Assim explicaria as diferenças da ordem entre 0,2 a 0,3 dB na tabela 6.3 em 6000 Hz, onde os resultados do LARI foram na sua maioria ligeiramente inferiores. Seja como for, os fatos estão apresentados e a questão ainda está aberta para novos debates.

Apesar do uso de linguagem técnica espera-se que o conteúdo do trabalho seja esclarecedor sobre a questão da utilidade do certificado de calibração do audiômetro por parte do profissional de fonoaudiologia. Enfatizando que os resultados de audiometrias podem e devem ser corrigidos segundo os desvios dos níveis de audição contidos no certificado de cada aparelho. A não ser que os desvios encontrados especificamente naquele audiômetro

sejam muito próximos de zero, por exemplo desvios menores que $\pm 0,5$ ou $\pm 1,0$ dB, dependendo dos critérios de avaliação do fonoaudiólogo e do passo do audiômetro em questão.

A automatização da calibração através de microcomputador e *software* apresentou aspectos bons e ruins. O tempo empregado no serviço de calibração é reduzido. Entretanto o *software*, fornecido pelo fabricante do sistema, ainda precisa ser atualizado para conseguir gravar todos os dados necessários. Essa falta de compatibilidade entre *software* e os requisitos de gravação e manipulação dos resultados das medições tornou-se um empecilho na elaboração do procedimento de calibração de audiômetros. Esse fato, até o momento, faz com que o operador seja mais exigido durante os serviços de calibração.

Espera-se que as futuras intercomparações laboratoriais, que ainda estão em fase de planejamento, também tenham sucesso. Vários laboratórios participarão, entre eles o LARI estará engajado neste processo, o qual certamente requer estudos acadêmicos tais como esse trabalho de mestrado.

Certamente os assuntos relacionados com calibração de audiômetros e seus parâmetros metrológicos não estão encerrados nesse trabalho. Há diversos temas que podem ser indicados para fazer partes de estudos futuros. Por exemplo, a calibração do acoplador acústico não foi possível até este momento, o LAETA não calibra, mas é considerado viável desenvolver um estudo baseando-se na norma IEC 60318-3 e equações de impedância de cavidades dadas pela norma IEC 61094-2. A calibração de audiômetros por via óssea, através de acoplador mecânico merece novos estudos, principalmente porque o acoplador que foi utilizado deve ser substituído por outro modelo mais adequado. E com relação a calibração de audiômetros por via aérea devem ser pesquisadas outras possíveis fontes de incertezas, tais como influência dos filtros de bandas de terço de oitava. Os filtros passa-banda dos medidores de NPS tem frequências centrais diferentes das frequências utilizadas em audiometrias, isso pode causar desvios nas medições dos NPS.

Nesse trabalho a calibração por via aérea envolveu apenas fones de ouvido supra-aurais. Existem outros tipos de fones, tais como os circumaurais e de inserção, e existem acopladores específicos para cada tipo de fone. Estudos futuros devem procurar detalhar mais as características de desempenho metrológico de cada tipo e/ou modelo de fone de ouvido utilizado em audiômetros.

8 Referências bibliográficas

- [1] AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE, INC. **ANSI S3.6-1996 – Specification for audiometers**. Standards Secretariat Acoustical Society of America, 120 Wall Street, 32nd floor, New York, New York 10005-3993.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração**, NBR ISO/IEC 17025. Rio de Janeiro, jan 2001. 20p.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS; INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (INMETRO); SOCIEDADE BRASILEIRA DE METROLOGIA, publicação conjunta. **Versão brasileira do documento de referência EA-4/02, Expressão da incerteza de medição na calibração**. 1999, ISBN 85-86768-04-9.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS; INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (INMETRO); SOCIEDADE BRASILEIRA DE METROLOGIA. **Guia para expressão da incerteza de medição**. Segunda edição em língua portuguesa, 1998, Rio de Janeiro – RJ. ISBN 85-86-768-03-0
- [5] BERGER, E. H., WARD, W. D., MORRILL, J. C. e ROYSTER, L.H. *Hearing measurement, Noise and hearing conservation manual*, American Industrial Hygiene Association, 475, Wolf Legdges Parkway, Akron, Ohio, 1986. Páginas. 57, 262, 264 a 268. ISBN 0932627-21-8.
- [6] BRASIL. Portaria 19, de 9 de abril de 1998, Diretrizes e parâmetros mínimos para avaliação e acompanhamento da audição em trabalhadores expostos a níveis de pressão sonora elevados, **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, ago. 1998.
- [7] BRASIL. Portaria 29, de 10 de março de 1995, Altera os termos do Art. 1º da Portaria nº 102, de 10 de junho de 1988; adota, no Brasil, a nova versão do Vocabulário de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia.. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, n. 55, páginas 3.836 a 3.841, 21 mar 1995. Também publicado pelo INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (INMETRO). **Vocabulário de termos fundamentais e gerais de metrologia**, Duque de Caxias, RJ, 1995.
- [8] BRASIL. Portaria 102, de 10 de junho de 1988.
- [9] BRÜEL & KJÆR. **Sound level calibrator type 4230**. *World headquarters: DK-2850 Nærum, Denmark*, <<http://www.bk.dk>>.

-
- [10] BRÜEL & KJÆR. **Artificial ear type 4152**. Junho de 1977. *World headquarters: DK-2850 Nærum, Denmark*.
- [11] BRÜEL & KJÆR. **Condenser microphones and microphones preamplifiers, theory and application handbook**. P 73 a 91, maio 1977. *World headquarters: DK-2850 Nærum, Denmark*, <<http://www.bk.dk>>.
- [12] CERTI; LABMETRO. **Elaboração de procedimentos de calibração e/ou ensaios**, Florianópolis abril de 2001, Apostilado do curso CM-187, p. 8.
- [13] FERREIRA, Aurélio B. H. **Dicionário Aurélio da língua portuguesa**. 3ª ed., Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1993. ISBN 85-209-0466-1
- [14] GAYFORD, M. L. **Acoustical techniques and transducers**. Macdonald and Evans Ltd, 8 Jonh Street, London Wci, 1961.
- [15] GERGES, Samir N. Y. **Ruído Fundamentos e Controle**, 2ª ed. 2000, p. 6.
- [16] HAN, L. A., POULSEN, T. **Equivalent threshold sound pressure levels for Sennheiser HDA 200 earphone and Etymotic Research ER-2 insert earphone in the frequency range 125 Hz to 16 kHz**. *Scand Audiol* 1998:27:105-12. *Department of Acoustic Technology, Building 352 DTU, DK-2800 Lyngby, Denmark*. (E-mail tp@dat.dtu.dk)
- [17] HODGSON, W. R. **Basic audiologic evaluation**, Willians and Wilkins Company, Baltimore, MD.
- [18] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (INMETRO). Página da Internet, endereço: <<http://www.inmetro.gov.br>> (julho de 2001).
- [19] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (INMETRO). **NIT-DICLA-021**. Rede Internet, 19/11/2001, endereço: <http://www.inmetro.gov.br/kits/nitdicla021rev01.pdf>
- [20] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (INMETRO). Rede Internet, 18/09/2001, serviços de calibração do Laboratório de eletroacústica, endereço: <http://www.inmetro.gov.br/servicos/calibDiavi.asp#LAETA>
- [21] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC / CD 61094-5 "Measurement microphones – Part 5: Methods for pressure calibration of working standard microphones by comparison"**. *Committee draft (CD)*. Esboço de norma sujeito a modificações, data de circulação: 25/06/1999.
- [22] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **Electroacoustics - Sound calibrators**, IEC 60942, primeira edição 1992. <<http://www.iec.ch/webstore/>>
- [23] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 645-1. Audiometers – Part 1 Pure-tone audiometers**. Primeira edição 1992. <<http://www.iec.ch/webstore/>>
- [24] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 373. Mechanical coupler for measurements on bone vibrators**. Segunda edição 1990.
- [25] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **Sound level meters**. IEC 60651, primeira edição 1979.

-
- [26] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 389-1. Acoustics – Reference zero for the calibration of audiometric equipment – Part 1: Reference equivalent threshold sound pressure levels for pure tones and supra-aural earphones.** Primeira edição 1998.
- [27] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 389-4. Acoustics – Reference zero for the calibration of audiometric equipment – Part 4: Reference levels for narrow band masking noise.** Primeira edição 1994.
- [28] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 389-1. Acoustics – Reference zero for the calibration of audiometric equipment – Part 3: Reference equivalent threshold force levels for pure tones and bones vibrators.** Primeira edição 1994.
- [29] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 8253-1 – Acoustics - Audiometric test methods – Part 1: Basic pure tone air and bone conduction threshold audiometry.** Primeira edição 1989.
< <http://www.iec.ch/webstore/>>
- [30] KINSLER, Lawrence E., *at alli*, **Fundamentals of acoustics**, 3ª ed. 1982, John Wiley & Sons. ISBN 0-471-02933-5
- [31] LARSON DAVIS INCORPORATED. **Audiometer calibration system user manual.** 1681 West 820 North, Provo, UT 84601-1341, 24 jun 1999, <www.larsondavis.com>, <www.lardav.com>.
- [32] NATIONAL PHYSICAL LABORATORY. **NPL acoustics: calibration of audiometric equipment.** <<http://www.npl.co.uk/npl/acoustics/services/audiometry.html>> (fevereiro de 2001).
- [33] NATIONAL SEMICONDUCTOR. **LM117 / LM317A / LM317, 3-Terminal adjustable regulator.** Na rede Internet, setembro de 2001. Endereço: <http://www.national.com/ds/LM/LM117.pdf>
- [34] RUSSO, Iêda C. P. e SANTOS, Teresa. M. **A prática da audiologia clínica.** 4ª edição, Cortez, 1993. ISBN 85-249-0056-3.
- [35] SPEECH HEARING AND LANGUAGE RESEARCH CENTRE. Página da rede Internet, endereço: <<http://www.shlrc.mq.edu.au/~calaghan/ctcframed.htm>>, julho de 2001.
- [36] WILBER, Laura Ann. **Calibration, puretone, speech and noise signals, Handbook of clinical audiology - Fourth edition**, Jack Katz (ED) (Williams & Wilkins, Baltimore), p. 73 - 96, 1994.

9 Anexos

9.1 Modelo de certificado de calibração de audiômetros do LAETA / INMETRO

República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

LAETA XXX/2001
Número do Certificado
Certificate Number

Solicitante do Serviço

Customer

Nome: XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

Name

Endereço: XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

Address

Identificação do Instrumento de Medição / Padrão

Measurement Instrument/Standard Identification

Instrumento de Medição/Padrão: AUDIÔMETRO

Instrument/Standard

Fabricante: XXXXXX

Manufacturer

Modelo/Tipo: XXXX

Model/Type

Número de Série: XXXX

Serial Number

Informações Administrativas Pertinentes à Calibração

Administrative Information Concerning Calibration

Processo INMETRO: XXXXX

INMETRO Register

Data da Calibração: XXXX

Calibration Date

Laboratório Responsável pela Calibração: Laboratório de Eletroacústica - LAETA

Laboratory Responsible for the Calibration

XX/XX/01

Data da Emissão
do Certificado

Issued on

José Augusto Azevedo
Chefe da Divisão de Acústica e Vibração
Head of Division of Acoustics and Vibration

O presente certificado de calibração atende aos requisitos do ABNT-ISO/IEC-Guia 25:1993 e é válido apenas para o instrumento de medição/padrão acima caracterizado, não sendo extensivo a quaisquer outros instrumentos de medição, ainda que similares. A calibração baseou-se em medições diretamente rastreadas aos padrões metrológicos nacionais do Brasil. Este certificado de calibração somente pode ser reproduzido em sua forma integral; reproduções parciais devem ser previamente autorizadas pelo INMETRO.

This certificate complies with the requirements of ABNT-ISO/IEC-Guide 25:1993 and applies to the above mentioned measurement instrument/standard and can not be extended to any other measurement instrument, even similar ones. The calibration performed was based upon measurement directly traceable to the Brazilian metrological national standards. This certificate can only be reproduced in full version; partial reproductions require previous consent of INMETRO.

Características do Instrumento de Medição/Padrão
Measurement Instrument/Standard Characterization

- Medição de Linearidade
- Medição de desvios na Amplitude
- Medição de Distorção Harmônica
- Medição de desvios na Frequência

Informações Pertinentes à Calibração
Information Concerning Calibration

Instrumentação utilizada/padrões

- Amplificador de Medição B&K 2636 – N° de série 962182
- Filtro de 1/3 de Oitavas B&K 1617 – N° de série 2062596
- Ouvido Artificial B&K 4152 - N° de série 947082
- Mastóide Artificial B&K 4930 - N° de série 1544424
- Contador Universal HP 5315A - N° de série 947082
- Pré-Amplificador B&K 2627 - N° de série 0953745
- Microfone B&K 4144 - N° de série 0953745
- Analisador de Sinais HP 3561A - N° de série 2916A06690
- Multimetro HP 3458A - N° de série 2823A16965
- Termo-higrômetro Minipa-1360 - N° de série 609
- Barômetro B&K UZ0003

Condições ambientais

- Temperatura : **21,9 °C**
- Umidade relativa : **58,3 %**
- Pressão atmosférica : **1024 mbar**

Método de Calibração
Calibration Method

SEGUNDO NORMA IEC 60645-1 (1992)

Após ligada toda a instrumentação e decorrido um período de warm-up (aquecimento), coloca-se o fone de ouvido do audiômetro sobre o ouvido artificial exercendo-se sobre o mesmo uma força entre 4,0 N e 5,0 N, possibilitando assim que os sinais sonoros gerados pelo audiômetro possam ser analisados através do instrumental descrito acima. Para a leitura dos sinais relativos a condução óssea, coloca-se o transdutor ósseo sobre uma mastóide artificial com força de aplicação estática de 5,4 N. Os testes realizados no audiômetro são: desvios de linearidade, desvios de amplitude na condução aérea, desvios de frequência e distorção harmônica. Todos os ensaios realizados no audiômetro obedecem às recomendações da norma IEC 60645-1(1992).

Nelson Melo E. Santo
Responsável pela Calibração
Responsible for Calibration

Walter E. Hoffmann
Chefe do Laboratório de Eletroacústica
Head of Electroacoustics Laboratory

Resultados e Declaração da Incerteza
 Results and Uncertainties

Tabela de resultados do ensaio de amplitude na condução aérea (fone esquerdo)

Desvios medidos (dB HL)												
Posição do atenuador (dB HL)	Frequências(Hz)											
	125	250	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000	
120	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
115	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
110	***	***	11,2	-1,5	-1,4	-1,9	-0,4	1,0	-1,2	***	***	***
105	***	***	12,7	0,2	0,2	-0,3	1,2	2,4	0,3	***	***	***
100	***	***	13,5	0,8	0,8	0,3	1,9	3,1	1,0	6,5	***	***
95	***	***	14,2	4,4	1,5	0,9	2,5	3,8	1,7	7,0	***	***
90	***	5,6	12,3	-0,4	-0,5	-1,0	0,6	1,8	-0,2	5,1	1,7	1,7
85	***	5,2	12,9	0,1	0,1	-0,4	1,1	2,3	0,2	5,5	1,1	1,1
80	***	5,1	13,1	0,3	0,3	-0,2	1,3	2,5	0,4	5,7	0,9	0,9
75	***	5,0	13,1	0,4	0,4	-0,2	1,4	2,5	0,5	5,7	0,9	0,9
70	0,6	5,0	13,1	0,4	0,4	-0,1	1,4	2,6	0,5	5,8	0,9	0,9
65	-0,5	5,1	13,2	0,5	0,4	-0,1	1,5	2,6	0,5	5,8	0,9	0,9
60	-0,6	5,1	13,3	0,5	0,5	-0,1	1,5	2,7	0,6	5,8	1,0	1,0
Desvios máximos admitidos (dB)	± 3,0	± 3,0	± 3,0	± 3,0	± 3,0	± 3,0	± 3,0	± 3,0	± 3,0	± 3,0	± 5,0	± 5,0

Incerteza de medição : 0,8 dB

OBS : Existem desvios nesta tabela que excedem os limites máximos admitidos pela norma IEC 60645-1 .

Nelson Melo E. Santo
 Responsável pela Calibração
 Responsible for Calibration

Walter E. Hoffmann
 Chefe do Laboratório de Eletroacústica
 Head of Electroacoustics Laboratory

Tabela de resultados do ensaio de amplitude na condução aérea (fone esquerdo)

Continuação

Desvios medidos (dB HL)											
Posição do atenuador (dB HL)	Frequências(Hz)										
	125	250	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000
55	-0,6	5,1	13,2	0,5	0,5	0,0	1,5	2,7	0,6	5,8	1,0
50	-0,6	5,2	13,3	0,5	0,5	0,0	1,5	2,7	0,6	5,9	1,0
45	-0,6	5,2	13,3	0,5	0,6	0,0	1,5	2,7	0,6	5,9	1,0
40	-0,6	5,2	13,3	0,5	0,5	0,0	1,5	2,7	0,6	5,9	1,0
35	-0,7	5,1	13,3	0,5	0,5	0,0	1,5	2,7	0,6	5,9	1,0
30	-0,8	5,1	13,3	0,5	0,5	-0,1	1,0	2,7	0,6	5,7	1,1
25	-0,7	5,1	13,3	0,5	0,4	0,0	1,5	2,7	0,6	5,8	1,1
20	-0,8	5,1	13,3	0,5	0,6	0,0	1,6	2,8	0,8	6,0	1,2
15	-0,7	5,1	13,3	0,5	0,6	0,0	1,4	2,8	0,8	5,9	1,2
10	-0,8	5,1	13,3	***	0,6	0,0	1,2	2,9	1,0	6,1	1,2
5	***	4,8	13,5	***	***	***	***	3,0	***	6,0	1,4
0	***	5,1	***	***	***	***	***	***	***	5,9	***
Desvios máximos admitidos (dB)	± 3,0	± 3,0	± 3,0	± 3,0	± 3,0	± 3,0	± 3,0	± 3,0	± 3,0	± 5,0	± 5,0

Incerteza de medição : 0,8 dB

OBS : Existem desvios nesta tabela que excedem os limites máximos admitidos pela norma IEC 60645-1 .

Nelson Melo E. Santo
 Responsável pela Calibração
Responsible for Calibration

Walter E. Hoffmann
 Chefe do Laboratório de Eletroacústica
Head of Electroacoustics Laboratory

Tabela de resultados do ensaio de amplitude na condução aérea (fone direito)

Desvios medidos (dB HL)												
Posição do atenuador (dB HL)	Frequências(Hz)											
	125	250	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000	
120	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
115	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
110	***	***	11,0	-1,5	-1,3	-1,2	-1,0	-1,1	-1,6	***	***	***
105	***	***	12,6	0,1	0,3	0,4	0,6	0,7	0,1	***	***	***
100	***	***	13,4	0,7	1,0	1,1	1,3	1,6	0,9	4,2	***	***
95	***	***	14,0	1,4	1,7	1,8	1,9	2,3	1,6	4,8	***	***
90	***	5,2	12,1	-0,5	-0,3	-0,1	0,0	0,4	-0,4	2,8	1,5	1,5
85	***	4,8	12,7	0,0	0,2	0,4	0,4	0,8	0,0	3,3	1,0	1,0
80	***	4,6	12,7	0,2	0,4	0,5	0,6	1,0	0,3	3,5	0,1	0,1
75	***	4,5	12,8	0,2	0,5	0,6	0,7	1,1	0,3	3,5	0,8	0,8
70	-0,1	4,5	12,9	0,3	0,5	0,6	0,7	1,1	0,4	3,5	0,8	0,8
65	-0,7	4,6	12,9	0,3	0,5	0,7	0,7	1,2	0,4	3,6	0,8	0,8
60	-1,0	4,6	13,0	0,3	0,6	0,7	0,8	1,2	0,4	3,6	0,9	0,9
Desvios máximos admitidos (dB)	± 3,0	± 3,0	± 3,0	± 3,0	± 3,0	± 3,0	± 3,0	± 3,0	± 3,0	± 3,0	± 5,0	± 5,0

Incerteza de medição : 0,8 dB

OBS : Existem desvios nesta tabela que excedem os limites máximos admitidos pela norma IEC 60645-1 .

Nelson Melo E. Santo
 Responsável pela Calibração
Responsible for Calibration

Walter E. Hoffmann
 Chefe do Laboratório de Eletroacústica
Head of Electroacoustics Laboratory

Tabela de resultados do ensaio de amplitude na condução aérea (fone direito)

Continuação

Desvios medidos (dB HL)											
Posição do atenuador (dB HL)	Frequências(Hz)										
	125	250	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000
55	-1,0	4,6	13,0	0,3	0,6	0,7	0,8	1,2	0,4	3,6	0,9
50	-1,0	4,6	13,0	0,4	0,6	0,7	0,8	1,2	0,5	3,7	0,9
45	-1,0	4,6	13,0	0,4	0,6	0,7	0,8	1,2	0,5	3,6	0,9
40	-1,0	4,6	13,0	0,4	0,6	0,7	0,8	1,2	0,5	3,7	1,0
35	-1,1	4,6	13,0	0,4	0,6	0,7	0,8	1,2	0,5	3,6	0,9
30	-1,1	4,6	12,9	0,4	0,6	0,7	0,8	1,2	0,5	3,7	1,0
25	-1,2	4,6	12,9	0,4	0,6	0,8	0,8	1,2	0,4	3,7	0,9
20	-1,1	4,6	13,0	0,4	0,6	0,8	0,8	1,3	0,6	3,8	1,0
15	-1,1	4,6	13,0	0,2	0,7	0,6	0,9	1,3	0,8	3,8	1,1
10	-1,2	4,5	13,1	0,5	0,7	0,8	0,9	1,4	***	3,7	1,3
5	***	4,6	13,1	***	***	***	***	1,7	***	3,8	1,4
0	***	4,9	***	***	***	***	***	***	***	3,7	***
Desvios máximos admitidos (dB)	± 3,0	± 3,0	± 3,0	± 3,0	± 3,0	± 3,0	± 3,0	± 3,0	± 3,0	± 5,0	± 5,0

Incerteza de medição : 0,8 dB

OBS : Existem desvios nesta tabela que excedem os limites máximos admitidos pela norma IEC 60645-1 .

Nelson Melo E. Santo
 Responsável pela Calibração
 Responsible for Calibration

Walter E. Hoffmann
 Chefe do Laboratório de Eletroacústica
 Head of Electroacoustics Laboratory

Tabelas de resultados do ensaio de Distorção Harmônica

Frequência (Hz)	Distorção harmônica medida (%)	Distorção harmônica medida (%)	Distorção máxima admitida pela norma (%)
	<i>Fone Esquerdo</i>	<i>Fone Direito</i>	
125	0,5	0,5	2,5
250	0,5	0,5	2,5
500	0,5	0,5	2,5
750	0,5	0,5	2,5
1000	0,5	0,5	2,5
1500	0,4	0,4	2,5
2000	0,7	0,7	2,5
3000	0,4	0,4	2,5
4000	0,3	0,3	2,5

Incerteza de medição : 0,1 %

OBS : Os desvios apresentados nestas tabelas estão de acordo com os limites máximos admitidos pela norma IEC 60645-1 .

Tabela de resultados do ensaio de Frequência

Frequência (Hz)	Desvios encontrados (%)	Desvios máximos admitidos pela norma (%)
125	-0,9	2,0
250	0,8	2,0
500	-1,5	2,0
750	-0,1	2,0
1000	-0,7	2,0
1500	-0,3	2,0
2000	-0,3	2,0
3000	5,0	2,0
4000	-0,2	2,0
6000	1,9	2,0
8000	3,4	2,0

Incerteza de medição : 0,1 %

OBS : Existem desvios nesta tabela que excedem os limites máximos admitidos pela norma IEC 60645-1 .

Nelson Melo E. Santo
Responsável pela Calibração
Responsible for Calibration

Walter E. Hoffmann
Chefe do Laboratório de Eletroacústica
Head of Electroacoustics Laboratory

Tabela de resultados do ensaio de Linearidade

Frequência (Hz)	Desvios máximos de linearidade medidos (dB)	Desvios máximos de linearidade medidos (dB)	Desvios máximos admitidos pela norma
	(Fone Esquerdo)	(Fone Direito)	(dB)
125	1,1	0,6	1,0
250	0,4	0,4	1,0
500	1,9	1,9	1,0
750	4,8	1,9	1,0
1000	2	2	1,0
1500	1,9	1,9	1,0
2000	1,9	1,9	1,0
3000	2	1,9	1,0
4000	1,9	2	1,0
6000	1,9	2	1,0
8000	0,6	0,9	1,0

Incerteza de medição : 0,8 dB

OBS : Existem desvios nesta tabela que excedem os limites máximos admitidos pela norma IEC 60645-1 .

*
*
*
*
*
*

Nelson Melo E. Santo
Responsável pela Calibração
Responsible for Calibration

Walter E. Hoffmann
Chefe do Laboratório de Eletroacústica
Head of Electroacoustics Laboratory

9.2 Procedimento de calibração de audiômetros proposto para uso no LARI / UFSC

LARI – Laboratório de Ruído Industrial

Procedimento para calibração de audiômetros

Palavra-chave: audiômetro

Sumário

1. Objetivo
 2. Campo de aplicação
 3. Documentos de referência
 4. Terminologia
 5. Equipamentos e materiais auxiliares necessários
 6. Condições ambientais
 7. Preparação e precauções
 8. Método
 9. Registros
 10. Análise dos resultados
 11. Incerteza de medição
 12. Apresentação dos resultados
 13. Apêndices
-

1 Objetivo

Definir e orientar a execução de calibração de audiômetros, desde a preparação até a emissão do relatório de calibração.

Obs. O objetivo específico da calibração é conhecer as seguintes características metrológicas:

- Valores dos níveis de audição (*hearing level*) dos tons puros;
- Linearidade do atenuador dos níveis de audição;
- Valores das frequências dos tons puros;
- Distorção harmônica dos tons puros;
- Níveis de ruído de banda estreita e de banda larga (opcional).

2 Campo de aplicação

Aplica-se na calibração de audiômetros de tons puros, com faixa de níveis de audição¹ de tons puros de 0 dB NA até 120 dB NA, e faixa de frequência de 125 Hz até 8000 Hz.

¹ Ver definição na seção 4 – Terminologia.

3 Documentos de referência

- NBR/IEC 645-1 Eletroacústica – Audiômetros de tom puro
- ISO 389-1/3/4 – *Reference zero for the calibration of audiometric equipment.*
- ISO 8253-1 – Acústica – Métodos de testes audiométricos. Parte 1 – Audiometria básica de limiar do tom puro aéreo e condução por via óssea.

4 Terminologia

- NPS: nível de pressão sonora;
- SMC: sistema de medição a calibrar; nesse caso específico o SMC é o audiômetro;
- SMP: sistema de medição padrão;
- NF: nível de força vibratória;
- NA: nível de audição.

Definição de **nível de audição** transcrita da norma NBR/IEC 645-1 subseção 3.12:

“Nível de audição de um tom puro: em uma frequência especificada, para um tipo específico de transdutor e para uma forma específica de aplicação, o nível de pressão sonora ou o nível de força vibratória deste sinal aplicado pelo transdutor em um acoplador acústico ou mecânico especificado ou em um ouvido artificial menos o nível de limiar equivalente de referência apropriado para condução aérea ou óssea, conforme aplicável (ver 3.8 da ISO 389-1).”

Outras definições segundo portaria nº 29 do INMETRO, Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia, e norma NBR/IEC 60645-1.

5 Equipamentos e materiais auxiliares necessários

- a) Fonte sonora padrão (calibrador sonoro) tipo 1 (ou também chamado classe 1), segundo requisitos da IEC 60942. Incerteza expandida associada ao nível de NPS gerado máxima de $\pm 0,3$ dB, frequência entre 200 Hz e 1250 Hz, e com nível de pressão sonora de 90 dB a 125 dB, entre outras condições normalizadas. E o respectivo certificado de calibração;

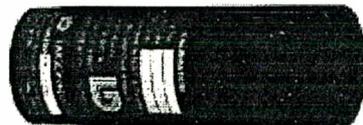


Figura 1 – Calibrador sonoro.

Obs. O calibrador fornecido no conjunto da Larson Davis tem circuito interno de compensação automática de NPS em função das variações de pressão atmosférica, por isso dispensa barômetro que seria usado na correção manual do valor de calibração. A faixa de pressão compensada está entre 400 mbar e 1100 mbar.

- b) Acoplador acústico (6 cm³).

Obs. O acoplador fabricado por *Larson Davis Company* denominado AEC100 corresponde ao modelo NBS 9A.



Fig.2 – Acoplador acústico, pré-amplificador, fone e peso.

- c) Microfone de medição capacitivo de uma polegada de diâmetro, pré-amplificador e medidor de nível de pressão sonora (com fonte retificadora de 110 volts *AC* / 9 volts *DC*), com respectivos certificados de calibração;
- d) Computador pessoal, com aplicativos de planilha e editor de textos; e para opção de medições automatizadas é necessário software de auxílio à calibração compatível com o medidor de NPS e cabo de comunicação serial.



Fig.3 – Um exemplo de medidor de NPS e acoplador acústico.

- e) Termômetro e higrômetro, com incertezas máximas em torno de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ e $\pm 5\%$ respectivamente, com seus certificados de calibração;
- f) Cabina acústica para atenuar ruído ambiente, se necessário, dimensões internas mínimas 40cm x 30cm x 30cm. Deve ser isolada de vibrações e ter orifício para passagem dos cabos dos fones, do vibrador ósseo e do pré-amplificador.
Obs. Sobre nível máximo de ruído permitido ver item 6.4.

- g) *No break online*, 1kVA mínimo, entrada 220 V_{ef}, saída 110 / 220 V_{ef};
- h) Mastóide artificial segundo IEC 60373, com certificado de calibração;
- i) O SMC, audiômetro do cliente, de preferência acompanhado do(s) manual (manuais) fornecido(s) pelo fabricante;
- j) Outros acessórios como chaves de fenda, podem necessários durante eventual desmonte de *Audiocups*.

6 Condições ambientais

6.1 Temperatura ambiente

- A calibração não deve ser feita fora da condição de temperatura (23±3) °C, ou seja, efetuar somente entre 20 °C e 26 °C;
- Desejando evitar correções posteriores devido à diferença de temperatura é necessário climatizar o ambiente em (23±1) °C.

6.2 Umidade relativa do ar

- Deve estar situada na faixa entre 30 % e 70 %.

6.3 Tensão de alimentação do audiômetro em teste

- A tensão elétrica de alimentação aplicada ao audiômetro, em laboratório, deve ser condizente com o valor nominal selecionado pelo proprietário ±10%;
- Se o audiômetro estiver no local de uso diário use a tensão alimentação local sem alterar as condições anteriores.

6.4 Ruído ambiente e vibrações

- A ordem de grandeza do ruído ambiente permissível pode ser encontrada na norma IEC 645-1 subseção 5.5.1 e em ISO8253-1 seção 12 tabela 4.
- Para atenuação do ruído ambiente deve ser usada cabina acústica com qualidade suficiente para que no seu interior sejam alcançadas as condições similares as citadas nas normas acima mencionadas;
- A cabina deverá ficar sobre espuma(s) com 5 cm de espessura, ou mais espessa, para evitar a vibração transmitida pela bancada. Não sendo possível colocar espuma, deverá haver outro sistema de amortecimento das vibrações sob a cabina.

7 Preparação e precauções

7.1 Temperatura

Verifique a temperatura ambiente e providencie climatização para (23 ± 1) °C.

Obs. A climatização em (23 ± 1) °C é essencial para as etapas de teste que usam o mastóide artificial, outras etapas que usam o acoplador acústico não devem ser executadas fora da faixa de (23 ± 3) °C.

7.2 Montagem

Sem esperar a estabilização da temperatura proceda a montagem do sistema de calibração, conforme as instruções seguintes:

- a) Coloque a almofada azul (que acompanha o conjunto *Larson Davis*) dentro da cabina acústica com a face rígida para cima;
- b) Sobre a almofada coloque a base AEC100;
- c) Desatarraxe o anel de proteção de cima da base AEC100, sentido anti-horário, guarde-o em lugar seguro;
- d) Pegue com cuidado o microfone de medição de uma polegada e atarraxe-o sobre a base AEC100, senti horário, cuidado para não estragar as roscas, não deixe o microfone cair; a grade de proteção do microfone deve ser retirada, isso devido a exigência de norma (IEC 60318-3), tenha extremo cuidado para não danificar a membrana metálica do microfone. **(Nunca toque na membrana do microfone)**;
- e) Atarraxe o pré-amplificador modelo PRM902, ou outro compatível, no orifício ao lado da base AEC100, cuidando para não estragar as roscas;
- f) Coloque os fones do audiômetro a calibrar e o vibrador ósseo, se fornecido, dentro da cabina;
- g) Passe os cabos dos fones e do vibrador ósseo, se fornecido, pelo orifício da cabina acústica e conecte-os ao audiômetro;
- h) Verifique qual é a tensão de alimentação nominal do audiômetro a calibrar. Se a tensão nominal for 110 volts deve ser alimentado pelo *no break* (saída 110 volts), se for 220 volts deve ser alimentado conectando diretamente na rede elétrica 220 volts;
- i) Conecte o cabo de alimentação do audiômetro segundo estabelecido no item anterior;
- j) Ligue o *no break* e o audiômetro;
Obs. o tempo de aquecimento geralmente é de 3min no mínimo, ou até 10min, em caso de dúvida consulte o manual do fabricante do aparelho.

- k) Passe o cabo de extensão EXA010 pelo orifício da cabina acústica, aplique massa para calafetar junto ao orifício para melhorar a atenuação sonora da cabina;
- l) Conecte o pré-amplificador ao medidor de nível de pressão sonora “system 824” através do cabo EXA010. Existe marcação de pontos vermelhos nos conectores para facilitar a conexão correta;
- m) Conecte a fonte retificadora, tensão 9 volts nominal, no medidor de NPS “system 824” e em uma saída do *no break* (110V).
Obs. A entrada 9 volts do medidor de NPS está localizada ao lado da conexão serial do mesmo.
- n) Conecte o computador ao medidor de NPS através do cabo de comunicação serial CBL006;
- o) Ligue o computador e o medidor de NPS, e espere o tempo mínimo de aquecimento da instrumentação; aproximadamente dez minutos, ou espere o tempo de aquecimento declarado pelo fabricante dos equipamentos.

7.3 Ajuste do sistema de calibração

- a) Fixe adequadamente um calibrador sonoro tipo 1 (ou classe 1) sobre o microfone de 1 polegada, que está sobre a base do acoplador acústico, o calibrador deve ter o valor de NPS conhecido e rastreável no seu certificado de calibração;
- b) Confira se os equipamentos selecionados no software *AUDit* são os mesmos que estão sendo utilizados, clique em *Test* e em *Instrumentation...*, a tela que aparece mostra os itens: *Sound Level Meters, Calibrators, Microphones, Mastoids, Preamps*, clique em cada um deles e compare os dados de modelo (*model*) e número de série (*serial number*) com a instrumentação em uso, os dados de instrumentação devem coincidir.
Obs. Caso os dados não coincidam, tente selecionar clicando no campo abaixo a esquerda (abaixo da palavra *current*), e se o equipamento que você está usando não estiver catalogado no software consulte o manual – *Audiometer Calibration System – User Manual – Larson Davis*, capítulo 2, para entrar com os dados necessários.
- c) Ligue o calibrador, clique em *SLM* e em *calibration*, observe o valor que aparece no campo *Measured SPL* após o ajuste ele deverá coincidir com o valor de NPS do certificado de calibração do calibrador sonoro;
- d) Clique em *Set calibration*; para efetuar o ajuste de escala do sistema de calibração. Siga as instruções na tela. Após a seqüência de operações deve-se alcançar a condição de valor de NPS citada no item (c).
Obs. Caso calibrador desligue durante o teste ligue-o novamente, siga as instruções que eventualmente apareçam na tela do computador, repita a verificação se necessário.
- e) Retire o calibrador com cuidado, lentamente;

- f) Com muito cuidado e lentamente coloque o acoplador (peça de formato cônico) sobre a base AEC100;

7.4 Entrando com dados de equipamentos e do audiômetro à calibrar no software *AUDit*

- g) No computador, aplicativo *AUDit*, clique no menu *Test* então clique em *Audiometer Test...* ;
- h) Entre com o nome ou código do cliente no campo *Customer Name*, e localização no campo *location*;
- i) Clique em *Equipment* e selecione, através do número de série, os itens *Sound Level Meter, Calibrator, Mastoid Preamp*, relativos aos equipamentos em uso na montagem do sistema de medição;

Obs. Para selecionar clique no triângulo ao lado direito do campo *Serial Number*.

Obs. 2: No item *Mastoid*, campo *Coupler for Larson Davis Mastoid* selecione NBS 9A, sendo compatível com acoplador modelo AEC100, em caso de dúvida ver *Audiometer Calibration System, User Manual*, páginas (3-6) e (3-7).

- j) Clique em *Microphones* e na aba *NBS 9A Mic* para selecionar o microfone em uso através de seu número de série;
- k) Clique em *Audiometer* (no campo *Setup Items*), e na aba *Audiometers*, entre com os dados necessários em cada campo apresentado.

Obs. 1: Os valores de percentual de modulação e frequência da portadora de modulação não são fixados em norma e nesse caso podem ser omitidos.

Obs. 2: Os tipos de audiômetros são classificados, segundo seus recursos, na norma IEC645-1, seção 4, tabela 2.

- l) Clique na aba *Low Frequencies* e selecione quais frequências serão testadas no audiômetro;
- m) Clique em *Earphones* para entrar com os dados dos fones de ouvido.
Obs. Acoplador (*coupler*) NBS 9A.
- n) Clique em *Bone Vibrator* para entrar com os dados do vibrador ósseo;
- o) Clique em *OK*.

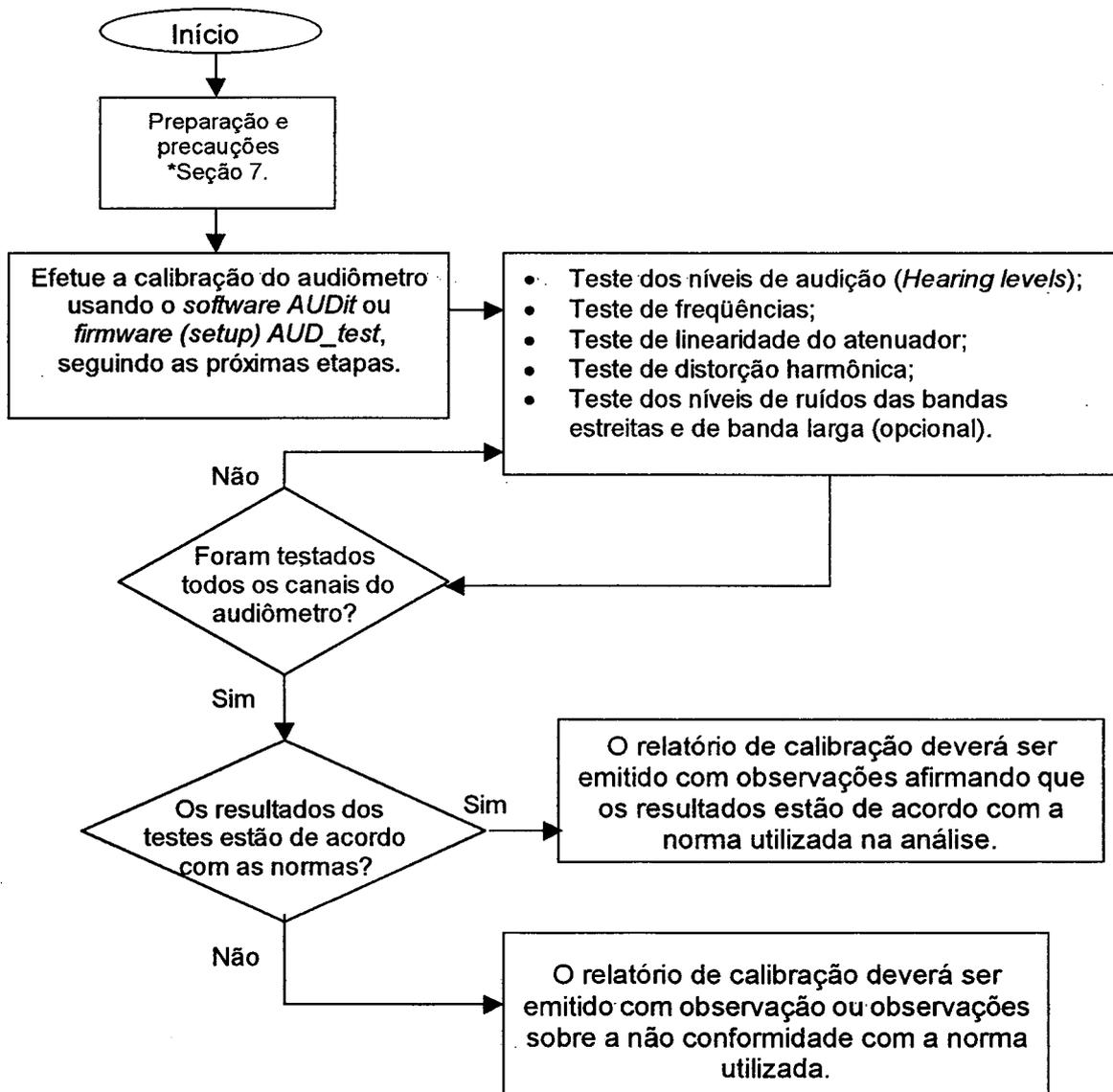
Obs. A tela que aparece será usada a partir do item 8.1.c).

8 Método

Em função do equipamento utilizado atualmente pelo LARI, existem duas opções para aplicar o método de calibração, uma delas é executada com auxílio do *software AUDit*. A segunda opção dispensa o *software AUDit*. Mas sempre será necessária a utilização do *setup AUD_test* contido no medidor de NPS "System 824".

Os passos essenciais do método são mostrados nos fluxogramas a seguir. Algumas etapas são opcionais. Dependendo do tipo de audiômetro e da vontade do cliente é possível descartar as etapas de medição de ruído de banda larga e/ou ruído de banda estreita.

Fluxograma do método de calibração de audiômetros



Não é possível obter todos os pontos de medição gerados por audiômetros utilizando o *software* AUDit, mas somente os pontos referentes a apenas um nível de audição específico (70 dB NA nominal), além dos pontos de medição referentes à avaliação da linearidade em 1000 Hz. Assim sendo é uma calibração limitada. Deve-se observar o escopo do credenciamento do laboratório e o tipo de solicitação do cliente a fim de decidir entre medir todos os pontos possíveis ou utilizar o *software* AUDit para auxílio da calibração.

O método descrito a seguir diz respeito ao uso do *software* AUDit. Caso seja necessária obtenção de mais pontos de medição utilize o equipamento de medição de forma a preencher, total ou parcialmente, a planilha mostrada no item 9.3, referente aos níveis de audição. Se o dados anotados são indicações do medidor de NPS deve-se aplica-los em uma planilha eletrônica (editor de planilha) para efetuar a correção da sensibilidade do microfone de medição e a subtração dos LERNPS, dessa forma encontrando-se os valores de níveis de audição.

8.1 Teste dos níveis de audição

- a) Coloque um dos fones de ouvido (supra-aural) sobre o acoplador acústico, de preferência inicie com o fone esquerdo, e após colocar a cobertura de formato cilíndrico (cor preta), coloque o peso de aproximadamente 460g sobre o fone de ouvido;
- b) No audiômetro selecione a menor frequência disponível, 125 ou 250 Hz, também selecione um nível de audição relativamente alto, por exemplo, 70 dB NA. Para obter posicionamento otimizado do fone de ouvido, experimente mudar lentamente a posição do mesmo, com a mão, e observando no medidor de NPS até alcançar a indicação de valor mais elevado. A indicação de valor mais elevado corresponderá ao posicionamento do fone que deve ser mantido durante todo o teste de níveis de audição (NA) daquele fone de ouvido.

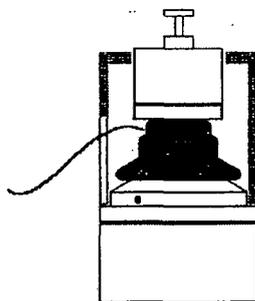


Fig. 4 – Colocação do fone e do peso sobre acoplador acústico.

- c) Feche a cabina acústica com sua tampa, evite causar vibrações na cabina;
- d) No computador execute o teste de níveis de audição relativos ao fone, clicando em *Go To Measurement...*, a próxima tela terá um campo (à esquerda) chamado *Measurements* nele selecione *Hearing Level* (nível de audição), no campo abaixo, *Transducers*, selecione *Supra-aural Earphone*, também selecione qual dos fones está em teste, esquerdo (*Left*) ou direito (*Right*) nas abas do campo maior (centro da tela);

- e) Para executar o teste clique no 2º botão abaixo, *Measure All*;
- f) Aparecerão pequenas “caixas de instruções” na tela, elas informam qual o nível de audição (NA) e qual frequência devem ser selecionados no audiômetro em cada etapa de cada teste, siga esses valores;
- g) Os valores não-conformes, norma ANSI S 3.6, serão indicados por um X vermelho ao lado esquerdo da respectiva frequência testada. Nesses casos, é importante verificar a posição do fone (ou vibrador) e repetir o teste pelo menos uma vez para certificar-se se realmente há não-conformidade do audiômetro;

Obs. Os padrões de tolerância de NA das normas IEC 645-1 e ANSI S 3.6 são: ± 3 dB na faixa de 125 a 4000 Hz, e ± 5 dB em 6000 e 8000 Hz.

- h) Repita o teste no outro fone de ouvido, clicando na outra aba, *Right* (ou *Left*), coloque o outro fone sobre o acoplador acústico e siga novamente os itens (d) até (f);
- i) Não clique em *Ok*, para passar para o próximo teste apenas selecione clicando sobre o qual for necessário;
- j) Após medir os níveis para os fones de ouvido, selecione *Bone Vibrator*, no campo *Transducers* (à esquerda abaixo da tela) e proceda ao teste de níveis de audição para o vibrador ósseo, se fornecido pelo cliente;

Obs. o procedimento de montagem está descrito nos próximos itens;

- k) Para testar o vibrador ósseo, coloque o mastóide artificial AMC493 sobre o acoplador acústico, a inscrição AMC493 deve ficar para cima;
- l) Limpe o vibrador com pano seco e coloque-o sobre o centro do mastóide artificial;
- m) Coloque a cobertura cilíndrica preta sobre o acoplador, e os pesos de 460g e de 100g (forma de anel) sobre o vibrador, certifique-se que o vibrador ficou com máxima superfície de contato com o mastóide artificial e centralizado, ver figura 5;

Obs. A repetitividade dos resultados será seriamente prejudicada se a superfície de contato (plana) do vibrador não estiver centralizada sobre o mastóide artificial.

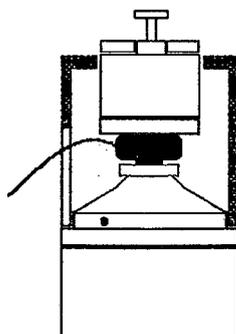


Fig. 5 – Colocação do mastóide artificial, do vibrador e dos pesos.

- n) Feche a cabina acústica com a sua tampa, evite causar vibrações na cabina;
- o) No computador execute o teste de níveis de audição emitidos pelo vibrador ósseo, clicando em *Go To Measurement...*, a próxima tela terá um campo (à esquerda)

chamado *Measurements* nele selecione *Hearing Level* (nível de audição), no campo abaixo, *Transducers*, selecione *Bone Vibrator*;

- p) Siga os itens (d) até (f);
- q) Quando retirar o vibrador e o mastóide artificial não puxe direto, pressione lateral e lentamente até retirar.

Obs. O mastóide é banhada (fabricada) com material um pouco adesivo que não deve ser retirado, nem lavado, nem impregnado com outras substâncias. Portanto não toque na parte azul com os dedos para manter o adesivo conservado.

8.2 Teste de exatidão de frequências

- a) Selecione *Frequency* no campo *Measurements*;
- b) Selecione *left* ou *right* nas abas do campo maior no centro da tela, para fone esquerdo ou direito, respectivamente;
- c) Clique em *Measure All* e siga as orientações das “caixas de instruções” geradas pelo software na tela do computador;

Obs. A colocação dos fones é idêntica àquela efetuada no item (8.1.a), e ilustrada na figura 4.

- d) Frequências não-conformes são indicadas por um X vermelho;

Obs. Repita o teste em caso de não-conformidade, **pelo menos uma vez**, selecionado (clitando sobre) cada frequência com problema (X vermelho) e clicando em *Measure Selected*, ou repita todo o teste de frequências clicando em *Measure All*.

- e) Repita o teste para o outro fone de ouvido, siga os itens (b) até (d).

8.3 Teste de linearidade do atenuador

- a) Clique em *Linearity* para selecionar o teste de linearidade do atenuador, selecione *Supra-aural Earphones* no campo *Transducers*, selecione a aba *Right* ou *Left* relativo ao fone (supra-aural) direito ou esquerdo, que estiver sobre o acoplador acústico;
- b) Certifique-se de qual é o valor de NPS máximo que o audiômetro pode fornecer em 1000 Hz, este deve ser digitado no campo *Max dBHL* (acima, no meio), geralmente os valores estão entre 100 dB NA até 120 dB NA.
- c) Selecione o intervalo de passo (mínima diferença de NPS fornecida pelo audiômetro) no campo *Dial step*. Clique no triângulo ao lado do campo e selecione o passo de 5 dB;
- d) Posicione o fone de ouvido em teste segundo itens (8.1.a) até (8.1.c);
- e) Feche a cabina acústica;

- f) Clique em *Measure All*, e siga as instruções que aparecerão na tela;
- g) Valores não-conformes serão marcados por X vermelho ao lado esquerdo;
- h) Abra a cabina acústica, coloque o outro fone sobre o acoplador conforme item (d), selecione a outra aba, *Right* ou *Left*, relativa ao fone em teste;
- i) Siga novamente os itens (b) até (f).

8.4 Teste de distorção harmônica

- a) Clique em *Distortion* e em *Supra-aural Earphone* para selecionar o teste de distorção harmônica para fones supra-aurais;
- b) Clique na aba *Left* ou *Right*, assim selecionando o fone de ouvido a colocar sobre o acoplador acústico, fone esquerdo ou direito, respectivamente;
- c) Coloque o fone sobre o acoplador do modo como é indicado nos itens (8.1.a) até (8.1.c);
- d) O fechamento da cabina acústica fica a critério do operador;
- e) Clique em *Measure All* e siga as instruções que aparecem na tela;
- f) Não-conformidades aparecem marcadas com um X vermelho no lado esquerdo da respectiva frequência, não há opção de ajuste;
- g) Coloque o outro fone sobre o acoplador acústico e repita as instruções dos itens (b) até (e);
- h) Coloque o mastóide artificial e o vibrador ósseo sobre o acoplador, do mesmo modo que nos itens (8.1.j) até (8.1.l);
- i) Clique em *Bone Vibrator* no campo *Transducers* para selecionar teste de distorção harmônica em vibrador ósseo;
- j) Clique em *Measure All* e siga as instruções que aparecem na tela.

8.5 Teste de níveis de ruído de mascaramento de banda estreita. (Opcional)

- a) Clique em *Narrow Band Level* e em *Supra-aural Earphone*;
- b) Clique na aba *Left* para fone esquerdo sobre acoplador, ou na aba *Right* para fone direito;
- c) Coloque o respectivo fone sobre o acoplador do mesmo modo que em (8.1.a);
- d) Clique em *Measure All*;
- e) Siga as instruções que aparecem na tela;
- f) Não-conformidades serão acusadas por um X vermelho;

g) Repita os itens (b) até (e) para o outro fone.

8.6 Teste de ruído de mascaramento de banda larga. (Opcional)

- a) Clique em *Broad Band Noise* e em *Supra-aural Earphone*;
- b) Clique na aba *Right* para fone direito, ou na aba *Left* para selecionar teste com fone esquerdo;
- c) Certifique-se da colocação correta do fone sobre acoplador acústico, conforme os itens (8.1.a) até (8.1.c);
- d) Clique em *Measure All* e siga as instruções na tela.

8.7 Para audiômetros de dois canais

Caso o audiômetro tenha dois canais, com os mesmos recursos, todas etapas de testes efetuadas em um canal deverão ser repetidas para o outro.

- a) Se ainda estiver na tela onde estão os campos *Measurements* e *Transucers*, clique em OK;
- b) Clique em *Back to Audiometer Setup*;
- c) No campo *Setup Items* clique em *Audiometer*;
- d) Na tela denominada *Audiometer Description* existe um campo chamado *Channel to test* que mostra o número do canal do audiômetro em teste. Selecione "2" clicando no triângulo ao lado do campo citado;
- e) Clique OK;
- f) Clique em *Go To Measurements*;
- g) A partir de agora repita as etapas de teste segundo os itens 8.1 até 8.6 para o canal 2 do audiômetro em teste.

Obs. Lembre-se de apresentar os sinais do audiômetro através do canal 2.

8.8 Anotações específicas sobre o ensaio de calibração

Detalhes específicos que poderão auxiliar na próxima calibração / ajuste do audiômetro devem ser anotados, por exemplo, como acessar os recursos do audiômetro, ou alguma característica específica do mesmo, entre outras informações similares.

- a) Clique em *Test* e em *Audiometer Test Notes*;
- b) Clique na aba *Comments*;

- c) Anote os valores de **temperatura** e **umidade relativa** indicados pelo termo-higrômetro durante o ensaio;
- d) Escreva as particularidades do audiômetro que foi ensaiado;
- e) Clique em **OK**.

8.9 Salvando os resultados no banco de dados

Clique no menu *File* e em *Save*, ou pressione simultaneamente as teclas “Ctrl” e “S”.

Os resultados serão gravados em disco no formato banco de dados Microsoft Access (arquivos com extensão “.mdb”).

9 Registros

9.1 Identificação do software de auxílio à calibração

O *software* usado atualmente é denominado *AUDit™*, versão 1.34, fornecido por *Larson Davis Company*, e funciona em conjunto com o *firmware* *AUD_test*, versão 3.52, contido no medidor de NPS *System 824*. O *AUDit* é baseado nas normas ANSI S3.6-1996 e ANSI S3.1-1991.

Durante a calibração o *software* calcula os níveis de audição (*Hearing level*) com base nos valores de Limiares Equivalentes de Referência de Nível de Pressão Sonora (LERNPS) que foram inseridos pelo fabricante no seu banco de dados, e dos NPS medidos (*Measured SPL*), da seguinte forma:

$$\text{Nível de audição} = \text{NPS}_{\text{medido}} - \text{LERNPS}$$

O $\text{NPS}_{\text{medido}}$ é considerado como a indicação do medidor de NPS adicionando-se a devida correção relativa a sensibilidade em frequência do microfone de medição.

O *AUDit* é capaz de exportar dados das calibrações para alguns aplicativos, por exemplo o *Microsoft Excel*.

9.2 Exportando os dados da calibração

Para exportar os dados da calibração é necessário que o teste atual, ou que os dados recuperados de um teste anterior, estejam ativos na tela do *AUDit*.

- a) Crie um diretório para armazenar arquivos exclusivos do audiômetro em teste.
Local recomendado **C:\Relatórios de calibração\Importados do AUDit**
Formato do nome recomendado \Rightarrow **\Modelo do audiômetro_Nº de série**
- b) Clique em *Report* e em *Export...*, para acessar a tela chamada *Export Data*;

A planilha de anotação dos valores das frequências medidas e de distorção harmônica total poderá ser útil caso não seja utilizado o *software* AUDit. Porém é recomendado utilizar o *software* devido à complexidade dos cálculos de distorção harmônica total.

Medições das frequências			Distorção harmônica		
Frequência nominal (Hz)	Frequência medida (Hz)		Amplitude utilizada (dB NA)	Transdutor	Distorção harmônica total (%)
	Fone esq.	Fone dir.			
250			75	Fone esquerdo	
				Fone direito	
			20	Vibrador ósseo	
500			110	Fone esquerdo	
				Fone direito	
			50	Vibrador ósseo	
1000			110	Fone esquerdo	
				Fone direito	
			60	Vibrador ósseo	
2000			110	Fone esquerdo	
				Fone direito	
			60	Vibrador ósseo	
3000			110	Fone esquerdo	
				Fone direito	
			60	Vibrador ósseo	
4000			110	Fone esquerdo	
				Fone direito	
			60	Vibrador ósseo	
6000					
8000					

10 Análise dos resultados

Devem ser observadas as tolerâncias estabelecidas na norma IEC 60645-1.

- Tolerância dos níveis de audição dos tons puros: ± 3 dB (125 a 4000 Hz) e ± 5 dB (6 e 8 kHz).
- Tolerância dos níveis de audição dos ruídos de mascaramento: de $- 3$ dB a $+ 5$ dB.
- Tolerâncias das frequências medidas:
 - Audiômetros tipo 1: tolerância de 1 %
 - Audiômetros tipo 2: tolerância de 2 %
 - Audiômetros tipos 3, 4 e 5: tolerância de 3%
- Linearidade do atenuador. Tolerância para passos nominais de 5 dB: $(5,0 \pm 1,0)$ dB.

– Tolerâncias dos percentuais de distorção harmônica de acordo com tabela a seguir.

<i>Distorção harmônica máxima permitível, da pressão sonora ou da força vibratória, expressa em porcentagem</i>						
Faixa de frequências (Hz)	Condução aérea			Condução óssea		
	125 a 250	315 a 400	500 a 5.000	250 a 400	500 a 800	1.000 a 5.000
Nível de Audição (dB)	75 ¹⁾	90 ¹⁾	110 ¹⁾	20	50 ¹⁾	60 ¹⁾
Distorção da segunda harmônica	2	2	2	5	5	5
Distorção da terceira harmônica	2	2	2	2	2	2
Distorção da quarta e cada harmônica maior	0,3	0,3	0,3	1	1	1
Distorção de todas as sub-harmônicas	-	0,3	0,3	-	-	-
Distorção harmônica total	2,5	2,5	2,5	5,5	5,5	5,5

¹⁾ ou nível de saída máximo relevante do audiômetro, o que for menor

Quando o relatório / certificado de calibração de audiômetros apresentar valores fora das tolerâncias de norma deve conter observação do tipo: “alguns dos valores apresentados **não** estão **de acordo** com a norma IEC 60645-1”.

11 Incerteza de medição

A declaração da incerteza de medição deve estar de acordo com o balanço de incertezas da calibração de audiômetros. O valor de incerteza dos níveis de audição calculado atualmente² está quantificado em $U_{95\%} = \pm 0,8$ dB. A incerteza da avaliação da linearidade do atenuador é a mesma que a incerteza dos níveis de audição, $U_{95\% Lin} = \pm 0,8$ dB.

Deve-se declarar também o valor da incerteza de medição das frequências, atualmente estimado em $U_{95\% freq.} = \pm 0,15$ %. E o valor da incerteza da distorção harmônica total é estimado atualmente em $U_{95\% DHT} = \pm 0,5$ %. Esse último está sujeito a novas avaliações devido à calibração do microfone de medição em frequências acima de 10 kHz.

12 Apresentação dos resultados

Os resultados da calibração devem ser apresentados em forma de **relatório de calibração** conforme modelo mostrado no apêndice.

² Para mais detalhes ver dissertação de mestrado “Aspectos metrológicos da calibração de audiômetros”.

13 Apêndices

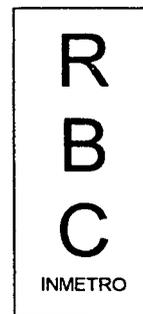
Modelo de relatório de calibração de audiômetros proposto para uso do LARI.

Nota: Para evitar redundância o modelo do relatório de calibração de audiômetros se encontra apenas no Anexo 9.3.

9.3 Modelo de relatório de calibração de audiômetros proposto para uso futuro no LARI / UFSC



República Federativa do Brasil
Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico
Departamento de Engenharia Mecânica



Laboratório de Ruído Industrial

Relatório de Calibração

Laboratório credenciado pelo INMETRO sob o n.º *****

Número do relatório:

Número da solicitação:

Solicitante do serviço

Nome:

Endereço:

Identificação do instrumento ensaiado

Instrumento: Audiômetro

Fabricante:

Modelo:

N.º de série:

Tipo:

N.º de canais:

Fones de ouvido

Fabricante

Modelo:

N.º de série (Fone direito / esquerdo):

Vibrador ósseo

Fabricante:

Modelo:

N.º de série:

Data da calibração: / /

Samir N. Y. Gerges
Chefe do LARI

Este certificado atende aos requisitos de credenciamento do INMETRO, o qual avaliou a competência de medição do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais de medida. No caso de instrumento regulamentado, esta calibração não isenta o instrumento do controle metrológico estabelecido na Regulamentação Metrológica. Os resultados deste certificado referem-se exclusivamente aos instrumentos submetidos à calibração nas condições especificadas, não sendo extensivo a quaisquer lotes.

Laboratório de Ruído Industrial - LARI - Campus Universitário Trindade, Centro Tecnológico.

Cx.P.476 - Florianópolis - SC - Brasil

Tel. (0**48)234 4074, (0**48)331 7095, e-mail <samir@emc.ufsc.br>

Certificado de Calibração

Número do relatório:

Testes de Níveis de Audição dos Fones de Ouvidos Supra-aurais (Canal: 1 – fone esquerdo)

Níveis nominais (dB NA)	Desvios obtidos em função dos valores nominais (dB)										
	Frequências (Hz)										
	125	250	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000
120											
115											
110											
105											
100											
95											
90											
85											
80											
75											
70											
65											
60											
55											
50											
45											
40											
35											
30											
25											
20											
15											
10											
5											
0											
Desvios máximos (dB)	±3,0	±3,0	±3,0	±3,0	±3,0	±3,0	±3,0	±3,0	±3,0	±5,0	±5,0

Incerteza de medição: $\pm 0,8$ dB

Observação:

Prof. Samir N. Y. Gerges, Ph D
Chefe do LARI

Marcos Aurélio Pedroso
Responsável pela Calibração

É autorizada a reprodução total deste certificado. A reprodução através de cópias parciais depende da aprovação, por escrito, do representante competente do Laboratório de Ruído Industrial.

Certificado de Calibração

Número do relatório:

Testes de Níveis de Audição dos Fones de Ouvidos Supra-aurais (Canal: 1 – fone direito)

Desvios obtidos em função dos valores nominais (dB)

Níveis nominais (dB NA)	Frequências (Hz)										
	125	250	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000
120											
115											
110											
105											
100											
95											
90											
85											
80											
75											
70											
65											
60											
55											
50											
45											
40											
35											
30											
25											
20											
15											
10											
5											
0											
Desvios máximos (dB)	±3,0	±3,0	±3,0	±3,0	±3,0	±3,0	±3,0	±3,0	±3,0	±5,0	±5,0

Incerteza de medição: $\pm 0,8$ dB

Observação:

Prof. Samir N. Y. Gerges, Ph D
Chefe do LARI

Marcos Aurélio Pedroso
Responsável pela Calibração

É autorizada a reprodução total deste certificado. A reprodução através de cópias parciais depende da aprovação, por escrito, do representante competente do Laboratório de Ruído Industrial.

Certificado de Calibração

Número do relatório:

Teste de distorção harmônica

Frequência (Hz)	Distorção harmônica total (%)		Distorção máxima admitida (%)
	Fone esquerdo	Fone direito	
125			2,5
250			2,5
500			2,5
750			2,5
1000			2,5
1500			2,5
2000			2,5
3000			2,5
4000			2,5

Incerteza de medição: $\pm 0,5 \%$

Observação:

Resultados das medições das frequências

Frequência (Hz)	Desvios obtidos (%)		Desvios máximos admitidos (%)
	Fone esquerdo	Fone direito	
125			
250			
500			
750			
1000			
1500			
2000			
3000			
4000			
6000			
8000			

Incerteza de medição: $\pm 0,2 \%$

Observação:

Prof. Samir N. Y. Gerges, Ph D
Chefe do LARI

Marcos Aurélio Pedroso
Responsável pela Calibração

É autorizada a reprodução total deste certificado. A reprodução através de cópias parciais depende da aprovação, por escrito, do representante competente do Laboratório de Ruído Industrial.

Certificado de Calibração

Número do relatório:

Teste de linearidade do atenuador

Frequência (Hz)	Desvios máximos de linearidade medidos (dB)		Desvio máximo admitido (dB)
	Fone esquerdo	Fone direito	
125			1,0
250			1,0
500			1,0
750			1,0
1000			1,0
1500			1,0
2000			1,0
3000			1,0
4000			1,0
6000			1,0
8000			1,0

Incerteza de medição: $\pm 0,8$ dB

Observação:

*

*

*

*

*

*

Prof. Samir N. Y. Gerges, Ph D
Chefe do LARI

Marcos Aurélio Pedroso
Responsável pela Calibração

É autorizada a reprodução total deste certificado. A reprodução através de cópias parciais depende da aprovação, por escrito, do representante competente do Laboratório de Ruído Industrial.

9.4 Cópia do certificado de calibração do calibrador de nível sonoro (LARI)



CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

Calibration Certificate issued by LNM/Brazil

LAETA 0411/1999

Número do Certificado

Certificate Number

Solicitante do Serviço

Customer

Nome: UFSC-DEPTO. ENG. MECÂNICA - LAB. DE VIBRAÇÕES E ACÚSTICA

Name

Endereço: CAMPUS UNIVERSITÁRIO, TRINDADE, FLORIANÓPOLIS, SC, BRASIL, CEP 88040-900

Address

Identificação do Instrumento de Medição / Padrão

Measurement Instrument/Standard Identification

Instrumento de Medição/Padrão: CALIBRADOR DE NÍVEL SONORO

Instrument/Standard

Fabricante: LARSON DAVIS

Manufacturer

Modelo/Tipo: modelo CA250 tipo 1

Model/Type

Número de Série: 3046

Serial Number

Código de Identificação: não consta

Identification Code

Informações Administrativas Pertinentes à Calibração

Administrative Information Concerning Calibration

Processo INMETRO: 4877/99

INMETRO Register

Data da Calibração: 26/10/99

Calibration Date

Laboratório Responsável pela Calibração: Laboratório de Eletroacústica - LAETA

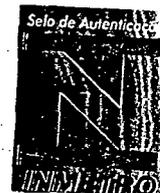
Laboratory Responsible for the Calibration

04/11/99

Data da Emissão
do Certificado

Issued on


José Augusto Azevedo
Chefe da Divisão de Acústica e Vibração
Head of Division of Acoustics and Vibration



Este certificado de calibração atende aos requisitos do ABNT-ISO/IEC-Guia 25:1993 e é válido apenas para o instrumento de medição/padrão acima caracterizado, não sendo extensivo a quaisquer outros instrumentos de medição, ainda que similares. A calibração realizada baseou-se em medições diretamente rastreadas aos padrões nacionais do Brasil. Este certificado de calibração somente pode ser reproduzido em sua forma integral; reproduções parciais devem ser previamente autorizadas pelo INMETRO.

This certificate complies with the requirements of ABNT-ISO/IEC-Guide 25:1993 and applies only to the above mentioned measurement instrument/standard and can not be extended to any other measurement instruments, even similar ones. The calibration performed was based upon measurements directly traceable to the Brazilian metrological national standards. This certificate can be reproduced only in full version; partial reproductions require previous consent of INMETRO.

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

Calibration Certificate

LAETA 0411/1999

Número do Certificado

Certificate Number

Características do Instrumento de Medição/Padrão

Measurement Instrument/Standard Characterization

- Nível de Pressão Sonora.
- Frequência.
- Distorção Harmônica Total (THD).

Informações Pertinentes à Calibração

Information Concerning Calibration

Instrumentação utilizada/padrões

- Microfone Padrão B&K 4160 - N° série 1453817
- Microcomputador
- Amplificador de medição B&K 2636 - N° de série 2050197
- Analisador de espectro HP 3561A - N° de série 2945A06690
- Medidor de frequência HP 5315A - N° de série 2204A06262
- Multímetro: HP 3478A - N° de série 2619A37989
- Pré-amplificador B&K 2619 - N° de série 946004
- Termo-higrômetro Minipa-1360 - N° de série 609
- Barômetro B&K tipo UZ0003

Condições ambientais

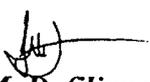
- Temperatura : 22,8 °C
- Umidade relativa : 62,7 %
- Pressão atmosférica : 1016 mbar

Método de Calibração

Calibration Method

CALIBRADOR DE NÍVEL SONORO

Após a conexão de todos os instrumentos e da espera do *tempo de aquecimento*, ajusta-se o fator de referência (Fator K) do microfone mais pré-amplificador ao amplificador de medição. Em seguida, mede-se a frequência no freqüencímetro, mede-se a distorção harmônica (THD) no analisador espectral e mede-se o nível de amplitude do calibrador no amplificador de medição. As medições são realizadas três vezes consecutivas, e, a média das três é o valor final. O método utilizado atende aos requisitos da norma IEC 942 - SOUND CALIBRATORS


Zemar M. Defilippo Soares
Responsável pela Calibração
Responsible for Calibration


Walter E. Hoffmann
Chefe do Laboratório de Eletroacústica
Head of Electroacoustics Laboratory

Este certificado de calibração somente pode ser reproduzido em sua forma integral; reproduções parciais devem ser previamente autorizadas pelo INMETRO.

This certificate can be reproduced only in full version; partial reproductions require previous consent of INMETRO.

(Pag 2/3)

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

Calibration Certificate

LAETA 0411/1999

Número do Certificado

Certificate Number

Resultados e Declaração da Incerteza

Results and Uncertainties

NÍVEL DA PRESSÃO SONORA:

Amplitude Nominal (dB)	Amplitude Medida (dB)
114	113,9

Amplitude medida está de acordo com a tolerância especificada na norma para tipo 1.

FREQÜÊNCIA:

Freqüência Nominal (Hz)	Freqüência Medida (Hz)
250 (114 dB)	249,9

Freqüência medida está de acordo com a tolerância especificada na norma para tipo 1.

DISTORÇÃO HARMÔNICA (THD):

Amplitude de Excitação (dB)	THD Medida (%)
114	0,51

THD medida está de acordo com a tolerância especificada na norma para tipo 1.

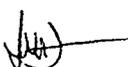
INCERTEZA

Incerteza das medições : 0,1 dB

Observações

Remarks

Este calibrador de nível sonoro encontra-se de acordo com a norma IEC 942 - SOUND CALIBRATORS para tipo 1.


Zemar M. Defilippo Soares
Responsável pela Calibração
Responsible for Calibration


Walter E. Hoffmann
Chefe do Laboratório de Eletroacústica
Head of Electroacoustics Laboratory

Este certificado de calibração somente pode ser reproduzido em sua forma integral; reproduções parciais devem ser previamente autorizadas pelo INMETRO.

This certificate can be reproduced only in full version; partial reproductions require previous consent of INMETRO.

(Pag 3/3)

**9.5 Cópia do certificado de calibração do microfone de
medição (LARI)**



CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

Calibration Certificate issued by LNM/Brazil

LAETA 0410/1999

Número do Certificado

Certificate Number

Solicitante do Serviço

Customer

Nome: UFSC-DEPTO. ENG. MECÂNICA - LAB. DE VIBRAÇÕES E ACÚSTICA

Name

Endereço: CAMPUS UNIVERSITÁRIO, TRINDADE, FLORIANÓPOLIS, SC, BRASIL, CEP 88040-900

Address

Identificação do Instrumento de Medição / Padrão

Measurement Instrument/Standard Identification

Instrumento de Medição/Padrão: MICROFONE CAPACITIVO

Instrument/Standard

Fabricante: LARSON DAVIS

Manufacturer

Modelo/Tipo: modelo 2575

Model/Type

Número de Série: 1475

Serial Number

Código de Identificação: não consta

Identification Code

Informações Administrativas Pertinentes à Calibração

Administrative Information Concerning Calibration

Processo INMETRO: 4877/99

INMETRO Register

Data da Calibração: 26/10/99

Calibration Date

Laboratório Responsável pela Calibração: Laboratório de Eletroacústica - LAETA

Laboratory Responsible for the Calibration

04/11/99

Data da Emissão
do Certificado

Issued on


José Augusto Azevedo
Chefe da Divisão de Acústica e Vibração
Head of Division of Acoustics and Vibration



presente certificado de calibração atende aos requisitos do ABNT-ISO/IEC-Guia 25:1993 e é válido apenas para o instrumento de edição/padrão acima caracterizado, não sendo extensivo a quaisquer outros instrumentos de medição, ainda que similares. A calibração alizada baseou-se em medições diretamente rastreadas aos padrões nacionais do Brasil. Este certificado de calibração somente pode ser produzido em sua forma integral; reproduções parciais devem ser previamente autorizadas pelo INMETRO.

This certificate complies with the requirements of ABNT-ISO/IEC-Guide 25:1993 and applies only to the above mentioned measurement instrument/standard and can not be extended to any other measurement instruments, even similar ones. The calibration performed was based upon measurement directly traceable to the Brazilian metrological national standards. This certificate can be reproduced only in full version; partial productions require previous consent of INMETRO.

Características do Instrumento de Medição/Padrão

Measurement Instrument/Standard Characterization

- Sensibilidade em dB re 1V/Pa e mV/Pa.

Informações Pertinentes à Calibração

Information Concerning Calibration

Instrumentação utilizada/padrões

- Microfone Padrão B&K 4160 - N° de série 1453817
- Microcomputador
- Amplificador de medição B&K 2636 - N° de série 2050197
- Band Pass Filter B&K 1617 - N° de série 951714
- Multímetro HP 3478A - N° de série 2619A37989
- Gerador de sinais HP 33120A - N° de série US36026616
- Pré-amplificador B&K 2639 - N° de série 1555221
- Microphone Calibration Apparatus B&K 4142 - N° de série 297039
- Coupler Adaptor Ring B&K tipo DB0111
- Microfone B&K 4145 - N° de série 388564
- Termo-higrômetro Minipa-1360 - N° de série 609
- Barômetro B&K tipo UZ0003

Condições ambientais

- Temperatura : 22,5°C
- Umidade relativa : 64,1%
- Pressão atmosférica : 1014mbar

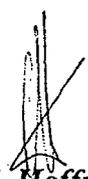
Método de Calibração

Calibration Method

A sensibilidade do microfone foi determinada em pressão por comparação com um microfone padrão. A excitação do microfone se deu com uma pressão sonora senoidal conhecida na faixa de frequências de 63Hz a 10.000Hz. O microfone estava equipado sem a grade de proteção habitual, que foi substituída pelo anel B&K tipo DB0111, e alimentado com a tensão de polarização especificada pelo fabricante. Para o acoplamento acústico do microfone foi utilizada uma cavidade de 20 cm³ (63Hz à 800Hz) e outra de 3 cm³ (1kHz à 10kHz). O procedimento está de acordo com as normas:

- IEC 61094-1 – Measurement microphones – Specifications for laboratory standard microphones
- IEC 61094-2 – Measurement microphones – Primary method for pressure calibration of laboratory standard microphones by the reciprocity technique
- IEC 61094-4 – Measurement microphones – Specifications for working standard microphones


Zemar M. Defilippo Soares
Responsável pela Calibração
Responsible for Calibration


Walter E. Hoffmann
Chefe do Laboratório de Eletroacústica
Head of Electroacoustics Laboratory

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

Calibration Certificate

LAETA 0410/1999

Número do Certificado

Certificate Number

Resultados e Declaração da Incerteza

Results and Uncertainties

TABELA DA SENSIBILIDADE DO MICROFONE CAPACITIVO:

Frequência (Hz)	Sensibilidade (dB re 1V/Pa)	Sensibilidade (mV/Pa)
63	-28,3	38,4
80	-28,3	38,4
100	-28,3	38,4
125	-28,3	38,3
160	-28,3	38,4
200	-28,3	38,3
250	-28,3	38,3
315	-28,3	38,3
400	-28,3	38,2
500	-28,3	38,3
630	-28,4	38,1
800	-28,3	38,3
1000	-28,4	38,0
1250	-28,4	38,2
1600	-28,4	38,2
2000	-28,3	38,3
2500	-28,3	38,5
3150	-28,3	38,6
4000	-28,2	38,8
5000	-28,2	38,8
6300	-28,4	37,9
8000	-29,1	35,2
10000	-30,6	29,5



Zemar M. Defilippo Soares
Responsável pela Calibração
Responsible for Calibration



Walter E. Hoffmann
Chefe do Laboratório de Electroacústica
Head of Electroacoustics Laboratory

Este certificado de calibração somente pode ser reproduzido em sua forma integral; reproduções parciais devem ser previamente autorizadas pelo INMETRO.

This certificate can be reproduced only in full version; partial reproductions require previous consent of INMETRO.

(Pag 3/4)

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

Calibration Certificate

LAETA 0410/1999

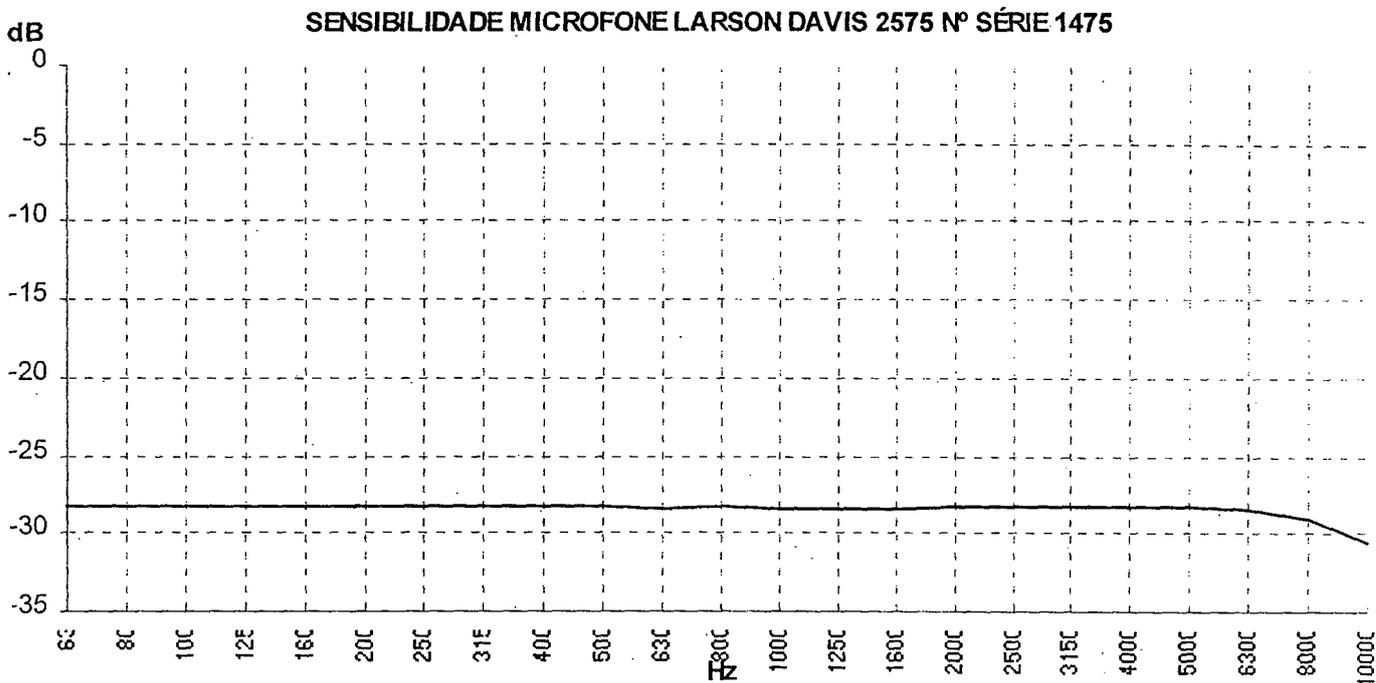
Número do Certificado

Certificate Number

Resultados e Declaração da Incerteza

Results and Uncertainties

CURVA DA SENSIBILIDADE DO MICROFONE CAPACITIVO (dB re 1V/Pa x Hz):



INCERTEZA

Incerteza das medições : 0,3 dB

Zemar M. Defilippo Soares
Responsável pela Calibração
Responsible for Calibration

Walter E. Hoffmann
Chefe do Laboratório de Eletroacústica
Head of Electroacoustics Laboratory

Este certificado de calibração somente pode ser reproduzido em sua forma integral; reproduções parciais devem ser previamente autorizadas pelo INMETRO.

This certificate can be reproduced only in full version; partial reproductions require previous consent of INMETRO.

9.6 Cópia do certificado de calibração do pré-amplificador de medição (LARI)



CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

Calibration Certificate issued by LNM/Brazil

LAETA 0412/1999
Número do Certificado
Certificate Number

Solicitante do Serviço

Customer

Nome: UFSC-DEPTO. ENG. MECÂNICA - LAB. DE VIBRAÇÕES E ACÚSTICA

Name

Endereço: CAMPUS UNIVERSITÁRIO, TRINDADE, FLORIANÓPOLIS, SC, BRASIL, CEP 88040-900

Address

Identificação do Instrumento de Medição / Padrão

Measurement Instrument/Standard Identification

Instrumento de Medição/Padrão: PRÉ-AMPLIFICADOR

Instrument/Standard

Fabricante: LARSON DAVIS

Manufacturer

Modelo/Tipo: modelo PRM 902

Model/Type

Número de Série: 0661

Serial Number

Código de Identificação: não consta

Identification Code

Informações Administrativas Pertinentes à Calibração

Administrative Information Concerning Calibration

Processo INMETRO: 4877/99

INMETRO Register

Data da Calibração: 04/11/99

Calibration Date

Laboratório Responsável pela Calibração: Laboratório de Eletroacústica - LAETA

Laboratory Responsible for the Calibration

04/11/99

Data da Emissão
do Certificado

Issued on


José Augusto Azevedo
Chefe da Divisão de Acústica e Vibração
Head of Division of Acoustics and Vibration



Este certificado de calibração atende aos requisitos do ABNT-ISO/IEC-Guia 25:1993 e é válido apenas para o instrumento de medição/padrão acima caracterizado, não sendo extensivo a quaisquer outros instrumentos de medição, ainda que similares. A calibração realizada baseou-se em medições diretamente rastreadas aos padrões nacionais do Brasil. Este certificado de calibração somente pode ser reproduzido em sua forma integral; reproduções parciais devem ser previamente autorizadas pelo INMETRO.

This certificate complies with the requirements of ABNT-ISO/IEC-Guide 25:1993 and applies only to the above mentioned measurement instrument/standard and can not be extended to any other measurement instruments, even similar ones. The calibration performed was based upon measurement directly traceable to the Brazilian metrological national standards. This certificate can be reproduced only in full version; partial reproductions require previous consent of INMETRO.

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

Calibration Certificate

LAETA 0412/1999

Número do Certificado

Certificate Number

Características do Instrumento de Medição/Padrão

Measurement Instrument/Standard Characterization

- Resposta em frequência em dB x Hz

Informações Pertinentes à Calibração

Information Concerning Calibration

Instrumentação utilizada/padrões

- Microcomputador
- Amplificador de medição B&K 2636 - N° de série 2050197
- Multímetro HP 3478A - N° de série 2619A37989
- Gerador de sinais HP 33120A - N° de série US36026616
- Termo-higrômetro Minipa-1360 - n° de série 609
- Barômetro B&K tipo UZ0003

Condições ambientais

- Temperatura : 22,5°C
- Umidade relativa : 63,5%
- Pressão atmosférica : 1013 mbar

Método de Calibração

Calibration Method

PRÉ-AMPLIFICADOR

A resposta em frequência do pré-amplificador foi determinado pela inserção de um sinal elétrico na entrada e leitura do sinal de saída na faixa de 20 Hz até 20 KHz. O resultado abaixo expresso representa a média entre três medições consecutivas.


Zemar M. DeFilippo Soares
Responsável pela Calibração
Responsible for Calibration


Walter E. Hoffmann
Chefe do Laboratório de Eletroacústica
Head of Electroacoustics Laboratory

Este certificado de calibração somente pode ser reproduzido em sua forma integral; reproduções parciais devem ser previamente autorizadas pelo INMETRO.

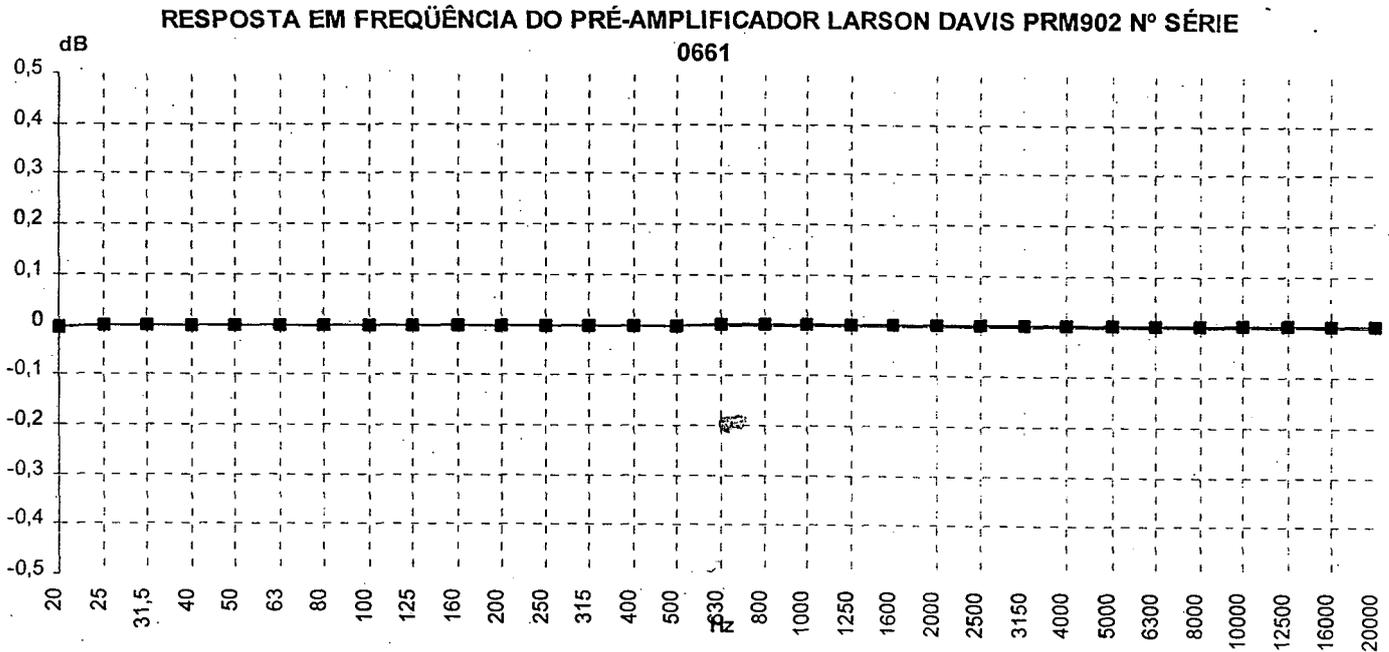
This certificate can be reproduced only in full version; partial reproductions require previous consent of INMETRO.

(Pag 2/4)

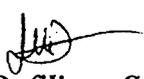
Resultados e Declaração da Incerteza

Results and Uncertainties

CURVA DA RESPOSTA EM FREQUÊNCIA (dB x Hz):



*
*
*
*
*
*
*
*
*
*
*
*
*


Zemar M. Defilippo Soares
Responsável pela Calibração
Responsible for Calibration


Walter E. Hoffmann
Chefe do Laboratório de Eletroacústica
Head of Electroacoustics Laboratory

Este certificado de calibração somente pode ser reproduzido em sua forma integral; reproduções parciais devem ser previamente autorizadas pelo INMETRO.

This certificate can be reproduced only in full version; partial reproductions require previous consent of INMETRO.

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

Calibration Certificate

LAETA 0412/1999
Número do Certificado
Certificate Number

Resultados e Declaração da Incerteza

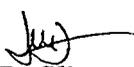
Results and Uncertainties

TABELA DA RESPOSTA EM FREQUÊNCIA DO PRÉ-AMPLIFICADOR:

freq (Hz)	Magnitude (dB)
20	-0,01
25	0,00
31,5	0,00
40	0,00
50	0,00
63	0,00
80	0,00
100	0,00
125	0,00
160	0,00
200	0,00
250	0,00
315	0,00
400	0,00
500	0,00
630	0,00
800	0,00
1000	0,00
1250	0,00
1600	0,00
2000	0,00
2500	0,00
3150	0,00
4000	0,00
5000	0,00
6300	0,00
8000	0,00
10000	0,00
12500	0,00
16000	0,00
20000	0,00

INCERTEZA

Incerteza das medições : 0,02 dB


Zemar M. Defilippo Soares
Responsável pela Calibração
Responsible for Calibration


Walter E. Hoffmann
Chefe do Laboratório de Eletroacústica
Head of Electroacoustics Laboratory

Este certificado de calibração somente pode ser reproduzido em sua forma integral; reproduções parciais devem ser previamente autorizadas pelo INMETRO.

This certificate can be reproduced only in full version; partial reproductions require previous consent of INMETRO.

**9.7 Cópia do certificado de calibração do medidor de NPS
(LARI)**



CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

Calibration Certificate issued by LNM/Brazil

LAETA 0408/1999

Número do Certificado

Certificate Number

Solicitante do Serviço

Customer

Nome: UFSC-DEPTO. ENG. MECÂNICA - LAB. DE VIBRAÇÕES E ACÚSTICA

Name

Endereço: CAMPUS UNIVERSITÁRIO, TRINDADE, FLORIANÓPOLIS, SC, BRASIL, CEP 88040-900

Address

Identificação do Instrumento de Medição / Padrão

Measurement Instrument/Standard Identification

Instrumento de Medição/Padrão: MEDIDOR DE NÍVEL SONORO COM FILTRO

Instrument/Standard

Fabricante: LARSON DAVIS

Manufacturer

Modelo/Tipo: modelo 824 tipo I

Model/Type

Número de Série: 824A0334

Serial Number

Código de Identificação: 2037

Identification Code

Informações Administrativas Pertinentes à Calibração

Administrative Information Concerning Calibration

Processo INMETRO: 4877/99

INMETRO Register

Data da Calibração: 28/10/99

Calibration Date

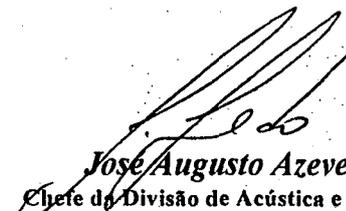
Laboratório Responsável pela Calibração: Laboratório de Eletroacústica - LAETA

Laboratory Responsible for the Calibration

28/10/99

Data da Emissão
do Certificado

Issued on


José Augusto Azevedo
Chefe da Divisão de Acústica e Vibração
Head of Division of Acoustics and Vibration



O presente certificado de calibração atende aos requisitos do ABNT-ISO/IEC-Guia 25:1993 e é válido apenas para o instrumento de medição/padrão acima caracterizado, não sendo extensivo a quaisquer outros instrumentos de medição, ainda que similares. A calibração realizada baseou-se em medições diretamente rastreadas aos padrões nacionais do Brasil. Este certificado de calibração somente pode ser reproduzido em sua forma integral; reproduções parciais devem ser previamente autorizadas pelo INMETRO.

This certificate complies with the requirements of ABNT-ISO/IEC-Guide 25:1993 and applies only to the above mentioned measurement instrument/standard and can not be extended to any other measurement instruments, even similar ones. The calibration performed was based upon measurement directly traceable to the Brazilian metrological national standards. This certificate can be reproduced only in full version; partial reproductions require previous consent of INMETRO.

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

Calibration Certificate

LAETA 0408/1999

Número do Certificado

Certificate Number

Características do Instrumento de Medição/Padrão

Measurement Instrument/Standard Characterization

- Curvas de ponderação A, C e Flat.
- Ponderação temporal Fast, Slow e Impulse.
- Detetor RMS.
- Linearidade.
- Filtro de bandas de terço de oitavas de 20 Hz a 20 kHz.

Informações Pertinentes à Calibração

Information Concerning Calibration

Instrumentação utilizada/padrões

- Microcomputador
- Calibrador Hentschel SK 148 - nº de série 45
- Termo-higrômetro Minipa-1360 - nº de série 606
- Barômetro B&K tipo UZ0003
- Adaptador JJ2614 5,8nF
- Amplificador de medição B&K 2636 - nº de série 962182
- Pré-Amplificador de microfone LD PRM902 - nº de série 0601 (propriedade do cliente)

Condições ambientais

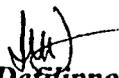
- Temperatura : 22,6 °C
- Umidade relativa : 67,1 %
- Pressão atmosférica : 1012 mbar

Método de Calibração

Calibration Method

MEDIDOR DE NÍVEL SONORO

O medidor de nível sonoro tem todas suas funções disponíveis avaliadas conforme a norma IEC 651 - *SOUND LEVEL METERS, 1st EDITION, 1979*, para o tipo especificado pelo fabricante. A calibração é um ensaio elétrico que consiste na geração de uma série de sinais especificados pela norma e conseqüente leitura das indicações fornecidas pelo equipamento. O filtro de banda de terças de oitava é avaliado conforme a norma IEC 1260 - *OCTAVE-BAND AND FRACTIONAL-OCTAVE-BAND FILTERS, 1st EDITION, 1995-07*, para o tipo especificado pelo fabricante. A calibração é um ensaio elétrico que consiste na geração de uma série de sinais especificados pela norma e conseqüente leitura da atenuação causada pelo equipamento. Os geradores utilizados são instrumentos de uso exclusivo pelo laboratório e dedicados a este ensaio. Os sinais gerados e as tolerâncias utilizadas são definidos pela norma.


Zemar M. De Filippo Soares
Responsável pela Calibração
Responsible for Calibration


Walter E. Hoffmann
Chefe do Laboratório de Eletroacústica
Head of Electroacoustics Laboratory

Este certificado de calibração somente pode ser reproduzido em sua forma integral; reproduções parciais devem ser previamente autorizadas pelo INMETRO.

This certificate can be reproduced only in full version; partial reproductions require previous consent of INMETRO.

(Pag 2/7)

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

Calibration Certificate

LAETA 0408/1999

Número do Certificado

Certificate Number

Resultados e Declaração da Incerteza

Results and Uncertainties

Gráfico da curva de ponderação A:

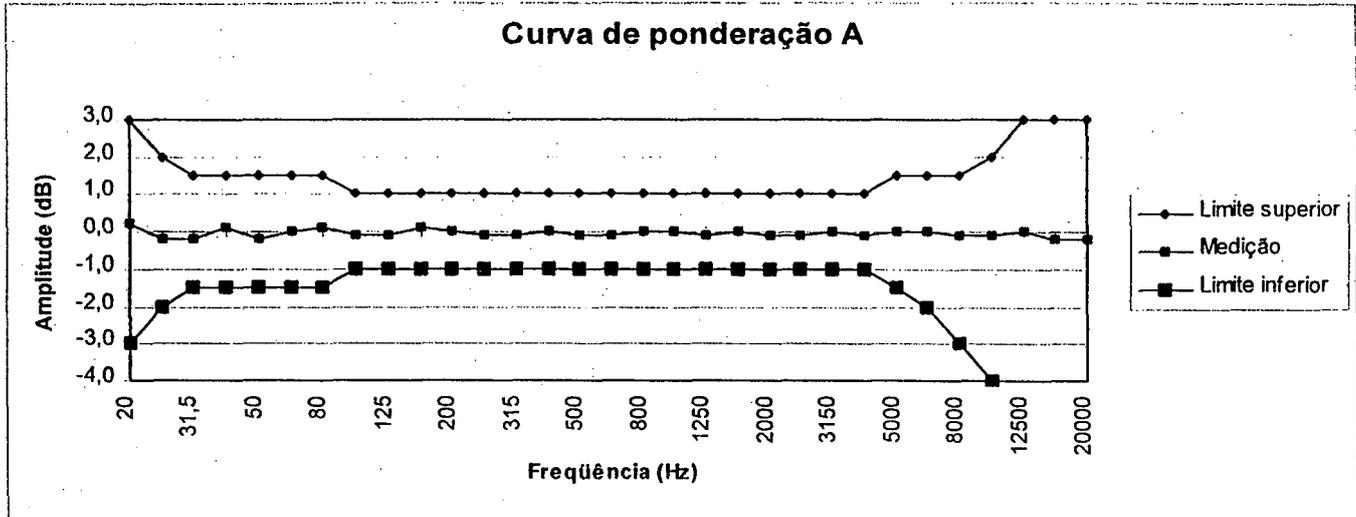


Tabela de correção da curva de ponderação A:

Freq. (Hz)	Medição
20	-0,2
25	0,2
31,5	0,2
40	-0,1
50	0,2
63	0,0
80	-0,1
100	0,1
125	0,1
160	-0,1
200	0,0
250	0,1
315	0,1
400	0,0
500	0,1
630	0,1

Freq. (Hz)	Medição
800	0,0
1000	0,0
1250	0,1
1600	0,0
2000	0,1
2500	0,1
3150	0,0
4000	0,1
5000	0,0
6300	0,0
8000	0,1
10000	0,1
12500	0,0
16000	0,2
20000	0,2

Medição de acordo com as tolerâncias especificadas.


Zemar M. Defilippo Soares
Responsável pela Calibração
Responsible for Calibration


Walter E. Hoffmann
Chefe do Laboratório de Eletroacústica
Head of Electroacoustics Laboratory

Este certificado de calibração somente pode ser reproduzido em sua forma integral; reproduções parciais devem ser previamente autorizadas pelo INMETRO.

This certificate can be reproduced only in full version; partial reproductions require previous consent of INMETRO

(Pag 3/7)

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

Calibration Certificate

LAETA 0408/1999

Número do Certificado

Certificate Number

Resultados e Declaração da Incerteza

Results and Uncertainties

Gráfico da curva de ponderação C:

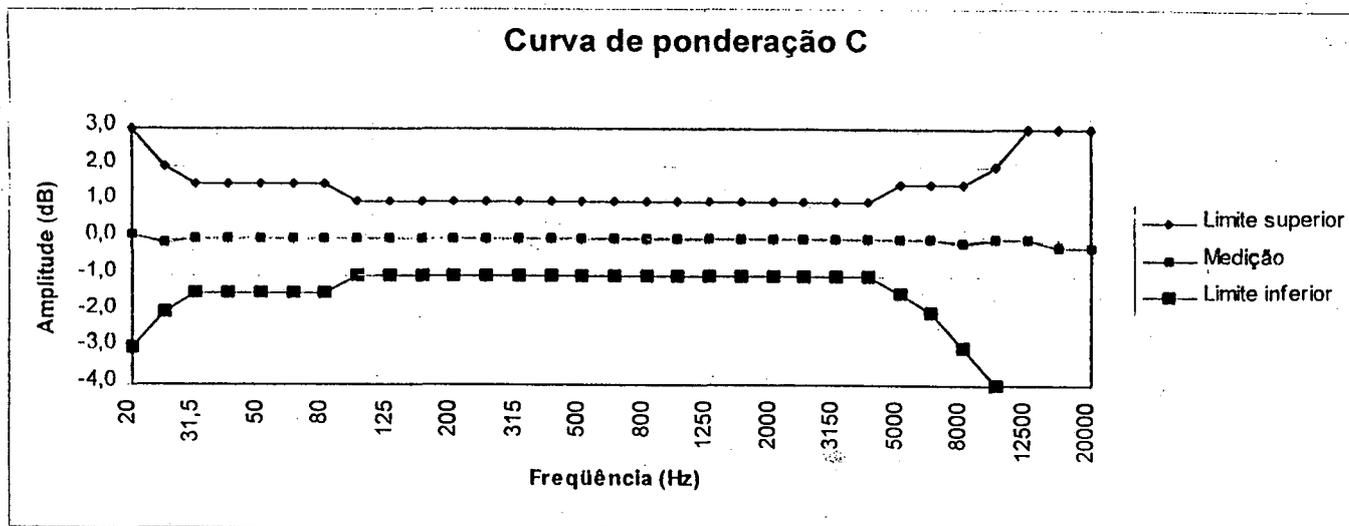
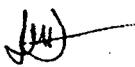


Tabela de correção da curva de ponderação C:

Freq. (Hz)	Medição
20	-0,1
25	0,1
31,5	0,0
40	0,0
50	0,0
63	0,0
80	0,0
100	0,0
125	0,0
160	0,0
200	0,0
250	0,0
315	0,0
400	0,0
500	0,0
630	0,0

Freq. (Hz)	Medição
800	0,0
1000	0,0
1250	0,0
1600	0,0
2000	0,0
2500	0,0
3150	0,0
4000	0,0
5000	0,0
6300	0,0
8000	0,1
10000	0,0
12500	0,0
16000	0,2
20000	0,2

Medição de acordo com as tolerâncias especificadas.


Zemar M. Defilippo Soares
Responsável pela Calibração
Responsible for Calibration


Walter E. Hoffmann
Chefe do Laboratório de Electroacústica
Head of Electroacoustics Laboratory

Este certificado de calibração somente pode ser reproduzido em sua forma integral; reproduções parciais devem ser previamente autorizadas pelo INMETRO.

This certificate can be reproduced only in full version; partial reproductions require previous consent of INMETRO.

(Pag 4/7)

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

Calibration Certificate

LAETA 0408/1999

Número do Certificado

Certificate Number

Resultados e Declaração da Incerteza (continuação)

Results and Uncertainties (continuation)

Gráfico da curva Flat:

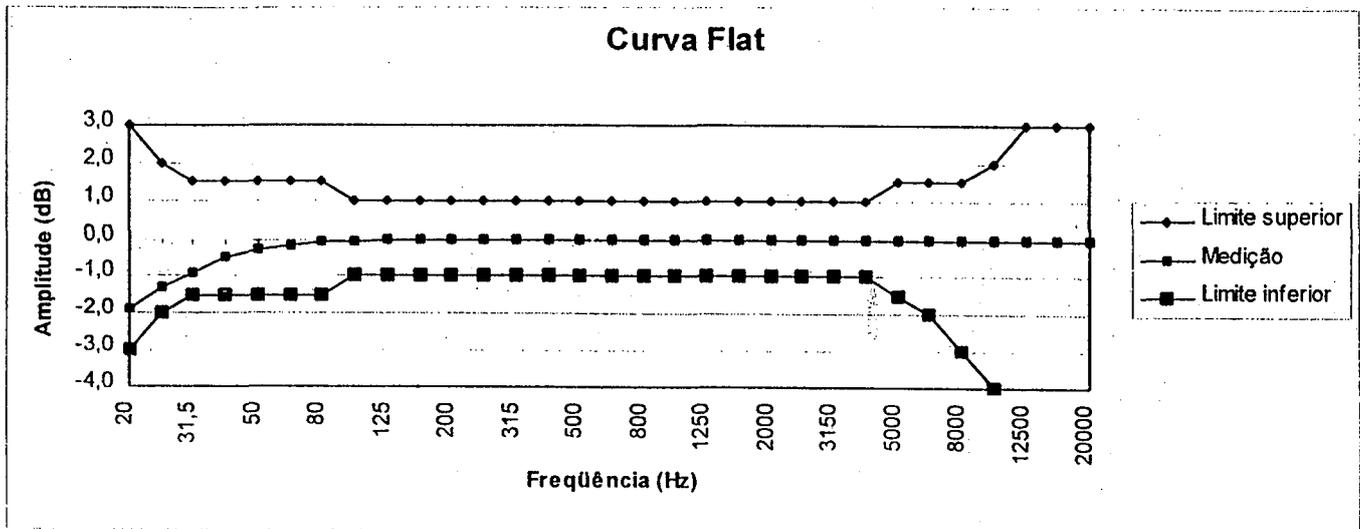
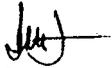


Tabela de correção da curva Linear:

Freq. (Hz)	Medição
20	1,9
25	1,3
31,5	0,9
40	0,5
50	0,3
63	0,2
80	0,1
100	0,1
125	0,0
160	0,0
200	0,0
250	0,0
315	0,0
400	0,0
500	0,0
630	0,0

Freq. (Hz)	Medição
800	0,0
1000	0,0
1250	0,0
1600	0,0
2000	0,0
2500	0,0
3150	0,0
4000	0,0
5000	0,0
6300	0,0
8000	0,0
10000	0,0
12500	0,0
16000	0,0
20000	0,0

Medição de acordo com as tolerâncias especificadas.


Zemar M. Defilippo Soares
Responsável pela Calibração
Responsible for Calibration


Walter E. Hoffmann
Chefe do Laboratório de Eletroacústica
Head of Electroacoustics Laboratory

Este certificado de calibração somente pode ser reproduzido em sua forma integral; reproduções parciais devem ser previamente autorizadas pelo INMETRO.

This certificate can be reproduced only in full version; partial reproductions require previous consent of INMETRO.

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

Calibration Certificate

LAETA 0408/1999

Número do Certificado

Certificate Number

Resultados e Declaração da Incerteza (continuação)

Results and Uncertainties (continuation)

Gráfico de atenuação do filtro para a banda de 1 kHz :

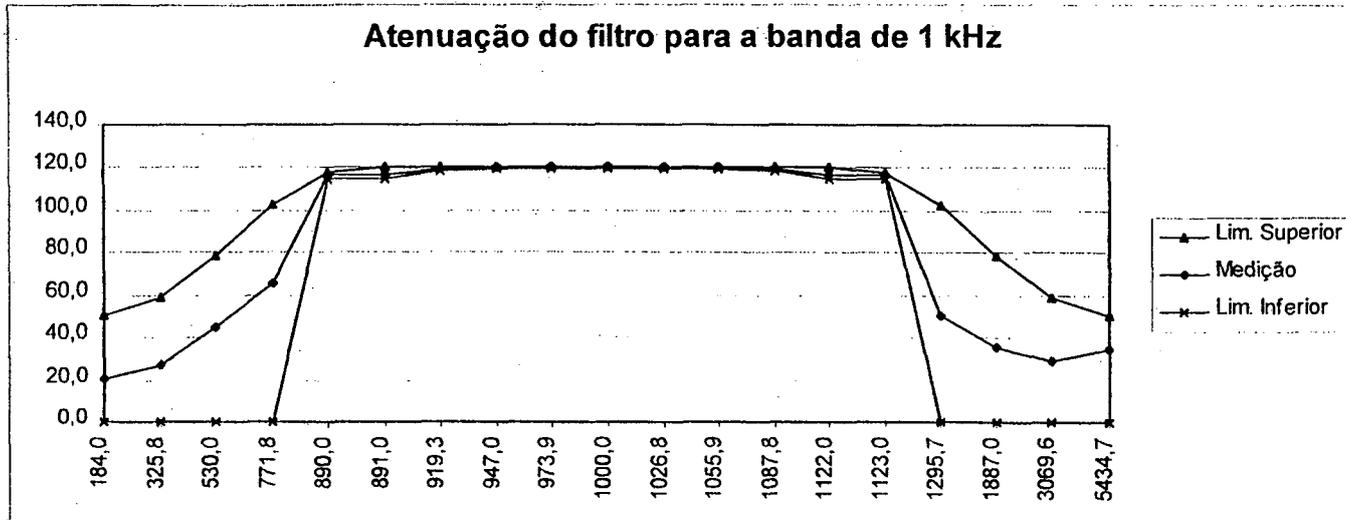


Tabela de correção do filtro para a banda de 1 kHz :

Freq. (Hz)	Lim. Superior	Medição	Lim. Inferior
184,0	50,0	20,50	-infinito
325,8	59,0	27,40	-infinito
530,0	78,0	45,10	-infinito
771,8	102,5	65,10	-infinito
890,0	118,0	116,60	115,0
891,0	120,3	116,70	115,0
919,3	120,3	119,30	118,7
947,0	120,3	120,10	119,4
973,9	120,3	120,10	119,6
1000,0	120,3	120,00	119,7
1026,8	120,3	120,10	119,6
1055,9	120,3	120,10	119,4
1087,8	120,3	119,70	118,7
1122,0	120,3	117,10	115,0
1123,0	118,0	116,90	115,0
1295,7	102,5	50,50	-infinito
1887,0	78,0	35,80	-infinito
3069,6	59,0	29,00	-infinito
5434,7	50,0	34,60	-infinito

Medição de acordo com as tolerâncias especificadas.


Zemar M. Defilippo Soares
 Responsável pela Calibração
 Responsible for Calibration


Walter E. Hoffmann
 Chefe do Laboratório de Eletroacústica
 Head of Electroacoustics Laboratory

Este certificado de calibração somente pode ser reproduzido em sua forma integral; reproduções parciais devem ser previamente autorizadas pelo INMETRO.

This certificate can be reproduced only in full version; partial reproductions require previous consent of INMETRO

(Pag 6/7)

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

Calibration Certificate

LAETA 0408/1999

Número do Certificado

Certificate Number

Resultados e Declaração da Incerteza (continuação)

Results and Uncertainties (continuation)

PONDERAÇÃO TEMPORAL

FAST : de acordo com as tolerâncias especificadas pela norma.

SLOW : de acordo com as tolerâncias especificadas pela norma.

IMPULSE : de acordo com as tolerâncias especificadas pela norma.

DETETOR RMS

Fator de crista 3, 5 e 10 : **de acordo** com as tolerâncias especificadas pela norma.

LINEARIDADE

Linearidade **de acordo** com as tolerâncias especificadas de 31 a 127 dB.

INCERTEZA

Incerteza das medições : **0,2 dB**


Zemar M. Defilippo Soares
Responsável pela Calibração
Responsible for Calibration


Walter E. Hoffmann
Chefe do Laboratório de Electroacústica
Head of Electroacoustics Laboratory

Este certificado de calibração somente pode ser reproduzido em sua forma integral; reproduções parciais devem ser previamente autorizadas pelo INMETRO.

This certificate can be reproduced only in full version; partial reproductions require previous consent of INMETRO.

(Pag 7/7)

**9.8 Cópia do certificado de calibração do audiômetro AC 40
emitido por: Acústica Orlandi Indústria e Comércio**



ACÚSTICA ORLANDI INDÚSTRIA E COMÉRCIO
Equipamentos e Acessórios para Audiologia - Manutenção e Vendas

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

Audiômetro

Usuário: Universidade Federal de Santa Catarina (LARIO) **Florianópolis - SC**
Modelo: Interacoustics AC-40 **Nº de série:** 0514
Via aérea (VA): Fones: TDH-39 **Via óssea (VO):**

Freq. Hz	Freq. Hz	VIA AÉREA Tom puro				VIA AÉREA Mascaramentos NBN				VIA ÓSSEA Tom puro	
		dB		Med. Dir.	Med. Esq.	dB		Med. Dir.	Med. Esq.	dB	Med.
Sel.	Med.	NA	Corr.			NA	Corr.			NA	Corr.
125	125	60	45	105,1	105	50	49	99	99		
250	250	70	25,5	95,6	95,5	70	29,5	99,5	99,5	30	67
500	500	80	11,5	91,5	91,5	80	15,5	95,5	95,5	40	58
750	750	80	8	88	88,2	80	13	93	93	50	48,5
1000	999	80	7	87	87	80	13	93	93	50	42,5
1500	1499	80	6,5	86,5	86,7	80	12,5	92,5	92,5	50	36,5
2000	1999	80	9	89,1	89	80	15	95	95	50	31
3000	2999	80	10	90	90	80	16	96	96	50	30
4000	3999	80	9,5	89,5	89,5	80	14,5	94,5	94,5	50	35,5
6000	5999	80	15,5	95,6	95,6	80	20,5	100,5	100,5	40	40
8000	8001	80	13	93	93,1	80	18	98	98	40	40
Tol	ΔF			≤4KHz ≤±3dB				≤4KHz ≤±3dB			
	≤3%			>4KHz ≤±5dB				>4KHz ≤±5dB			+/- 2dB

Sinal de Fala				Ruído de Fala				Ruído Branco			
Entrada 1KHz: 0dB VU				(Speech Noise)				(White Noise)			
Pos. do at. 80dB NA				Pos. do at. 80dB NA				Pos. do at. 80dB NA			
VA Dir.		VA Esq.		VA Dir.		VA Esq.		VA Dir.		VA Esq.	
NPS	Med.	NPS	Med.	NPS	Med.	NPS	Med.	NPS	Med.	NPS	Med.
100	100	100	100	--	--	--	--	80	80	80	80
Tol. ≤±3dB		Tol. ≤±3dB		Tol. ≤±3dB		Tol. ≤±3dB		Tol. ≤±3dB		Tol. ≤±3dB	

Linearidade do atenuador em 1KHz: **OK**

Padrões: Fone Koss Pro: IEC-645-1/2/4 / ANSI S3.43-1992
Fone HDA-200: ANSI S3.6-1996 / ANSI S3.43-1992 / IEC-642-1/2/4 / ISO-389-1991
Fone TDH-50: ANSI S3.6-1996 / ISO-389-1991 / ISO-389-4 / IEC-645-1/2/4
Fone TDH-49: ANSI S3.6-1996/ISSO-389-1991/IEC-645-1/2/4
Fone TDH-39: ANSI S3.6-1996 / ISO-389-1991 / ISO-8798 / ANSI S3.43-1992
Via óssea: ANSI S3.43-1992 / ISO-389-3/ISO-7566

Equipamentos: VA: calibrador B&K 4231, microfone B&K 4144, ouvido artificial B&K 4152

VO: Mastóide artificial B&K 4930

Med. NPS: B&K modelo 2260B

Calibrado pôr: J A Orlandi

Data: 06/09/99

CNPJ: 02956189/0001-16

LOPES & ORLANDI LTDA.

Rua Capitão Gomes Duarte, 20-07 - Vila Universitária - Bauru - SP - CEP: 17043-041

Fone/Fax: (014) 234-1503 - e mail: orlandi@techno.com.br

9.9 Modelos de relatórios de calibração de audiômetros da Universidade Macquarie - Austrália

Macquarie University - Speech, Hearing and Language Research Centre
AUDIOMETER CALIBRATION REPORT

MAKE: MADSEN
 MODEL: OB 822
 Serial No.: 28271
 DATE: 08/01/2001
 Location: C5A 555 (B1)
 Report No. 01 A2 01.wpr

TRANSDUCER: AIR - LEFT TDH-39 107519
 TYPE: TDH-39 49610
 Serial No: 52039

FREQUENCY Max Dev 3%	AIR - LEFT 70 DIAL				AIR - RIGHT 70 DIAL				BONE CONDUCTOR 30 DIAL (dB Ref IN +2&K 2231SLM)				BONE CONDUCTOR 30 DIAL				AMBIENT DBSPL (OCTAVE)			
	Hz	Meas	±Hz	STD Dev'n	T H D	STD Dev'n	NB-NOISE 60 DIAL	Dev'n	T H D	STD Dev'n	NB-NOISE 60 DIAL	Dev'n	SLM(2)	Dev'n	S P L	STD	S P L	S P L	ATR2	Meas
125	•			115.0	-0.2	•	99.0	+0.2							105	89.0			41	32
250	•			95.5	-0.5	•	89.5	-0.2							95	79.5			23	21
500	•			81.5	-0.3	•	75.5	+0.2							82	65.5			18	8
750	•			77.5	-0.3	•	72.5	+0.2							77	62.5				
1000	•			77.0	-0.1	•	73.0	+0.3							77	63.0			17	8
1500	•			76.5	0.0	•	72.5	0.0							76	62.5				
2000	•			79.0	+0.4	•	75.0	-0.4							79	65.0			17	8
3000	•			80.0	-0.1	•	76.0	0.0							80	66.0				
4000	•			79.5	+0.3	•	74.5	-0.5							80	64.5			13	10
6000	•			85.5	+0.4	•	80.5	-0.3							85	70.5				
8000	•			83.0	-0.2	•	78.0	+0.1							83	68.0			23	10
10000	•			83.0	-0.3	•	78.0	+0.4							83	68.0				
12000	•			83.0	0.0	•	78.0	-0.1							83	68.0				
LEFT	-1.7	-1.4		-1.3	-1.2		-1.0	-0.9							+1.6	+1.8	+1.8	+2.6	+2.8	+3.0
1kHz	127.0	122.0		117	112.0		107.0	102.0							32.0	27.0	22.0	17.0	12.0	7.0
RIGHT	-2.7	-2.4		-2.3	-2.0		-2.3	-1.8							+1.9	+1.9	+1.9	+2.6	+2.8	+3.3

MASKING	AIR LEFT	AIR RIGHT	STD 30 DIAL	BONE	F/F-LEFT L/SPKR	F/F-RIGHT INSERT	F/F-RIGHT MOUND	STANDARDS / REFS:		TEMP:	Rel Humidity (%):
	90.2	89.6	30.0	90	90		ISO 389	1591.2, 1987			
WHITE NOISE 90 dBal								ISO 389	1591.2, 1987	Comments: Bone conductor shows signs of ageing. Severe drop of response at higher frequencies Replacement headphone leads on order	
SPEECH NOISE 70dBal	94.5	95.0	55.0	70			ISO 7566	1591.5, 1987			
MTC @ 0VU	102.0	102.0	52.0				ISO 7598	1591P4 1974			
TAPE 1 @ 0VU	102.4	101.8	52.0				AS 2586, 1983	Z43 P3, 1969	Calibrated By: CHRIS CALLAGHAN	Signature:	
TAPE 2 @ 0 VU	101.8	101.8	52.0				AHS-ATR	JASA83.2/88			

Macquarie University - Speech, Hearing and Language Research Centre
AUDIOMETER CALIBRATION REPORT

MAKE:	INTERACOUSTICS	DATE:	16 Nov 2000
MODEL:	AD17	Location:	PORTABLE
Serial No.:	1813	Report No.	00CTCAD17 1

TRANSDUCER: TYPE: Serial No:	AIR - LEFT TDH-39 Not recorded						AIR - RIGHT TDH-39 Not recorded						BONE CONDUCTOR B71 33980						TEMP:							
	FREQUENCY Mkz Dev 3%	MIC CORR.	STD 70 DIAL	MEAS 70 DIAL	Dev'n 60 DIAL	NE-NOISE 60 DIAL	STD 70 DIAL	MEAS 70 DIAL	Dev'n 60 DIAL	NE-NOISE 60 DIAL	STD 30 DIAL (dB Ref IN-B&K 2231 SLM)	SLM(1) 30 DIAL	Dev'n 30 DIAL	SLM(2) 30 DIAL	Dev'n 30 DIAL	TONE LEFT LSPKR	NE-NOISE 60 DIAL	F/F RIGHT INSERT	S P L	STD	S P L	S P L	LDL 60 DIAL	ATR2	AMBIENT DBSPL (OCTAVE)	Mass
Hz	Mkz	±Hz	dB	STD	MEAS	Dev'n	STD	MEAS	Dev'n	STD	SLM(1)	Dev'n	SLM(2)	Dev'n	S P L	STD	S P L	S P L	STD	S P L	S P L	LDL	ATR2	AMBIENT DBSPL (OCTAVE)	Mass	
125				115.0	115.0	0.0	99.0	+ 9.0	115.0	116.0	+ 1.0	99.0	+ 13.0													
250				95.5	96.5	0.0	89.5	+ 2.0	95.5	96.5	+ 1.0	89.5	+ 4.0													
500				81.5	81.5	0.0	75.5	+ 2.0	81.5	81.5	0.0	75.5	+ 4.0													
750				77.5	77.5	0.0	72.5	+ 6.0	77.5	81.0	+ 3.5	72.5	+ 6.0													
1000				77.0	77.0	0.0	73.0	- 0.5	77.0	77.5	+ 0.5	73.0	0.0													
1500				76.5	76.5	0.0	72.5	- 0.5	76.5	78.5	+ 2.0	72.5	0.0													
2000				79.0	79.0	0.0	75.0	0.0	79.0	79.5	+ 0.5	75.0	- 0.5													
3000				80.0	80.5	+ 0.5	76.0	0.0	80.0	81.0	+ 1.0	76.0	+ 0.5													
4000				79.5	79.5	0.0	74.5	0.0	79.5	81.5	+ 2.5	74.5	+ 1.5													
6000				85.5	84.5	- 1.0	80.5	- 0.5	85.5	86.0	+ 0.5	80.5	0.0													
8000				83.0	82.5	- 0.5	78.0	- 4.5	83.0	82.0	- 1.0	78.0	- 3.5													
10000				83.0			78.0		83.0			78.0														
12000				83.0			78.0		83.0			78.0														
LEFT	126.8	121.3	116.4	111.0	107.0	102.3	97.4	92.0	87.0	82.0	77.0	72.2	67.2	62.3	57.3	52.4	47.5	42.6	37.7	33.0	28.0	23.2	18.6	14.2	9.4	
1kHz	127.0	122.0	117.0	112.0	107.0	102.0	97.0	92.0	87.0	82.0	77.0	72.0	67.0	62.0	57.0	52.0	47.0	42.0	37.0	32.0	27.0	22.0	17.0	12.0	7.0	
RIGHT	127.9	123.3	118.4	113.0	108.2	103.3	98.1	92.8	87.5	82.6	77.5	72.4	67.5	62.5	57.6	52.6	47.7	42.8	37.9	33.0	28.1	23.5	18.8	14.2	8.2	
MASKING		STD 90 DIAL	AIR LEFT	AIR RIGHT	STD 30 DIAL	BONE	F/F L LSPKR	F/F R INSERT	F/F R MOULD	STANDARDS / REFS:														TEMP:		
WHITE NOISE		90.0			30.0					ISO 389 1591.2, 1987														Rel. Humidity (%):		
SPEECH NOISE		115.0	90.4	90.2	55.0					ISO 7366 1591.5, 1987														Calibration performed under controlled conditions		
MIC. @ 0VU		102.0			52.0					ISO 7598 1591P4 1974														Comments: Replaced H/Phone leads & fitted phones to open cage frame		
TAPE 1 @ 0VU		102.0	109.3	109.4	52.0					AS 2586, 1983 Z43 P3, 1969														No F/F speaker available for measurement		
										Calibrated By: CHRIS CALLAGHAN - Technical Facilities Manager - LINGUISTICS																

