

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
MECÂNICA

ATENUAÇÃO DO RUÍDO DOS PROTETORES AUDITIVOS
PELO USO DA TÉCNICA MIRE

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

MESTRANDO: José Manuel Espinosa Robles
ORIENTADOR: Prof. Samir N.Y. Gerges, Ph. D.

FLORIANÓPOLIS

2008

*À minha esposa Mónica
por todo seu amor, compreensão e dedicação
nesta etapa de nossa vidas*

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Saúde Pública do Chile (ISP), pela oportunidade de ter esta maravilhosa experiência no Brasil.

Ao professor e orientador Samir N. Y. Gerges, pela orientação, conselhos e sugestões no desenvolvimento da dissertação, além do apoio e motivação pessoal.

Aos colegas do Laboratório de Vibrações e Acústica da UFSC pela amizade e apoio dado durante a minha formação (sem vocês tivesse sido muito difícil caros amigos!)

Aos professores da banca examinadora: Arcanjo Lenzi, Roberto Jordan e Jorge Arenas por contribuírem com suas análises e opiniões na revisão desta dissertação.

Aos meus pais e irmãos, um especial agradecimento pelo carinho, confiança e apoio de toda uma vida.

Ao meu amigo Felipe (zetta) pelo incentivo de vir ao Brasil, apoio constante, sábios conselhos e o mais importante, pela sua amizade (*no te mueras nunca amigo!*).

Novamente á Mónica, minha companheira e amiga, pelo incansável e constante apoio e dedicação durante estes anos no Brasil.

SUMÁRIO

Lista de Figuras	.....	X
Lista de Tabelas	.....	XII
Lista de Termos	.....	XIII
Resumo	.....	XIV
Abstract	.....	XV
CAPÍTULO 1	Introdução	1
1.1	Justificativa	1
1.2	Objetivos	2
1.2.1	Geral	2
1.2.2	Específicos	2
1.3	Limitações do Estudo	3
1.4	Organização do estudo	3
CAPITULO 2	Revisão Bibliográfica	4
2.1	Protetores Auditivos	4
2.1.1	Tipos de Protetores Auditivos	4
2.1.1.1	Protetores de Inserção.....	5
2.1.1.2	Protetores de tipo Semi-Inserção.....	6
2.1.1.3	Protetores do Tipo Concha.....	6
2.1.1.4	Protetores do Tipo Capacete.....	7
2.1.1.5	Protetores Sensíveis à Amplitude.....	7
2.1.2	Métodos de Avaliação de um Protetor Auditivo no Laboratório	7
2.1.2.1	Métodos de Ensaio da Atenuação do Ruído de um Protetor Auditivo no Laboratório.....	8
2.1.1.2.1	Método do Ouvido Real no Limiar de Audição, REAT.....	8
2.1.1.2.2	Método do Microfone ao Interior do Ouvido Real, MIRE.....	10
2.1.1.2.3	Uso de Manequim e Cabeça Artificial.....	12
2.1.3	Trajétórias do Ruído pelo Protetor Auditivo	13
2.1.4	Relação entre a Redução de Ruído (NR), Perda de Inserção	

	(IL) e a Atenuação de Ruído obtida pelo método REAT.....	14
2.2	Tratamento Estatístico dos Dados.....	17
2.2.1	Incerteza das Medições. Guia para a Expressão da Incerteza de Medição.....	17
2.2.1.1	Avaliação das Incertezas.....	18
2.2.1.1.1	Avaliação Tipo A da Incerteza Padrão (ou padronizada).....	18
2.2.1.1.2	Avaliação Tipo B da Incerteza Padrão (ou padronizada).....	19
2.2.1.2	Determinação da Incerteza Padrão Combinada.....	19
2.2.1.2.1	Grandezas de Entrada não Correlacionadas.....	20
2.2.1.2.2	Grandezas de Entrada Correlacionadas.....	20
2.2.1.3	Determinação da Incerteza Expandida (U).....	20
2.2.1.3.1	Escolha do Fator de Abrangência.....	21
2.2.1.3.2	Determinação do Número de Graus de Liberdade.....	21
CAPÍTULO 3	Materiais e Métodos.....	23
3.1	Descrição do Sistema de Medição da Redução de Ruído do Tipo Mire-B.....	23
3.1.1	Especificações Técnicas.....	23
3.1.1.1	Campo Acústico de Teste.....	23
3.1.1.2	Geração do Sinal.....	24
3.1.1.2.1	Seleção do Sinal de Teste.....	24
3.1.1.2.2	Escolha do Ponto de Funcionamento do Sistema.....	24
3.1.1.2.3	Verificação dos Requerimentos Normativos de Referências.....	25
3.1.1.2.3.1	O tempo de Integração do Sinal.....	25
3.1.1.2.3.2	A Capacidade de Sustentação do Sinal de Pico.....	27
3.1.1.2.3.3	A Faixa dinâmica do Sinal de Teste.....	28
3.1.1.3	A Captação do Sinal.....	29
3.1.1.3.1	A Cadeia de Instrumentação Proposta.....	29
3.1.1.3.1.1	A Captação do Sinal Fora das Conchas do Protetor.....	30
3.1.1.3.1.1.1	Características dos Microfones DPA.....	30
3.1.1.3.1.1.2	Verificação da Resposta de Frequência dos Microfones DPA para o Campo Difuso.....	30
3.1.1.3.1.1.3	Localização dos Microfones DPA Fora das Conchas do Protetor.....	32

3.1.1.3.1.2	A Captação do Sinal Dentro das Conchas do Protetor.....	34
3.1.1.3.1.2.1	Características dos Microfones Panasonic.....	34
3.1.1.3.1.2.2	Características do Circuito Pré-amplificador do Sinal.....	34
3.1.1.3.1.2.3	Verificação da Resposta de Frequência do Conjunto Microfone Panasonic-Pré-amplificador para o Campo de Pressão.....	35
3.1.1.3.1.2.4	Sensibilidade do Conjunto Microfone Panasonic-Pré- amplificador.....	37
3.1.1.3.1.2.5	Ruído Inerente e Faixa Dinâmica do Conjunto Microfone Panasonic-Pré-amplificador.....	38
3.1.1.3.1.2.6	Localização dos Microfones Panasonic Dentro das Conchas do Protetor.....	39
3.1.1.3.1.2.7	Verificação da Relação o Sinal/Ruido dos Microfones Panasonic.....	40
3.1.1.3.1.2.8	Efeito do Vazamento gerado pelo Cabo do Microfone no Interior da Concha do Protetor.....	41
3.1.1.3.1.2.9	Efeito do Conduto Auditivo no Microfone Panasonic Localizado no Interior da Concha.....	42
3.1.2	Validação do Sistema de Medição da Redução de Ruído Proposto.....	42
3.1.2.1	Fundamentação.....	42
3.1.2.2	Metodologia.....	44
3.1.2.2.1	Estrutura e Instrumentação Usada.....	44
3.1.2.2.2	Obtenção da TFOE para a Cabeça Artificial.....	44
3.1.2.2.3	Obtenção da Perda de Inserção (IL).....	45
3.1.2.2.4	Obtenção da Redução de Ruído Segundo o Método MIRE-B....	45
3.1.2.3	Comparação dos Resultados Obtidos.....	45
3.1.3	Cálculo das Incertezas do Método tipo MIRE-B.....	47
3.1.3.1	Desenvolvimento Matemático.....	47
3.1.3.1.1	Obtenção do Valor Final da Redução de Ruido do Protetor.....	47
3.1.3.1.2	Expressão da Incerteza Padrão Combinada da NR_T	47
3.1.3.2	Quantificação das Fontes de Incertezas.....	49
3.1.3.2.1	Variáveis que Tem Influência na Incerteza Padrão Combinada da Redução de Ruído de um Protetor Auditivo.....	49
3.1.3.2.1.1	Calibrador de Nível Sonoro.....	51
3.1.3.2.1.2	Ajuste dos Microfones na Calibração.....	51

3.1.3.2.1.3	Resposta de Frequência do Sistema Microfone-Pré-amplificador DPA.....	52
3.1.3.2.1.4	Resposta de Frequência do Sistema Microfone-Pré-amplificador Panasonics.....	52
3.1.3.2.1.5	Linearidade dos Sistemas de Medição.....	52
3.1.3.2.1.6	Temperatura.....	52
3.1.3.2.1.7	Umidade Relativa do Ar.....	53
3.1.3.2.1.8	Variações da Estabilidade no Tempo (Deriva).....	53
3.1.3.2.1.9	Resolução da Medição.....	54
3.1.3.2.1.10	Localização do Microfone Fora da Concha.....	54
3.1.3.2.1.11	Fontes Aleatórias (Repetibilidade das Medições).....	54
3.1.3.3	Balanco de Incertezas.....	55
3.1.3.3.1	Resumo das Incertezas Identificadas.....	55
3.1.3.3.2	Obtenção da Incerteza Padrão Combinada.....	56
3.1.3.4	Determinação da Incerteza Expandida (U) da Redução de Ruído.....	57
3.2	Comparação com Outros Critérios de Avaliação.....	58
3.2.1	Metodologia.....	58
3.2.1.1	Seleção dos Protetores Auditivos do tipo Concha.....	59
3.2.1.2	Número e Seleção dos Participantes (Ouvintes).....	59
3.2.1.3	Aspectos Éticos.....	59
3.2.1.4	Análise Estatística Usado para a Comparação dos Resultados...	59
CAPÍTULO 4	Discussão.....	60
4.1	Protetor Auditivo 3M 1435.....	60
4.1.1	Resultados Obtidos.....	60
4.1.2	Análise dos Dados Obtidos.....	61
4.1.2.1	Comparação das Atenuações de Ruído Feitas pelo Método REAT (ANSI S3.19-1974 e ANSI S12.6/1997-B (LARI)).....	61
4.1.2.2	Comparação das Reduções de Ruído Feitas pelo Método MIRE (com Colocação pelo Ouvinte e pelo Examinador).....	62
4.1.2.3	Comparações do método REAT v/s MIRE.....	62
4.2	Protetor Auditivo Bilsom Leightning L3.....	64
4.2.1	Resultados Obtidos.....	64

4.2.2	Análise dos Dados Obtidos.....	65
4.2.2.1	Comparação das Atenuações de Ruído Feitas pelo Método REAT (ANSI S3.19-1974 e ANSI S12.6/1997-B (LARI)).....	65
4.2.2.2	Comparação das Reduções de Ruído Feitas pelo Método MIRE (com Colocação pelo Ouvinte e pelo Examinador).....	65
4.2.2.3	Comparações do método REAT v/s MIRE.....	65
4.3	Protetor Auditivo Bilsom Leightning LOF.....	67
4.3.1	Resultados Obtidos.....	67
4.3.2	Análise dos Dados Obtidos.....	68
4.3.2.1	Comparação das Atenuações de Ruído Feitas pelo Método REAT (ANSI S3.19-1974 e ANSI S12.6/1997-B (LARI)).....	68
4.3.2.2	Comparação das Reduções de Ruído Feitas pelo Método MIRE (com Colocação pelo Ouvinte e pelo Examinador).....	68
4.3.2.3	Comparações do método REAT v/s MIRE.....	68
4.4	Protetor Auditivo MSA Mark V.....	70
4.4.1	Resultados Obtidos.....	70
4.4.2	Análise dos Dados Obtidos.....	71
4.4.2.1	Comparação das Atenuações de Ruído Feitas pelo Método REAT (ANSI S3.19-1974 e ANSI S12.6/1997-B (LARI)).....	71
4.4.2.2	Comparação das Reduções de Ruído Feitas pelo Método MIRE (com Colocação pelo Ouvinte e pelo Examinador).....	71
4.4.2.3	Comparações do método REAT v/s MIRE.....	71
4.5	Resumo da Análise.....	72
CAPÍTULO 5	Conclusões e Recomendações para Trabalhos Futuros.....	74
5.1	Conclusões.....	74
5.2	Recomendações.....	75

Materiais de Referência	77
Apêndices	
Caraterísticas Técnicas do Microfone DPA 4060.....	80
Características Técnicas do Microfone Panasonic WN- 61A.....	82
Termos de Consentimento Aprovados Pelo Comité de Ética da UFSC.....	83

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 2

- Figura 2.1 Tipos de Protetores Auditivos.
- Figura 2.2 O interior da Câmara para a Avaliação dos Protetores Auditivos do LARI.
- Figura 2.3 Pessoal Treinado e Instrumentação necessária para a Avaliação dos Protetores Auditivos no LARI
- Figura 2.4 Exemplo de Microfones em Miniatura.
- Figura 2.5 Localização do Microfone no Ouvido Externo do Ouvinte.
- Figura 2.6 Exemplo de um Manequim de Cabeça e Torso.
- Figura 2.7 Trajetórias do som através dos Protetores Auditivos.
- Figura 2.8 Transmissão do Ruído Sem (esquerda) e Com (direita) um Protetor tipo Concha Ajustado na Cabeça do Usuário.

Capítulo 3

- Figura 3.1 Localização Ponto de Referência.
- Figura 3.2 Escolha do Ponto de Funcionamento do Sistema.
- Figura 3.3 Configuração do Sistema de Medição para a Avaliação do Tempo de Integração.
- Figura 3.4 Configuração do Sistema de Emissão e Captação do Sinal.
- Figura 3.5 Obtenção da Localização do Mic. DPA Fora da Concha do Protetor.
- Figura 3.6 Suporte de Silicone Usado para a Localização do Mic. DPA Fora da Concha do Protetor.
- Figura 3.7 Parte Traseira do Mic. Panasonic WN-61A.
- Figura 3.8 O Circuito Proposto para a Amplificação do Mic. Panasonic WN-61A Modificado.
- Figura 3.9 Obtenção da Resposta Relativa de Pressão Microfones Panasonic.
- Figura 3.10 Faixa Dinâmica Sistema Panasonic 1.
- Figura 3.11 Faixa Dinâmica Sistema Panasonic 2.
- Figura 3.12 Montagem do Microfone Panasonic no Adaptador do Silicone.
- Figura 3.13 Redução dos NPS Pela Orientação do Microfone.

Capítulo 4

- Figura 4.1 Gráfico dos Dados finais do Protetor Auditivo 3M 1435 sem a Correção TFOE.
- Figura 4.2 Gráfico dos Dados finais do Protetor Auditivo 3M 1435 com a Correção TFOE.

- Figura 4.3 Gráfico dos Dados finais do Protetor Auditivo Bilsom Leightning L3 sem a Correção TFOE.
- Fogura 4.4 Gráfico dos Dados finais do Protetor Auditivo Bilsom Leightning L3 com a Correção TFOE.
- Figura 4.5 Gráfico dos Dados finais do Protetor Auditivo Bilsom Leightning LOF sem a Correção TFOE.
- Figura 4.6 Gráfico dos Dados finais do Protetor Auditivo Bilsom Leightning LOF com a Correção TFOE.
- Figura 4.7 Gráfico dos Dados finais do Protetor Auditivo MSA Mark V sem a Correção TFOE.
- Figura 4.8 Gráfico dos Dados finais do Protetor Auditivo MSA Mark V com a Correção TFOE.

LISTA DE TABELAS

Capítulo 3

- Tabela 3.1 Verificação Intervalo de Confiança do Sistema segundo a ANSI S12.42-1995.
- Tabela 3.2 Verificação da Capacidade de Sustentação do Pico do Sinal na Banda de 1000 Hz.
- Tabela 3.3 Verificação da Faixa Dinâmica do Sinal de Teste.
- Tabela 3.4 Verificação Relativa da Resposta de Frequência Mics. DPA para o Campo Difuso.
- Tabela 3.5 NPS obtidos na Localização Fixa do Mic DPA Fora da Concha dos Protetores.
- Tabela 3.6 Verificação Relativa da Resposta de Frequência Mics. Panasonic para o Campo de Pressão.
- Tabela 3.7 Verificação da Relação Sinal/Ruído do Mic. Panasonic no Ouvinte.
- Tabela 3.8 Validação da Redução do Ruído Obtida Segundo o Método MIRE-B.
- Tabela 3.9 Possíveis Fontes de Incerteza da Avaliação da Redução de Ruído.
- Tabela 3.10 Incertezas Padrões das Reduções do Ruído Obtidas na Concha Direita e Esquerda devida à Repetibilidade
- Tabela 3.11 Balanço de Incertezas da Redução do Ruído Obtida na Concha Direita para a Banda de Frequência de 1000 Hz, $u_r(NR_{od})$.
- Tabela 3.12 Incertezas Padrão Combinada da Redução do Ruído e o Desvio Padrão.
- Tabela 3.13 Incerteza Expandida da Redução do Ruído Obtida na Concha Direta e Esquerda.
- Tabela 3.14 Incerteza Expandida da Redução do Ruído Individual e Final.

Capítulo 4

- Tabela 4.1 Dados finais Protetor Auditivo 3M 1435.
- Tabela 4.2 Dados finais Protetor Auditivo Bilsom Leightning L3.
- Tabela 4.3 Dados finais Protetor Auditivo Bilsom Leightning LOF.
- Tabela 4.4 Dados finais Protetor Auditivo MSA MarkV

LISTA DE TERMOS

NIOSH	Instituto Nacional de Segurança e Saúde dos EUA.
OSHA	Agência de Administração Ocupacional da Saúde e Segurança dos EUA.
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego do Brasil
MIRE	Microfone no Ouvido Real.
REAT	Limiar de Audição do Ouvido Real
NR	Redução de Ruído a nível do Tímpano do Ouvinte
IL	Perda de Inserção
A_{tt}	Atenuação de Ruído
TFOE	Função de Transferência do Ouvido Aberto
TL	Perda de Transmissão
NR_0	Redução de Ruído a nível da Entrada do Conduto Auditivo do Ouvinte
ECA	Efeito do Conduto Auditivo Fechado
V_{pp}	Tensão pico a pico (peak to peak)
rms	Valor efetivo de um sinal
u_c	Incerteza Padrão Combinada
U	Incerteza Expandida
c_i	Coefficiente de Sensibilidade
ν	Graus de Liberdade
ν_{eff}	Graus de Liberdade efetivos
NRR	Nível de Redução de Ruído (índice baseado nas recomendações da NIOSH e calculado para os ensaios da norma ANSI S3.19-1974)
NRR_{sf}	Nível de Redução de Ruído-colocação pelo usuário-(índice calculado para os ensaios da norma ANSI S12.6:1997-B, baseado no cálculo do índice único de ruído, SNR)
ANOVA	Análise de Multi-Variância

RESUMO

A alternativa mais usada para proteger as pessoas expostas ao ruído nos ambientes de trabalho é o uso de um protetor auditivo individual, tal como um tampão ou, principalmente, um protetor auditivo do tipo concha. Porém, os atuais métodos usados para determinar o rendimento acústico destes protetores em laboratório consideram a avaliação da atenuação de ruído (A_{tt}), método que inclui um fator do tipo subjetivo, como a resposta do ouvinte, a qual influi significativamente na variabilidade do método.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma metodologia objetiva para a avaliação do rendimento acústico de um protetor auditivo através da redução de ruído (NR) do tipo MIRE (Microfone In Real Ear), usando-se um sistema microfone-pré-amplificador de baixo custo e com características técnicas compatíveis com este tipo de avaliação (ruído inerente de 29 dB(A), faixa dinâmica de 75 dB, sensibilidade de 25 mV/Pa). Os resultados da validação feita com o método proposto e a quantificação da incerteza feita segundo os critérios do Guia para a Expressão da Incerteza de Medição ($\pm 0,4$ dB para a redução de ruído total), indicam que o método se apresenta como uma alternativa eficiente e eficaz para a avaliação da redução de ruído de um protetor do tipo concha. Porém, os resultados obtidos pelas comparações feitas com o método subjetivo (atenuação de ruído) para 4 protetores, indicam que sem a consideração de variáveis como o ruído fisiológico (PN) ou como a função de transferência do ouvido aberto dos ouvintes (TFOE), os valores da redução de ruído não podem ser apresentados como valores equivalentes aos obtidos segundo o método subjetivo da atenuação de ruído.

ABSTRACT

The most used alternative to protect people exposed to noise in workplaces is the use of individual hearing protector, mainly an earplug or an earmuff. However, current methods used to determine the laboratory acoustic performance consider the sound attenuation evaluation (Att), method that includes a subjective factor, the listener response, which significantly affects the variability of the method.

This work presents the development of an objective methodology for the acoustic performance evaluation of hearing protector through the MIRE noise reduction (Microphone In Real Ear), using a microphone pre-amplifier system of low cost with technical characteristics consistent to this type of evaluation (29 dB(A) noise floor, 75 dB dynamic range, 25 mV/Pa sensitivity). The results of the validation applied to the proposed method, and the uncertainty quantification made according to criteria of the Guidelines for the Expression of Uncertainty of Measurement (± 0.4 dB for the total noise reduction), indicate that the method is as an effective and efficient alternative for the noise reduction evaluation in earmuff. However, the results of the comparisons made with the subjective method (sound attenuation) for 4 earmuffs, indicate that without considering the Physiological Noise (PN) or the listeners Transfer Function of Open Ear (TFOE), the noise reduction values are not equivalent to values obtained by the subjective method of sound attenuation evaluation.

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA

Como a geração do ruído está presente em qualquer atividade produtiva, a exposição ao ruído nos ambientes de trabalho, e conseqüentemente a doença associada (chamada de perda auditiva ou de surdez profissional), além de outros efeitos na saúde, é um dos maiores problemas que afetam os trabalhadores no Brasil e também no mundo. Por exemplo, nos EUA, o Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional, NIOSH, estabelece que aproximadamente 30 milhões de trabalhadores nesse país estão expostos ao ruído [1]. No caso brasileiro, apesar de ser um dos problemas mais freqüentes à saúde dos trabalhadores, ainda são pouco conhecidos os dados de prevalência devido à baixa notificação da doença. Porém, estima-se que o 25% da população trabalhadora brasileira já exposta é portadora desta doença em algum grau [2].

Nesta realidade, torna-se necessária a implementação das ações de prevenção e assistência necessárias, que tenham por finalidade obter uma diminuição desta doença profissional nos nossos ambientes de trabalho, e portanto, obter uma melhor qualidade de vida dos trabalhadores, como por exemplo, a implementação de programas de conservação da audição nas empresas.

Mesmo tendo-se avaliado os ambientes de trabalho e monitorado os trabalhadores, se a exposição ao ruído é maior que o limíte estabelecido pela regulamentação vigente, os programas de conservação da audição vão precisar obrigatoriamente da implementação de medidas de controle do ruído, as quais, porém, nem sempre serão viáveis financeiramente, ou estarão disponíveis de imediato. Desta forma, a utilização de dispositivos individuais de proteção auricular (protetores auditivos) se apresenta como um dos métodos mais comuns e práticos para reduzir o ruído, embora seja a última opção recomendável para o controle do ruído [3].

Assim, como requisito para o uso dos protetores auditivos como medida de controle do ruído nos ambientes de trabalho, atualmente é necessário conhecer a respectiva Atenuação de Ruído, aplicando-se a técnica do Limiar de Audição do Ouvido Real (REAT-Real Ear At Threshold), técnica que considera as respostas subjetiva das pessoas, a qual deve ser feita em um laboratório credenciado, segundo regulamentação internacional (ANSI, ISO). No entanto, ainda existem muitas diferenças entre os valores da atenuação do ruído obtidos em laboratório e a real eficiência acústica do protetor no ambiente de trabalho. Isso se deve a uma série de fatores subjetivos, como o treinamento no uso, a qualidade do ajuste do protetor na cabeça,

além de outros fatores como o ruído fisiológico [4]. Desta forma, a Agência de Administração Ocupacional da Saúde e Segurança dos EUA (OSHA), consciente do problema, recomenda aplicar um fator de segurança de 50% aos valores da Atenuação de Ruído obtidos nos laboratórios com normas anteriores a 1997, antes de fazer o cálculo final de seleção do protetor para um posto de trabalho específico [5].

De acordo com os antecedentes apresentados, o presente trabalho tem como finalidade o desenvolvimento de uma metodologia de laboratório do tipo objetiva, baseada na investigação e implementação da técnica do uso de microfones em miniatura (MIRE-Microphone In Real Ear) para a predição da atenuação obtida, quantificando-se as incertezas destas medições.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

Desenvolver uma metodologia objetiva para a obtenção da eficiência acústica dos protetores auditivos passivos do tipo concha, usando-se como referência a técnica MIRE em laboratório.

1.2.2 Específicos

- Desenvolver um método para medições segundo os critérios estabelecidos pela técnica MIRE do tipo redução do ruído (NR), no Laboratório de Ruído Industrial (LARI) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).
- Validar o sistema de medição proposto para a obtenção da redução do ruído (NR) pelo método MIRE.
- Desenvolver o cálculo das incertezas da metodologia proposta pelo método MIRE do tipo redução do ruído (NR).
- Comparar os valores obtidos da implementação da metodologia da redução do ruído (NR) pelo método MIRE com os valores das avaliações normalizadas feitas dos protetores auditivos de tipo concha através do método REAT.

1.3 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

O presente trabalho considera uma proposta metodológica baseada em testes do tipo MIRE feitos com uma seleção de pessoas (ouvintes), com microfones em miniatura específicos e protetores auditivos do tipo concha com características lineares¹, no Laboratório de Proteção Auditiva do LARI.

Desta forma, pode-se estabelecer que, no contexto apresentado nesta dissertação, os resultados do presente estudo não podem ter aplicações para o campo, nem aplicações para outro tipo de protetores, como por exemplo, protetores auditivos de inserção ou sensíveis à amplitude, sem as devidas modificações à estrutura do estudo.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO ESTUDO

O estudo está descrito em seis capítulos, a descrever.

No Capítulo 1 (introdução), encontram-se a justificativa, os objetivos, as limitações e a organização do estudo.

No Capítulo 2 (revisão bibliográfica), encontram-se os protetores auditivos (os tipos, as metodologias de avaliação no laboratório, trajetórias e relação entre a perda de inserção (IL) e a redução do ruído (NR) para um protetor auditivo do tipo concha), além do tratamento estatístico dos dados, como a incerteza das medições.

No Capítulo 3 (material e métodos), encontram-se a descrição do sistema de avaliação da redução do ruído proposta, a validação desta, o cálculo de incerteza do método e a metodologia utilizada para a comparação dos valores obtidos pelo método proposto com outros critérios de avaliação.

No Capítulo 4 (discussão), encontra-se a análise das comparações feitas.

No Capítulo 5 (conclusões), encontram-se as conclusões e recomendações do estudo.

No Material de referência, encontram-se citados os documentos usados para apoiar o desenvolvimento da dissertação, além dos Apêndices.

¹ A eleição dos protetores do tipo concha, para o desenvolvimento do estudo, baseou-se nas vantagens comparativas apresentadas em relação ao uso de protetores de inserção, além da representatividade do uso do protetor do tipo concha nos ambientes de trabalho [3].

CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PROTETORES AUDITIVOS

Segundo Gerges [3], como os danos à audição ocorrem normalmente no ouvido interno, o protetor auditivo apresenta-se como uma barreira acústica que deve proteger tal parte do ouvido. Assim, é possível defini-lo como um dispositivo capaz de impedir a passagem do ruído que chega até aos sensíveis mecanismos da audição.

Embora a proteção auditiva seja a última opção recomendável para o controle do ruído [3], devido ao aparente baixo custo deste e a praticidade de implementar, apresenta-se como o método mais comum na redução do ruído nas empresas industriais, órgãos do governo e militares, em atividades esportivas e de recreação, e portanto, em todos os lugares onde os níveis de ruído são elevados e podem prejudicar o sistema auditivo das pessoas.

Considerando-se que para a seleção do protetor auditivo deve-se levar em conta, além do tipo de ambiente ruidoso, o conforto, a aceitação do usuário, a durabilidade, o custo, os problemas de comunicação, segurança e higiene [3], existem vários tipos de protetores no mercado, os quais são apresentados na presente seção.

2.1.1 Tipos de Protetores Auditivos

Os tipos de protetores auditivos se diferenciam uns dos outros principalmente pela localização destes no sistema auditivo, e, portanto, à forma deles devido a este fator. Assim, os protetores auditivos do tipo capacete são conhecidos como aqueles que isolam completamente a cabeça da pessoa, os do tipo concha como aqueles que isolam a orelha toda (princípio circum-aural), os do tipo semi-inserção como aqueles que se acomodam sobre o conduto do ouvido mas sem envolver a orelha (princípio supra-aural), e os do tipo de inserção, que são acomodados no interior do conduto auditivo.

É importante dizer que uma grande parte dos protetores auditivos usados nos ambientes de trabalho apresenta características lineares, ou seja, um rendimento acústico independente das variações dos níveis de pressão sonora. No entanto, embora os protetores usados no desenvolvimento do presente trabalho sejam deste tipo, para conhecimento geral também apresentar-se-ão as características dos protetores auditivos sensíveis à amplitude, os quais apresentam variações na redução de ruído para alterações do nível de pressão sonora.

A seguir, na Figura 2.1, apresentam-se os principais tipos de protetores auditivos.

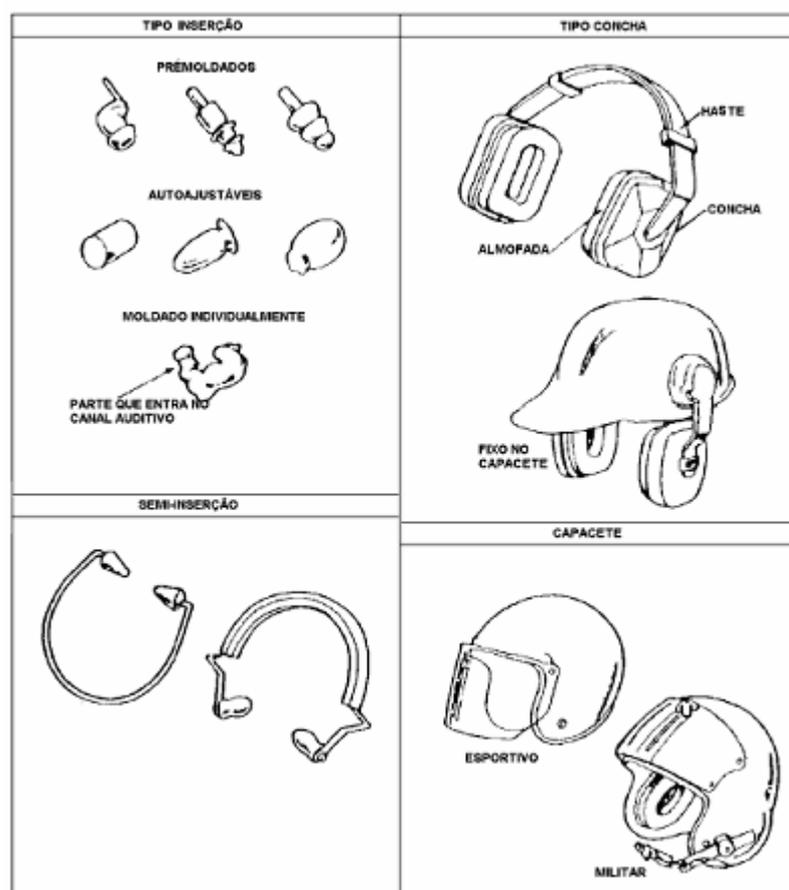


Figura 2.1: Tipos de Protetores Auditivos.

2.1.1.1 Protetores de Inserção

Protetor que protege pela obstrução do canal da orelha externa, através da inserção neste. Existem no mercado vários tipos de protetores de inserção, que também são conhecidos pelos termos “plug de ouvido” ou “tampão”, os quais se descrevem a seguir:

- **Protetor do tipo auto-ajustável:** Tampão do tipo descartável, geralmente fabricado com algum tipo de material de baixo custo, como espuma plástica (PVC ou poliuretano) ou tipo especial de fibra de vidro. O protetor é roletado e colocado no canal externo da orelha, quando então se expande, tomando a forma do canal [3]. Esta característica faz com que seja confortável e que apresente uma boa diminuição do ruído pela acomodação do protetor no canal.
- **Protetor do tipo pré-moldado:** Tampão do tipo reutilizável, fabricados com materiais elásticos e não tóxicos, como silicone ou termoplástico, para que se

adaptem às várias formas dos canais auditivos. Não se alteram com o uso e podem ser higienizados segundo as instruções do fabricante. Ao apresentar formas pré-estabelecidas, o protetor deve ser inserido firmemente no interior do canal, o que pode torná-lo desconfortável. Além disso, as irregularidades apresentadas no canal da orelha em um grande número de pessoas podem dificultar a fixação deste, e, portanto, diminuir o rendimento acústico do protetor [3].

- **Protetor do tipo moldado individualmente (personalizado):** Tampão reutilizável, geralmente fabricados com algum tipo de borracha ou silicone, sendo sua forma final moldada no próprio canal da orelha. A atenuação deste tipo de protetor depende bastante da experiência do usuário. Estes tampões, quando bem colocados, têm atenuação compatível à dos protetores tipo concha [3].

2.1.1.2 Protetores do tipo Semi-Inserção

Protetor baseados no princípio supra-aural, protegem pela vedação na entrada do canal da orelha e não dentro deste, como o caso dos protetores de inserção.

Sua principal indicação de uso é para casos onde há necessidade de se colocar e retirar o protetor várias vezes durante a jornada de trabalho, e em locais onde o uso dos protetores tipo concha pode ser desconfortável por causa das altas temperaturas e da umidade [3].

Existem no mercado vários modelos de protetores deste tipo, mas é importante considerar, além das características na diminuição do ruído, a força que é exercida pela haste aos tampões, e, portanto, sobre as orelhas.

2.1.1.3 Protetores do Tipo Concha

Baseado no princípio circum-aural, este protetor protege pelo encerramento de toda a orelha. Está composto por duas conchas feitas de materiais rígidos e densos, unidas a uma haste feita de material macio e flexível (geralmente de uma camada de plástico macio). A união do protetor com a cabeça da pessoa é feita através de almofadas de espuma, especialmente projetadas para cobrir toda a orelha.

O grau de isolamento obtido com esse tipo de protetor está relacionado à força exercida pela haste às conchas, e, portanto, à pressão que as almofadas exercem sobre os dois lados da cabeça. Assim, o conforto fica relacionado à distribuição dessa pressão.

Da união haste-concha pode-se fornecer uma localização fixa da haste (protetor auditivo tipo concha de cabeça ou queixo), ou uma localização flexível desta na cabeça (protetor auditivo tipo concha universal).

A grande vantagem deste tipo de protetor, quando comparado aos protetores de inserção, é a sua maior proteção, além de uma adaptação fácil aos diversos tipos de orelhas.

2.1.1.4 Protetores do Tipo Capacete

Baseado no princípio do encerramento de toda a cabeça. Está composto por um capacete revestido interiormente por um material macio e flexível, como almofadas de espuma ou algum material amortecedor.

2.1.1.5 Protetores Sensíveis à Amplitude

Segundo Gerges [3], existem tipos especiais de protetores projetados para situações específicas de trabalho, nas quais se devem ter melhores condições para comunicação, por exemplo, no caso do desenvolvimento de funções críticas num ambiente de trabalho com um alto nível de ruído ambiental. Esses protetores apresentam variações na redução conforme o nível de pressão sonora externo, e, portanto, podem ser chamados de protetores auditivos de atenuação não linear.

Estes protetores não lineares possuem sistemas de filtros acústicos (orifício) ou filtro eletrônico, do tipo passa-baixo, que garantem baixa atenuação nas frequências inferiores a 2000 Hz aproximadamente, permitindo assim que a faixa de frequência da voz humana passe. Além do anterior, existem alguns tipos de protetores auditivos com circuitos eletrônicos para emitir música ou mensagens de comunicação.

2.1.2 Métodos de Avaliação de um Protetor Auditivo no Laboratório

Dois são os critérios utilizados para a avaliação dos protetores auditivos em laboratório. O critério dos EUA, apresentado pelas normas ANSI S3.19-1974, ANSI S12.6-1984 e ANSI S12.6-1997, o qual obtém a atenuação de ruído de um modelo de protetor sem o

envelhecimento prévio deste, e o critério europeu, apresentado pelas normas EN 352-1 (protetores do tipo concha) e EN 352-2 (protetores do tipo tampão), o qual inclui testes físicos prévios à obtenção da atenuação do ruído do protetor, como a força de contato da haste, queda livre, exposição a baixas temperaturas, flexão da haste e o teste de banho de água quente, entre outros.

2.1.2.1 Métodos de Ensaio da Atenuação do Ruído de um Protetor Auditivo no Laboratório

Os ensaios para a obtenção da atenuação de ruído de um protetor auditivo em laboratório se iniciaram há mais de 50 anos, desenvolvendo-se até agora diversas técnicas, as quais podem ser separadas em subjetivas (obtenção do rendimento acústico segundo os ensaios que incluem o uso de pessoas) e objetivas (obtenção do rendimento acústico sem considerar a resposta subjetiva das pessoas). Nos dois casos, o rendimento acústico do protetor deve ser obtido num ambiente acústico qualificado, além de um sistema de medição específico, cujas características estão descritas nas normas de referência. Desta forma, é preciso que o laboratório seja devidamente credenciado por uma instituição de reconhecida experiência e autoridade na área, que no caso brasileiro, é uma função feita pelo INMETRO e o Ministério do Trabalho e Emprego, MTE.

Porém, devido à reprodutibilidade da metodologia e às características da exatidão na estimativa do rendimento acústico do protetor [6], a atenuação do ruído pelo método subjetivo é o critério internacional adotado para a caracterização acústica dos protetores auditivos em laboratório, que no caso dos EUA é estabelecido pela norma ANSI S12.6-1997, e no caso da Europa pela norma ISO 4869-1:1990, deixando-se até agora o uso da metodologia objetiva principalmente para os efeitos do desenvolvimento da qualidade dos protetores.

2.1.2.1.1 Método do Ouvido Real no Limiar de Audição, REAT.

O método REAT (Real Ear Attenuation at Threshold em inglês) obtém a atenuação de ruído fornecida pelo protetor numa câmara acústica qualificada (não numa cabine audiométrica). A medição da atenuação está baseada na determinação do limiar de audição dos ouvintes, devidamente selecionados, ao ruído gerado pelas caixas acústicas de uma sala acústica qualificada, em bandas de frequência (não o tom puro de um teste audiométrico) com e sem o protetor. A diferença entre as duas medidas fornece a atenuação de ruído do protetor

obtida para cada ouvinte específico, sob certas condições de colocação do protetor, em laboratório. Desta forma, a atenuação máxima (maior atenuação que o protetor pode fornecer) pode ser obtida usando-se ouvintes bem treinados e com colocação do protetor com ajuda do especialista executor do ensaio.

O método REAT transformou-se no método mais usado devido à utilidade prática deste na avaliação de um protetor com características lineares (rendimento acústico independente das variações geradas pelos níveis de pressão sonora), já que para este caso a obtenção da atenuação no nível do “limiar da audição” será igualmente válida para qualquer outro nível do ruído. Porém, nesta faixa de trabalho (limiar da audição), vão-se gerar inconvenientes do tipo subjetivo devido ao efeito do mascaramento (ruído do tipo fisiológico) do limiar de audição das pessoas quando o ouvido estiver ocluso durante o ensaio (com o protetor), o que segundo Berger e Kerivan [4] pode gerar valores superestimados da atenuação nas baixas frequências de até 5 dB, segundo o tipo do protetor auditivo testado.

Atualmente, o Laboratório de Ruído Industrial (LARI) da Universidade Federal de Santa Catarina conta com a única câmara credenciada (Figura 2.2) para a avaliação dos protetores auditivos no Brasil pelo Ministério do Trabalho e Emprego, MTE. Além da estrutura física, o LARI dispõe da instrumentação necessária e do pessoal devidamente treinado (Figura 2.3) para a obtenção de resultados do mesmo patamar técnico que aqueles obtidos de outros laboratórios internacionais detentores desta tecnologia há mais tempo.



Figura 2.2: O interior da Câmara para a Avaliação dos Protetores Auditivos do LARI.



Figura 2.3: Pessoal Treinado e Instrumentação necessária para a Avaliação dos Protetores Auditivos no LARI.

2.1.2.1.2 Método do Microfone ao Interior do Ouvido Real, MIRE.

No método MIRE (Microphone in Real Ear em inglês), a resposta subjetiva do ouvinte é trocada pela resposta de um ou dois microfones em miniatura (Figura 2.4) devidamente localizados na orelha externa deste, objetivando-se a avaliação acústica e eliminando-se fatores de erro como o ruído fisiológico presente no método REAT, além de apresentar outras vantagens como a velocidade no processamento dos dados, e requisitos menores para o campo acústico de ensaio.

Como desvantagem do método, pode-se dizer que só se quantifica a trajetória do ruído através do protetor por via aérea, não se incluindo a trajetória feita pela via dos ossos e dos tecidos, afetando-se a quantificação do limite superior real da atenuação do protetor (descrito com maior detalhe no Item 2.1.3), além de precisar do uso de uma instrumentação especial.

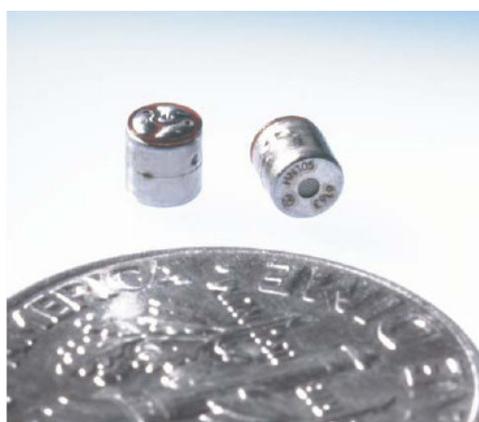


Figura 2.4: Exemplo de Microfones em Miniatura.

A técnica MIRE para a avaliação dos protetores auditivos do tipo concha, encontra-se descrita na norma ANSI S12.42-1995 (só para a do tipo “A”), onde também são apresentadas as especificações para o microfone em miniatura (tipo, dimensões, localização), a instrumentação necessária, e os requisitos para o campo acústico de ensaio.

Existem dois procedimentos de aplicação para a metodologia do tipo MIRE (A e B), os quais vão se diferenciar principalmente pelo uso de um ou dois microfones em miniatura na obtenção da eficiência acústica do protetor auditivo do tipo concha.

O procedimento “A”, descrito na norma ANSI S12.42-1995, considera o uso de um microfone em miniatura, o qual é localizado na orelha externa do ouvinte, conforme apresentado na Figura 2.5.

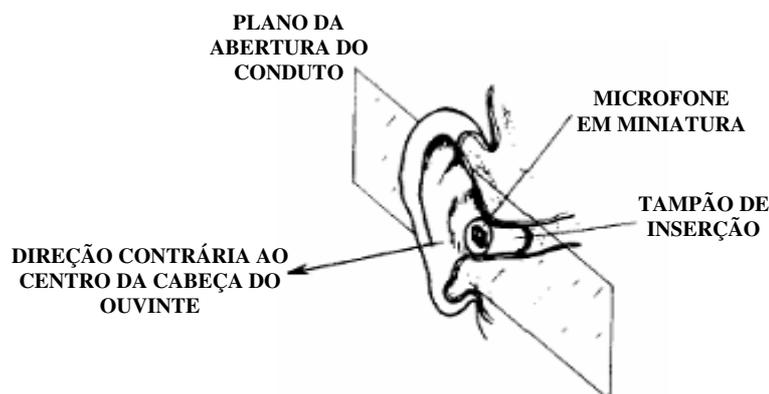


Figura 2.5: Localização do Microfone no Ouvido Externo do Ouvinte.

A metodologia MIRE “A” é equivalente ao método da atenuação pelo método subjetivo REAT, já que vai precisar de duas medições em série, com e sem o protetor colocado na cabeça do ouvinte, para depois fazer a diferença delas (procedimento conhecido pelo nome de perda de inserção, ou IL). Porém, embora seja colocado um tampão de inserção no conduto auditivo depois do microfone em miniatura (Figura 2.5), não é recomendável efetuar-lo no caso de testar altos níveis de pressão sonora, já que pode ser perigoso para o ouvinte quando testar sem proteção.

O método MIRE “B”, não especificado na norma ANSI S12.42-1995, além do microfone já descrito no método “A”, considera o uso de outro microfone em miniatura localizado fora do protetor auditivo (procedimento conhecido pelo nome de redução de ruído, ou NR). Este procedimento apresenta a vantagem de obter a eficiência acústica instantânea do

protetor, já que vai se obter a diferença entre os sinais dos dois microfones no mesmo instante. Além disso, o uso do método “B” é mais recomendável no teste de altos níveis de emissão sonora, pelo fato de não precisar fazer um ensaio do ouvinte sem o protetor colocado em sua cabeça.

2.1.2.1.3 Uso de Manequim e Cabeça Artificial.

O método se caracteriza pelo uso de um manequim (Figura 2.6), ou de uma cabeça artificial simples de metal não magnético, para a obtenção da eficiência acústica de um protetor auditivo tipo concha, conforme normas ANSI S12.42-1995 e ISO/TR 4869-3.



Figura 2.6: Exemplo de um Manequim de Cabeça e Torso.

Esta metodologia consiste na obtenção das respostas do microfone do manequim (ou da cabeça artificial), sob a excitação de um campo acústico normalizado, sem e com o protetor auditivo tipo concha testado, para depois fazer a diferença destas. A diferença pode ser obtida com testes em série ou através da técnica de medições simultâneas com dois microfones localizados fora e no interior do protetor auditivo respectivamente.

Embora existam aparelhos especiais com um design que começa a simular alguns fatores e comportamentos físicos de uma pessoa, o método até agora é principalmente utilizado para os testes de qualidade do protetor do tipo concha, principalmente devido às respostas obtidas. Porém, o método apresenta algumas vantagens como uma menor complexidade dos testes (sem pessoas), diminuição dos números de ensaios, além de permitir a realização destes sob condições acústicas extremas (ruídos do tipo militar).

2.1.3 Trajetórias do Ruído pelo Protetor Auditivo

A eficiência dos protetores auditivos vai depender das suas próprias características e também das características fisiológicas e anatômicas do usuário [3]. No caso de um indivíduo que usa proteção auditiva, a energia sonora pode atingir o ouvido interno por quatro trajetórias diferentes: vazamento através do contato (A), vibrações do protetor (B), material do protetor (C) e ossos e tecidos (D), as quais se apresentam na Figura 2.7:

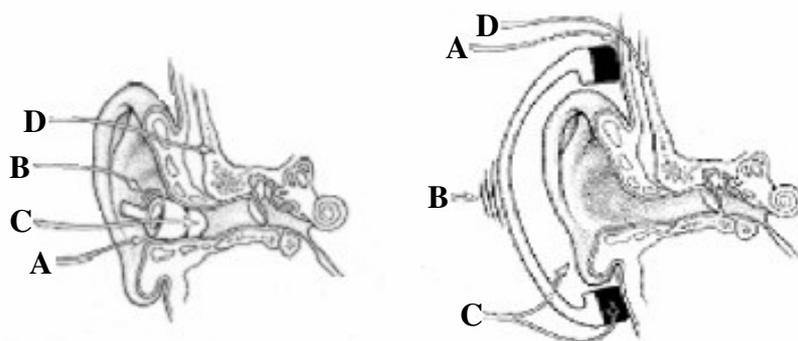


Figura 2.7: Trajetórias do som através dos protetores auditivos.

A atenuação de ruído vai-se limitar devido à existência das trajetórias B e D que inevitavelmente deixam passar o ruído, principalmente a trajetória D, já que ela ingressa diretamente ao ouvido interno do usuário. No caso das vibrações geradas pelo protetor do tipo concha (trajetória B), o contato desta com a cabeça do usuário é feito por um material flexível (almofada), o qual vibrará no sentido contrário ao protetor, além do ar contido no interior da concha, gerando-se um sistema massa-mola. Este efeito vai se apresentar nas frequências baixas, limitando-se à atenuação do ruído do protetor numa faixa de 6 a 20 dB [3].

Então, considerando-se os limites já estabelecidos pelas trajetórias B e D, a maior atenuação do ruído do protetor auditivo se obterá quando as trajetórias A e C forem reduzidas, ou seja, usando-se um material com um coeficiente de transmissão pequeno no desenho do protetor (trajetória C), obtendo-se um bom ajuste deste à cabeça ou canal auditivo do usuário (trajetória A). Porém, na realidade é muito difícil obter um bom ajuste, já que principalmente o treinamento dos usuários dos protetores é defeituoso. Segundo Berger [6], no caso de um protetor do tipo de inserção um ajuste defeituoso deste ao canal auditivo do usuário, poderá reduzir a sua atenuação em até 15 dB.

2.1.4 Relação entre a Redução de Ruído (NR), Perda de Inserção (IL) e a Atenuação de Ruído obtida pelo método REAT

Segundo Berger [6], no caso das quantidades acústicas associadas à atenuação, é comum se deparar com termos como a perda de inserção (IL), a redução de ruído (NR) ou a perda de transmissão (TL), embora no caso dos protetores auditivos o termo TL não seja usado, já que está associado com a caracterização acústica das partições ou barreiras na acústica arquitetônica e no controle de ruído.

Assim, com a ajuda da Figura 2.8, e, definindo-se a perda de inserção (IL) do protetor como a diferença entre os níveis de pressão sonora com e sem o protetor ajustado na cabeça do usuário, e a redução de ruído do protetor (NR) como a diferença entre os níveis de pressão sonora antes e depois do protetor já ajustado, é possível estabelecer o seguinte:

$$\begin{aligned}
 A &= 20 \log \left(\frac{P_2}{P_{ref}} \right) ; & A' &= 20 \log \left(\frac{P'_2}{P_{ref}} \right), \\
 B &= 20 \log \left(\frac{P_1}{P_{ref}} \right) ; & B' &= 20 \log \left(\frac{P'_1}{P_{ref}} \right), \\
 C &= 20 \log \left(\frac{P_0}{P_{ref}} \right) ; & C' &= 20 \log \left(\frac{P'_0}{P_{ref}} \right).
 \end{aligned} \tag{1}$$

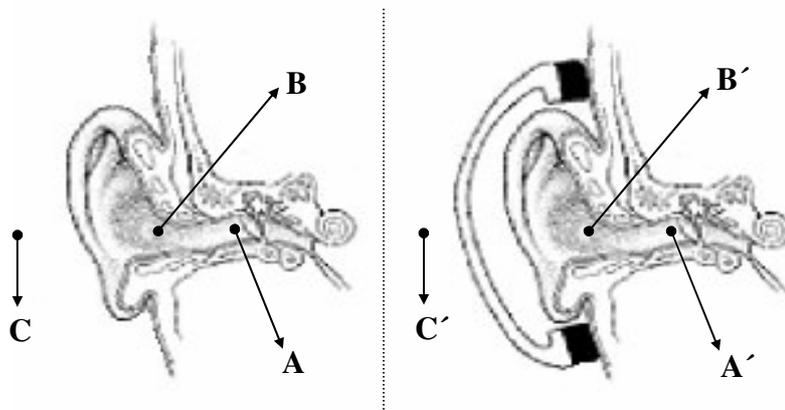


Figura 2.8: Transmissão do ruído sem (esquerda) e com (direita) um protetor tipo concha ajustado na cabeça do usuário.

No caso da orelha sem o protetor ajustado na cabeça do ouvinte (Figura 2.8, esquerda), pode-se obter a função de transferência do ouvido aberto, TFOE² (6), através da subtração logarítmica dos níveis nos pontos A e C, da seguinte forma:

$$A - C = 20 \log \left(\frac{p_2}{p_0} \right) = TFOE \text{ (dB)}. \quad (2)$$

No caso da orelha com o protetor ajustado (Figura 2.8, direita), pode-se obter a redução de ruído deste através da subtração logarítmica dos níveis nos pontos C' e A' da seguinte forma:

$$C' - A' = 20 \log \left(\frac{p'_0}{p'_2} \right) = NR \text{ (dB)}. \quad (3)$$

Como a perda de inserção foi definida como a diferença entre os níveis de pressão sonora com e sem o protetor ajustado na cabeça do usuário, segundo a Figura 2.8 é possível estabelecer a seguinte relação:

$$IL = A - A' = 20 \log \left(\frac{p_2}{p'_2} \right) \text{ (dB)}. \quad (4)$$

Desta forma, misturando-se algebricamente as equações (2), (3) e (4), fica:

$$IL = NR + TFOE \text{ (dB)}; \text{ com } p_0 = p'_0. \quad (5)$$

Segundo Voix e Laville [7], é conhecido que a atenuação de ruído obtida pelo método REAT (A_{tt}) pode ser superestimada (abaixo dos 500 Hz) devido ao efeito de mascaramento - do ruído fisiológico (PN) - na orelha oclusa (com protetor), além de representar uma avaliação subjetiva da perda de inserção, portanto, é possível apresentar a atenuação de ruído pelo método REAT como:

² A TFOE, a qual depende da frequência, representa uma amplificação relativa devida ao campo sonoro não perturbado causado pelas ressonâncias no conduto auditivo e na orelha, sendo válida para um ruído contínuo e de nível médio (até 100 dB aprox.).

$$A_{tt} = IL + PN \quad (dB). \quad (6)$$

Assim, substituindo a Equação (5) na Equação (6) fica:

$$A_{tt} = NR + TFOE + PN \quad (dB). \quad (7)$$

Porém, como não é possível obter o nível de pressão sonora no tímpano do ouvinte com o protetor auditivo ajustado na cabeça deste (ponto A' da Figura 2.8), será necessário redefinir a redução de ruído (NR) da seguinte forma:

$$NR = NR_0 - E_{CA}, \quad (8)$$

onde NR_0 é a redução de ruído obtida no ponto B' (entrada do conduto auditivo) e E_{CA} é o efeito do conduto auditivo fechado pelo protetor no tímpano ($NR_0 = C'-B'$ e $E_{CA} = B'-A'$ conforme a Figura 2.8).

Portanto, considerando-se as Equações (7) e (8), é possível escrever uma nova equação para a atenuação de ruído, A_{tt} , como:

$$A_{tt} = NR_0 + TFOE - E_{CA} + PN \quad (dB). \quad (9)$$

Finalmente, segundo a Equação (9), pode-se concluir que a diferença entre os valores de A_{tt} , segundo o método REAT, e os NR_0 obtidos para um modelo de protetor, sempre estará influenciada pelas características fisiológicas do mesmo ouvinte, como é o efeito do conduto (E_{CA}), o ruído fisiológico (PN) e a função de transferência do ouvido (TFOE) respectivamente.

2.2 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS

2.2.1 Incerteza das Medições. Guia para a Expressão da Incerteza de Medição.

Quando se relata o resultado de medição de uma grandeza³ física, é obrigatório dar alguma indicação quantitativa da qualidade do resultado, de tal forma que aqueles que o utilizam possam avaliar sua confiabilidade [8]. Sem essa indicação, resultados de medição não podem ser comparados, seja entre eles mesmos ou com valores de referência fornecidos numa especificação ou numa norma. É, portanto, necessário que haja um procedimento prontamente implementado, facilmente compreendido e de aceitação geral para caracterizar a qualidade de um resultado de uma medição, isto é, para avaliar e expressar sua incerteza⁴.

Desta forma, reuniram-se vários especialistas de laboratórios de metrologia para a elaboração de uma recomendação que seja válida internacionalmente, através do “Comité International des Poids et Mesures (CIPM)” e da “International Organization for Standardization (ISO)”, elaborando-se a “Guide for the Expression of Uncertainty in Measurement”, qual é atualmente o documento de referência para o cálculo da incerteza das medições.

Os princípios deste guia são destinados a serem aplicáveis a um amplo espectro de medições, incluindo aquelas necessárias para:

- Manter o controle da qualidade e garantia da qualidade na produção;
- Obedecer e fazer cumprir leis e regulamentos;
- Conduzir pesquisa básica e pesquisa e desenvolvimento aplicado na ciência e na engenharia;
- Calibrar padrões e instrumentos e executar ensaios através de um sistema nacional de medição de forma a obter a rastreabilidade até os padrões nacionais;
- Desenvolver, manter e comparar padrões físicos de referência nacional e internacional, incluindo materiais de referência.

³ Atributo de um fenômeno, corpo ou substância que pode ser qualitativamente distinguido e quantitativamente determinado.

⁴ Parâmetro associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser razoavelmente atribuídos à grandeza específica submetida à medição (mensurando).

Segundo Flesch [9], é possível efetuar o cálculo da incerteza de uma medição, baseado no conteúdo do guia, através de três passos principais descritos a seguir: a avaliação das incertezas, a determinação da incerteza padrão combinada e a determinação da incerteza expandida.

2.2.1.1 Avaliação das Incertezas

2.2.1.1.1 Avaliação Tipo A da Incerteza Padrão (ou padronizada)

Entende-se por avaliação tipo A da incerteza padrão, aquela obtida através de análise estatística de uma série de observações. Neste caso, pode-se adotar a distribuição normal como aplicável para a dita avaliação, a menos que seja explicitamente indicado o contrário.

O valor de base do resultado é a média das medições, devidamente compensados o erro sistemático⁵ [9], considerando q_k como cada uma das observações realizadas:

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n q_k. \quad (10)$$

A variância experimental das observações que estima a variância, s^2 , da distribuição de probabilidade de “q”, é dada por:

$$s^2(q_k) = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n \left(q_k - \bar{q} \right)^2. \quad (11)$$

Esta estimativa da variância, e sua raiz quadrada positiva, $s(q_k)$, denominada de desvio padrão experimental, caracterizam a dispersão dos valores “ q_k ” em torno de sua média.

A variância experimental da média é dada por:

$$s^2\left(\bar{q}\right) = \frac{s^2(q_k)}{n}. \quad (12)$$

⁵ Média que resultaria de um número infinito de medições do mesmo mensurando, efetuadas sob condições de repetitividade, menos o valor verdadeiro do mensurando.

Portanto, a variância experimental da média e o desvio padrão experimental da média (denominado de incerteza padrão do tipo A $u(x_i)$), quantificam o quanto a média estima bem o valor real do mensurando.

2.2.1.1.2 Avaliação Tipo B da Incerteza Padrão (ou padronizada)

Entende-se por avaliação tipo B da incerteza padrão, aquela obtida através de outros métodos que não é a análise estatística de uma série de observações.

Para uma estimativa da incerteza, representada por uma variância ou desvio padrão estimado (incerteza padrão do tipo B $u(x_i)$), deve-se promover uma análise criteriosa de todas as informações disponíveis sobre as possíveis fontes de incerteza. O conjunto de informações pode incluir:

- Dados de medições prévias;
- A experiência ou o conhecimento geral do comportamento e propriedades de materiais e instrumentos relevantes;
- Especificações de fabricantes;
- Dados fornecidos em certificados de calibração e outros certificados e;
- Incertezas relacionadas a dados de referência extraídos de manuais

Dependendo do conhecimento acerca das fontes de incerteza e da forma como estas foram avaliadas, diferentes distribuições de probabilidade poderão ser adotadas, porém, dois são os casos encontrados com mais frequência na prática: distribuição normal e distribuição retangular [9].

2.2.1.2 Determinação da Incerteza Padrão Combinada

Considere-se o caso em que uma grandeza “y” é determinada a partir de outras grandezas “ x_i ”. Isto ocorre, por exemplo, na medição indireta de um mensurando “y”, o qual deva ter seu valor determinado a partir da medição de outras grandezas [9]. Assim, de forma genérica, pode-se expressar a relação entre a grandeza “y” e as grandezas “ x_i ”, como:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N) \quad (13)$$

2.2.1.2.1 Grandezas de Entrada não Correlacionadas

Se as grandezas de entrada podem ser consideradas independentes, a incerteza padrão combinada, u_c , é a raiz quadrada positiva da variância combinada, u_c^2 , que é dada por:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i), \quad (14)$$

ou:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N c_i^2 u^2(x_i)} \quad \text{com} \quad c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i}, \quad (15)$$

onde “ c_i ” e “ $u(x_i)$ ” são o coeficiente de sensibilidade (que pode ser quantificado através de uma função ou de forma prática [8]) e a incerteza padrão já determinada.

2.2.1.2.2 Grandezas de Entrada Correlacionadas

Caso as variáveis não possam ser consideradas estatisticamente independentes, há a necessidade de se levar em consideração o fator de correlação entre as diferentes grandezas (9). Assim, a variância combinada pode ser calculada através de:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N c_i^2 u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N c_i c_j u(x_i) u(x_j) r(x_i, x_j), \quad \text{com} \quad c_k = \frac{\partial f}{\partial x_k}, \quad (16)$$

onde a incerteza padrão combinada será a raiz quadrada positiva da variância combinada, sendo “ r ” o coeficiente de correlação (variação de -1 até 1) entre “ x_i ” e “ x_j ”.

2.2.1.3 Determinação da Incerteza Expandida (U)

Embora a incerteza padrão possa ser universalmente usada para expressar a incerteza de um resultado, é necessário fornecê-la associada a uma probabilidade maior do que 68% [9]. Tal medida adicional é obtida pela multiplicação da incerteza padrão por um fator de abrangência “ k ” através de:

$$U = ku_c(y). \quad (17)$$

O resultado da medição será expresso por $Y=y\pm U$, associado a uma certa probabilidade de abrangência, ou nível de confiança.

2.2.1.3.1 Escolha do Fator de Abrangência

O valor do fator de abrangência “k”, é escolhido com base no nível da confiança requerido para o resultado. Segundo Flish [9], quando o número de graus de liberdade envolvidos na determinação da $u_c(y)$ for suficientemente grande para que o fator de Student⁶ seja desconsiderado, $k=2$ levará a probabilidade de abrangência de aproximadamente 95% e, $k=3$ levará a probabilidade de abrangência de aproximadamente 99,7%.

2.2.1.3.2 Determinação do Número de Graus de Liberdade

Cada incerteza padrão terá associado um determinado número de graus de liberdade. No caso das avaliações de incerteza tipo “A”, o número de graus de liberdade da fonte de incerteza é calculado por:

$$v = n - 1 \quad (18)$$

onde “n” é o número de observações.

Para avaliações de incerteza tipo “B”, segundo Flish [9], em termos práticos, quando não informado o número de graus de liberdade associados, pode-se considerar “v” como sendo infinito.

A forma de estimar o número de graus de liberdade efetivos, “ v_{eff} ”, associados à incerteza combinada, $u_c(y)$, é através da aplicação da equação de Welch-Satterthwaite (eq. 19):

$$v_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{v_i}}, \quad (19)$$

⁶ A distribuição de Student, ou distribuição-t, é a distribuição de probabilidade de uma variável aleatória contínua “t”, cuja função densidade de probabilidade é dada na equação do ponto C.3.8 do Anexo C da Guia para a Expressão da Incerteza da Medição [8].

onde “ $u_c(y)$ ” é a incerteza padrão combinada, “ $u_i(y)$ ” e “ v_i ” são a incerteza padrão e o número de graus de liberdade associados à i -ésima fonte de incerteza, e “ N ” é o número de fontes de incertezas consideradas no cálculo da u_c .

A obtenção do “ v_{eff} ” permitirá a escolha adequada do fator de abrangência “ k ”, através da aplicação de uma distribuição- t invertida, e, portanto, da Incerteza Expandida, segundo o apresentado na Equação (17).

CAPÍTULO 3: MATERIAIS E MÉTODOS

O presente capítulo apresenta-se dividido em duas seções. Na primeira seção, o Capítulo 3 descreve a técnica de redução de ruído proposta (NR_0), especificamente as especificações técnicas do método de avaliação, a validação deste, e o cálculo das incertezas do método. A segunda seção do capítulo, descreve a metodologia utilizada para comparar os valores NR_0 obtidos da avaliação de 4 protetores do tipo concha, com os valores do tipo REAT já existentes para os mesmos protetores.

3.1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO DA REDUÇÃO DE RUÍDO DO TIPO MIRE-B

3.1.1 Especificações Técnicas

O valor da redução de ruído de um protetor auditivo do tipo concha será obtida através da diferença simultânea entre os níveis de pressão sonora existente fora e dentro das duas conchas do protetor colocado na cabeça de um ouvinte, através do uso de quatro microfones devidamente localizados dentro e fora de cada concha.

Desta forma, será necessário caracterizar um campo acústico apropriado para fazer a avaliação, caracterizando-se uma cadeia de geração que possa reproduzir um sinal de teste aceitável. Além disso, será necessário quantificar variáveis importantes como as respostas de frequência dos microfones devido ao campo acústico, as variações nos NPS devido às localizações dos microfones (fora e dentro da concha), as variações nos NPS devido ao efeito do conduto auditivo do ouvinte (dentro da concha) e o vazamento provável produzido pelos cabos dos microfones localizados no interior da concha, o qual será descrito nesta seção.

3.1.1.1 Campo Acústico de Teste

Foi considerado como campo acústico de ensaio o existente no interior da câmara acústica do LARI centrado no ponto de referência desta (Figura 3.1), o qual cumpre com os requisitos estabelecidos pelo método REAT, segundo as avaliações feitas originalmente no interior da câmara.

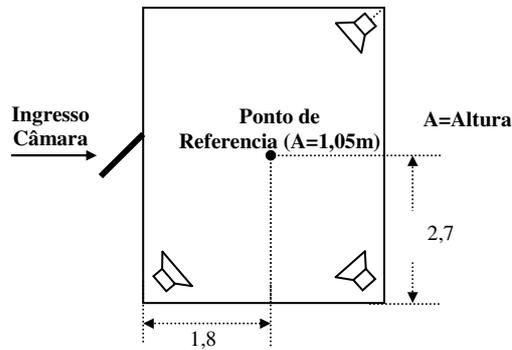


Figura 3.1. Localização Ponto de Referência.

Além dos requisitos do campo acústico para o método REAT, é importante dizer que a câmara também cumpre com os requisitos estabelecidos, enquanto à uniformidade e a diretividade do campo, da norma de referência do método MIRE, a ANSI S12.42-1995 (Microphone-in-Real-Ear and Acoustics test Fixture Methods for the Measurement of Insertion Loss of Circumaural Hearing Protection Devices).

3.1.1.2 Geração do Sinal

3.1.1.2.1 Seleção do Sinal de Teste

A norma de referência para a seleção do tipo do sinal de teste foi a ANSI S12.42-1995 (método MIRE). Esta norma descreve um ruído branco, ou rosa, em banda larga com o sinal de teste, numa faixa de frequência de 80 Hz até 12,5 kHz, apresentada no ponto de referência.

Assim, segundo o anterior, foi configurada uma cadeia para a emissão do sinal baseada no uso do sistema PULSE 3560 com software Labshop 7700 da B&K, o qual gera um ruído rosa (528mV) para a entrada de um amplificador B&K 2706, cuja saída encontra-se conectada aos alto-falantes da câmara do LARI.

3.1.1.2.2 Escolha do Ponto de Funcionamento do Sistema

Através da configuração apresentada na Figura 3.2, e prévia calibração do sistema, foi possível obter diferentes níveis de pressão sonora no ponto de referência no interior da câmara (Figura 3.1), fazendo-se a regulação do ganho do amplificador B&K 2706. Desta forma, obteve-se como ponto de funcionamento final aquele cuja regulação do ganho permita obter no ponto de referência no interior da câmara, um NPS de 95 ± 1 dB (93 dB(A)).

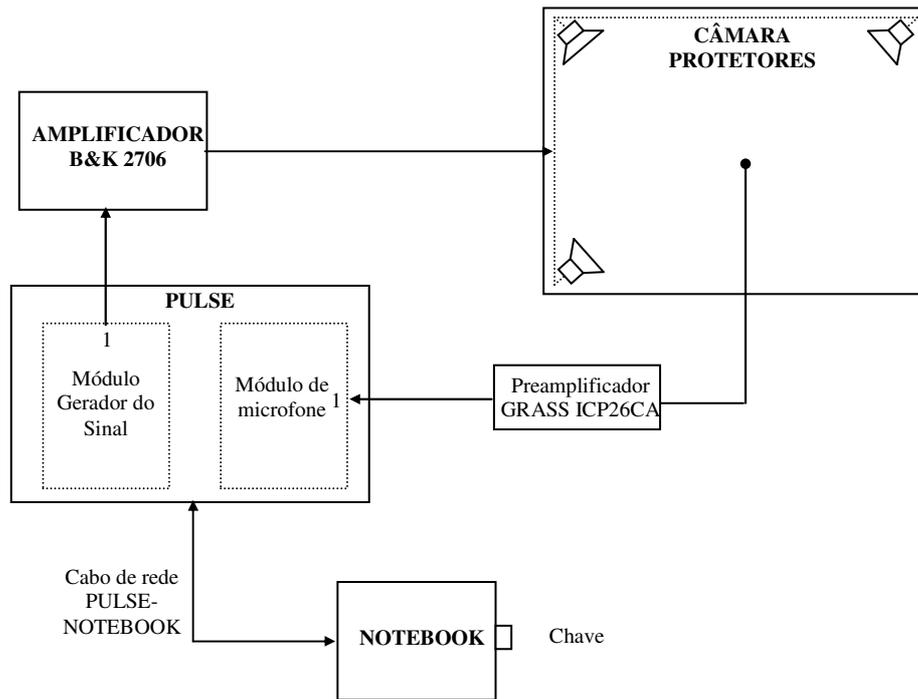


Figura 3.2. Escolha do Ponto de Funcionamento do Sistema.

Devido às características do campo acústico de teste no interior da câmara do LVA (campo semidifuso), foi escolhido como referência o microfone GRASS 40AQ (série 54295), o qual apresenta uma resposta de frequência para campo difuso de ± 1 dB na faixa de 12,5 Hz à 8 kHz. No entanto, foi necessário escolher um pré-amplificador que não alterasse as características do microfone. Assim, foi escolhido um pré-amplificador GRASS tipo ICP 26CA (série 36658), de $\pm 0,2$ dB na faixa de 2 Hz a 100 kHz.

O tempo de integração programado no Lapshop 7700 do sistema PULSE foi de 60 segundos, na faixa de frequências de 125 Hz até 8 kHz, em bandas de terço de oitavas.

3.1.1.2.3 Verificação dos Requerimentos Normativos de Referências

3.1.1.2.3.1 O tempo de Integração do Sinal

O tempo de integração programado de 60 segundos foi testado considerando-se os critérios estabelecidos nas normas ISO/DIS 11904-1 e ANSI S12.42-1995, os quais são apresentados a seguir:

- a) O critério da norma ISO/DIS 11904-1, Ponto 8.1, estabelece que o período de medição deva ser representativo da exposição, e, portanto, cumprir com os seguintes requisitos (onde “t” é o tempo de integração e “f” é a frequência):

$$t \geq \frac{5000}{f} \quad \text{para } f \leq 2000\text{Hz} ,$$

$$t \geq 2,5\text{s} \quad \text{para } f > 2000\text{Hz} .$$

(20)

Das equações anteriores, conclui-se que o limite para um tempo de integração de 60 segundos é dado pela frequência mais baixa da análise, o que segundo a primeira equação seria de aproximadamente 84 Hz, mais baixa que 125 Hz, que é a frequência central da banda de interesse mais baixa em 1/3 de oitava, segundo o Item 3.2.1.2.2 (faixa de 125 Hz até 8 kHz).

b) O critério da norma ANSI S12.42-1995 estabelece que o analisador do sinal utilizado deva ter um tempo de integração que permita obter um nível de pressão sonora médio para cada banda de frequência de teste (terço de oitava) com um intervalo de confiança de $\pm 1\text{dB}$ (95%).

Para tal fim, foi implementada a configuração da Figura 3.3, nas condições descritas no Item 3.1.1.2.2 para o ponto de funcionamento do sistema, obtendo-se a diferença entre o sinal de teste da saída do gerador (ruído rosa) e a obtida acusticamente pelo microfone GRASS 40AQ no ponto de referência da câmara.

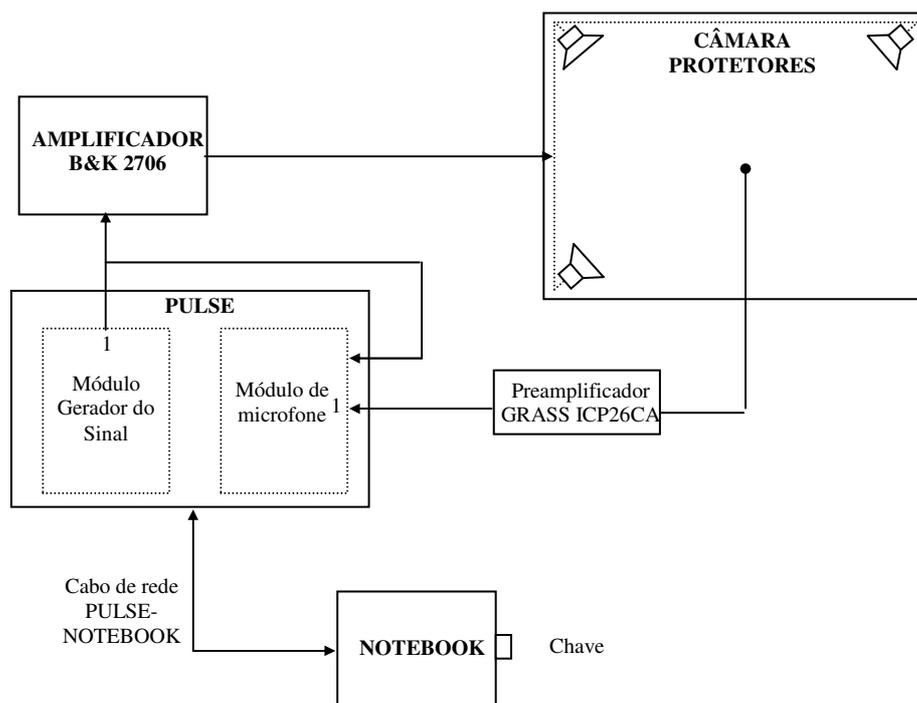


Figura 3.3 Configuração do Sistema de Medição para a Avaliação do Tempo de Integração.

O teste foi reproduzido 10 vezes, com a finalidade de facilitar os cálculos para um intervalo de confiança de 95%, segundo os critérios estabelecidos para uma incerteza do tipo A no Item 2.2.1.1. Os resultados finais são apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Verificação Intervalo de Confiança do Sistema segundo a ANSI S12.42-1995.

Frequência Central, Hz	Resultados em dB		
	Diferença Média (1-2)*	Incerteza Padrão, u(cm)	Incerteza Expandida (k=2,26; 95% de confiança)
125	10,5	0,03	0,05
160	11,8	0,04	0,05
200	7,7	0,04	0,07
250	7,0	0,04	0,09
315	4,0	0,05	0,09
400	3,5	0,06	0,09
500	4,7	0,04	0,11
630	3,6	0,03	0,14
800	5,6	0,04	0,09
1000	10,0	0,03	0,07
1250	11,3	0,05	0,09
1600	9,8	0,03	0,07
2000	7,3	0,02	0,11
2500	6,7	0,03	0,07
3150	4,5	0,03	0,05
4000	6,5	0,03	0,07
5000	8,0	0,04	0,07
6300	8,7	0,04	0,07
8000	6,6	0,05	0,09

*= Segundo a figura 3,4

Segundo os dados da Tabela 3.1, como o maior valor obtido da incerteza expandida é de 0,14 dB (banda de 630 Hz), a maior variação obtida sob as condições de medição seria de $\pm 0,14$ dB nesta banda, para um intervalo de confiança de 95%, o que é menor que os ± 1 dB dos requisitos da norma.

3.1.1.2.3.2 A Capacidade de Sustentação do Sinal de Pico

A capacidade de sustentação do sinal de pico (peak signal handling capacity) foi testada considerando-se os critérios estabelecidos na ANSI S12.42-1995, a qual estabelece que a capacidade no sistema de geração deva ser 12 dB maior que o nível pico do sinal de teste (neste caso, um ruído rosa de 95 ± 1 dB), ou 9 dB maior no caso do valor rms desta.

Assim, para comprovar o requisito anterior, foi necessário fazer a diferença aritmética entre as médias obtidas de:

a) 4 testes efetuados nas condições descritas para o ponto de funcionamento do sistema no Item 3.1.1.2.2 (ruído rosa de 95 ± 1 dB no ponto de referência no interior da câmara).

b) 4 testes feitos nas mesmas condições de a), mas trocando-se como o sinal de teste por um tom puro de 1000 Hz, a qual foi escolhida para a comprovação do requisito.

Os resultados “rms” são apresentados na Tabela 3.2, para a banda de terço de oitava de 1000 Hz.

Tabela 3.2. Verificação da Capacidade de Sustentação do Pico do Sinal na Banda de 1000 Hz.

Frequência Central, Hz	Resultados Obtidos, dB				Diferença
	Ruído Rosa		Onda Senoidal (1 kHz)		
	Média	Desvio Padrão exp.	Média	Desvio Padrão exp.	
1000	83,5	0,1	102,4	1,0	18,9

Segundo o apresentado pela Tabela 3.2, a diferença “rms” entre o sinal de ruído rosa e a onda senoidal gerada nesta frequência é de 18,9 dB, superior aos 9 dB estabelecidos pela norma neste caso.

3.1.1.2.3.3 A Faixa dinâmica do Sinal de Teste

A faixa dinâmica do sinal de teste foi testada considerando-se os critérios da norma ANSI S12.42-1995, a qual estabelece que o nível de pressão sonora gerado no interior da câmara de ensaio (no ponto de referência) pelo sistema de geração do sinal deve ser pelo menos 60 dB maior que o nível de ruído de fundo existente no mesmo ponto da câmara para todas as bandas de frequências de teste.

Assim, para comprovar o requisito anterior, foi necessário fazer a diferença aritmética entre o ruído de fundo da câmara já obtido na avaliação desta [19], e a média obtida de 3 testes efetuados nas condições descritas para o ponto de funcionamento do sistema no Item 3.1.1.2.2 (no ponto de referência no interior da câmara).

Os resultados são apresentados na Tabela 3.3, para as todas as bandas de frequência de teste.

Tabela 3.3. Verificação da Faixa Dinâmica do Sinal de Teste.

Frequência Central, Hz	Níveis de Pressão Sonora Obtidos, dB		
	Ruído de Fundo	Ponto de Funcionamento	Diferença
125	21,5	83,8	62,3
250	14,0	79,7	65,7
500	7,2	78,0	70,8
1000	5,0	83,5	78,5
2000	5,5	81,7	76,2
4000	7,8	79,7	71,9
8000	9,7	80,8	71,1

Segundo o apresentado na Tabela 3.3, todas as bandas de frequências de teste atendem ao requisito da norma, apresentando uma diferença superior a 60 dB.

3.1.1.3 A Captação do Sinal

3.1.1.3.1 A Cadeia de Instrumentação Proposta

A configuração do sistema proposto, nas condições descritas para o ponto de funcionamento do sistema no Item 3.1.1.2.2, estabelece o uso dos microfones DPA 4060 para a captação dos NPS fora das conchas do protetor (linha contínua), e o uso dos microfones do tipo eletreto Panasonic WN-61A para a captação dos NPS no interior delas (linha segmentada), segundo o apresentado na Figura 3.4.

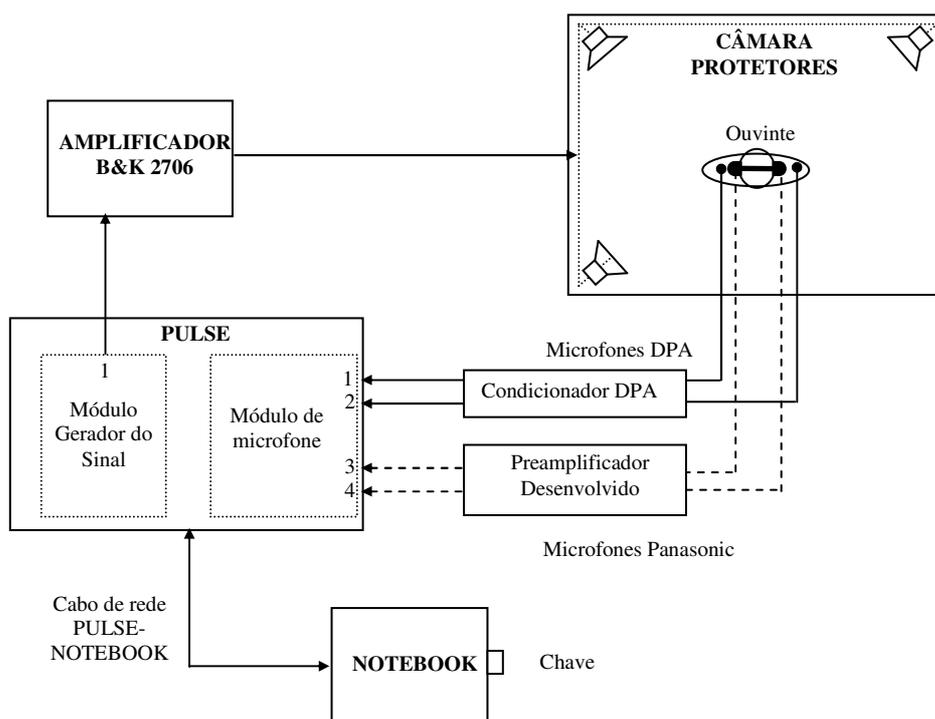


Figura 3.4. Configuração do Sistema de Emissão e Captação do Sinal.

3.1.1.3.1.1 A Captação do Sinal Fora das Conchas do Protetor

3.1.1.3.1.1.1 Características dos Microfones DPA

Os microfones DPA 4060 do tipo capacitivo pré-polarizado, apresentam características onidirecionais com uma sensibilidade aproximada de 20mV/Pa em 1 kHz (± 3 dB), um baixo nível de ruído inerente (23 dB(A)), com capacidade para resistir um NPS máximo de 134 dB pico. Embora não existam requisitos para as dimensões do microfone fora da concha (o procedimento MIRE da norma ANSI S12.42-1995 está baseado na obtenção da perda de inserção, IL, e portanto, só especifica requisitos para o microfone no interior da concha), as dimensões deles (5,4mm x 12,7mm (DxC)) facilitam a captação do sinal fora das conchas sem alterações do campo.

Embora, segundo o fabricante, apresentem uma aplicação específica para um campo de pressão, podem ser usados para outras aplicações acústicas, fazendo-se as correções de frequência correspondentes (no Apêndice 1 se apresentam as especificações técnicas apresentadas pelo fabricante).

3.1.1.3.1.1.2 Verificação da Resposta de Frequência dos Microfones DPA para o Campo Difuso

Como a câmara do LARI cumpre com os requisitos estabelecidos pela norma ANSI S12.6-1997, é possível que os microfones localizados fora da concha do protetor sejam influenciados pelo efeito do campo acústico no interior da câmara, e portanto, dever-se-á conhecer suas características de frequência para um campo deste tipo. Assim, considerando-se que, segundo a informação dada pelo fabricante, os microfones DPA 4060 apresentam uma aplicação específica para um campo de pressão, será necessário obter a resposta relativa dos microfones para um tipo de campo difuso.

Portanto, para fazer efetiva a verificação anterior, foi necessário realizar os testes seguintes:

- a) Nas condições descritas para o ponto de funcionamento do sistema no Item 3.1.1.2.2 (ruído rosa de 95 ± 1 dB no ponto de referência no interior da câmara, usando-se o conjunto microfone GRASS 40AQ-pré-amplificador GRASS tipo ICP 26CA);
- b) Nas mesmas condições de a), mas trocando-se o conjunto microfone-pré-amplificador de referência pelo conjunto 1 (micDPAH17545-canal 1 condicionador DPA);

c) Nas mesmas condições de a), mas trocando-se o conjunto microfone-pré-amplificador de referência pelo conjunto 2 (micDPAH17546-canal 2 condicionador DPA).

Desta forma, fazendo-se a diferença aritmética entre a) e b) e a) e c) respectivamente, foi possível obter o desvio relativo para o campo difuso em dB dos microfones.

O processo para a obtenção da diferença foi reproduzido 6 vezes, com a finalidade de facilitar os cálculos da incerteza padrão, segundo os critérios estabelecidos para uma incerteza do tipo A no Item 2.2.1.1. Os resultados finais, são apresentados na Tabela 3.4, para as todas as bandas de frequência de teste em 1/3 de oitava:

Tabela 3.4. Verificação Relativa da Resposta de Frequência Mics. DPA para o Campo Difuso.

Frequência Central, Hz	Resultados Obtidos, dB			
	Diferença Conjunto 1		Diferença Conjunto 2	
	Média (6 testes)	Incerteza Padrão, u(rfd)	Média (6 testes)	Incerteza Padrão, u(rfd)
125	-0,6	0,06	-1,0	0,06
160	-0,5	0,06	-0,7	0,06
200	-0,5	0,05	-0,7	0,08
250	-0,5	0,1	-0,6	0,11
315	-0,8	0,16	-0,7	0,04
400	-0,3	0,06	0,1	0,05
500	-0,3	0,2	0,2	0,12
630	0,0	0,17	0,5	0,05
800	0,1	0,05	0,2	0,06
1000	0,1	0,08	0,6	0,07
1250	-0,1	0,08	0,3	0,03
1600	-0,1	0,08	0,3	0,04
2000	-0,4	0,05	-0,1	0,05
2500	-0,2	0,05	-0,1	0,03
3150	-0,1	0,05	-0,3	0,03
4000	-0,8	0,03	-1,3	0,02
5000	-1,8	0,03	-2,5	0,02
6300	-3,6	0,05	-4,4	0,02
8000	-7,5	0,03	-7,5	0

Segundo os dados da Tabela 3.4, o desvio relativo dos conjuntos 1 e 2, encontram-se dentro de $\pm 1,5$ dB até a banda de 4000 Hz. Porém, encontram-se desvios maiores nas bandas superiores, chegando-se até um desvio de $-7,5$ dB na banda de 8000 Hz, para o caso dos conjuntos 1 e 2.

3.1.1.3.1.3 Localização dos Microfones DPA Fora das Conchas do Protetor

A distância fixa do microfone DPA (com o diafragma vertical ao chão da câmara do LVA) com respeito à concha, foi obtida testando 4 diferentes posições do microfone na linha central da concha (concha mesma; 2 cm; 10 cm e 50 cm) de 4 modelos de protetores de dimensões e localização da haste diferente, nas condições descritas para o ponto de funcionamento do sistema no Item 3.2.1.2.2 (mas com um ruído branco de 90 dB(A) como o sinal de teste) e usando-se um ouvinte, segundo o apresentado na Figura 3.5.

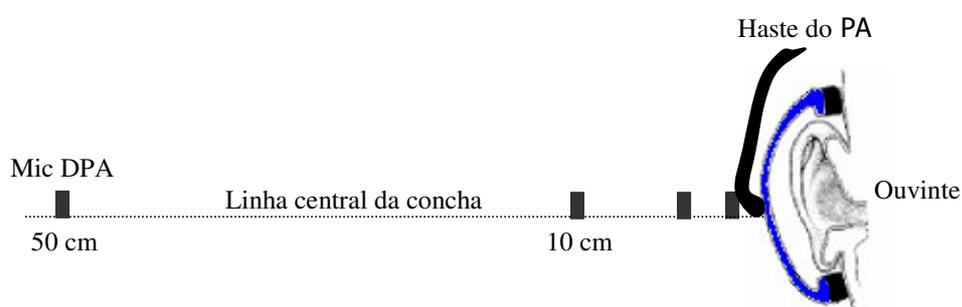


Figura 3.5. Obtenção da Localização do Mic DPA Fora da Concha do Protetor.

A fixação do microfone nas distâncias maiores (50 e 10 cm) foi obtida com a ajuda de um tripé, e no caso da menor de 2 cm, foi feito com a ajuda da implementação de um suporte de silicone, o qual é apresentado na Figura 3.6 (a fixação na concha mesma foi feita através de outro adaptador de silicone descartável).



Figura 3.6. Suporte de Silicone Usado para a Localização do Mic DPA Fora da Concha do Protetor.

Assim, como as distâncias de 0 cm, 50 cm e 10 cm apresentaram variações maiores a ± 2 dB para cada banda de terço de oitavas entre os protetores testados, obteve-se como localização fixa uma distância de 2 cm do microfone DPA com respeito à concha do protetor a testar.

Nesta posição do microfone (2 cm da concha), foi reproduzido 3 vezes o teste, para cada um dos 4 modelos dos protetores, com a finalidade de facilitar os cálculos da incerteza padrão, segundo os critérios estabelecidos para uma incerteza do tipo A no Item 2.2.1.1. Os resultados finais, são apresentados na Tabela 3.5, para as todas as bandas de frequência de teste em 1/3 de oitava.

Tabela 3.5. NPS obtidos na Localização Fixa do Mic DPA Fora da Concha dos Protetores

Frequência Central, Hz	Resultados obtidos*, dB						
	Média Modelos Protetores Auditivos					Incerteza Padrão Total	Incerteza Padrão Localização, u(lc)
	Bilsom Lightning L2F	Novel	3M 1435	3M 1427	Média Total		
125	65,4	65,2	65,8	65,5	65,5	0,08	0,04
160	67,5	67,3	67,2	67,3	67,3	0,07	0
200	62,5	62,0	62,7	62,1	62,3	0,11	0,06
250	63,5	63,4	64,2	63,7	63,7	0,16	0,11
315	62,3	62,1	63,1	62,2	62,4	0,18	0,17
400	63,3	63,3	63,6	63,5	63,4	0,07	0
500	63,9	63,6	65,1	63,9	64,1	0,34	0,32
630	66,7	66,2	66,9	66,3	66,5	0,13	0,12
800	67,1	67,2	67,5	66,9	67,2	0,13	0,11
1000	72,3	71,7	72,4	72,3	72,2	0,12	0,09
1250	75,7	7,8	75,7	75,8	75,5	0,15	0,14
1600	73,6	72,4	73,7	73,8	73,4	0,18	0,17
2000	73,7	72,9	73,9	73,2	73,4	0,13	0,12
2500	74,4	72,2	74,6	74,0	73,8	0,31	0,31
3150	72,6	71,1	72,4	72,2	72,1	0,19	0,19
4000	75,7	75,6	75,6	75,7	75,6	0,13	0,12
5000	80,4	81,1	79,3	82,7	80,8	0,38	0,38
6300	84,3	84,0	83,4	83,5	83,8	0,14	0,13
8000	87,1	87,8	87,4	87,6	87,5	0,14	0,13

* = Usando-se como o sinal de teste um ruído branco de 90 dB(A)

Considerando-se que neste caso a incerteza padrão total obtida apresentada na Tabela 3.5, além de incluir a incerteza padrão da localização do microfone exterior, u(lc), inclui as incertezas referentes ao efeito da cadeia de medição (u(cm) da Tabela 3.1 do Item 3.1.1.2.3.1.b) e à resposta relativa da frequência do microfone DPA para o campo difuso (u(rfd) da Tabela 3.4 do Item 3.1.1.3.1.1.2), deve-se isolar o efeito devido à localização através da seguinte fórmula:

$$u(t) = \sqrt{u^2(lc) + u^2(cm) + u^2(rfd)}. \quad (21)$$

Desta forma, foram obtidos os dados da última coluna da Tabela 3.5 correspondente só à incerteza padrão devido à localização do microfone DPA fora da concha para diferentes tipos de protetores auditivos.

3.1.1.3.1.2 A Captação do Sinal Dentro das Conchas do Protetor

3.1.1.3.1.2.1 Características dos Microfones Panasonic

O microfone do tipo eletreto Panasonic WN-61A proposto para a captação do sinal no interior da concha do protetor atende todos os requisitos estabelecidos na ANSI S12.42-1995 com respeito ao tipo de resposta de frequência (pressão), diretividade (onidirecional), dimensões no caso cilíndrico (6x3,4 mm), e também com respeito ao diâmetro do cabo, já que foi feita a instalação de fios de cobre de diâmetro de 0,3 mm (<AWG 28 (0,34mm)). No Apêndice 2 se apresentam as especificações técnicas do fabricante.

3.1.1.3.1.2.2 Características do Circuito Pré-amplificador do Sinal

Quando o microfone WN-61A é conectado segundo o descrito pela Panasonic, o sistema produz uma distorção bastante alta para os NPS leves, o que não é apropriado para medições no interior da concha de um protetor auditivo. O microfone é suficientemente linear, mas a configuração da montagem do amplificador FET contido, não corresponde. Portanto, foi necessário modificar a conexão externa ao FET do microfone na parte traseira deste, eliminando o traço existente entre a carcaça e o ponto 2, além de unir os pontos 1 e 3, segundo o apresentado pela Figura 3.8. Desta forma, o novo ponto 1 da condição modificada ficará como o novo fio terra e o ponto 2 como a nova saída ativa (esta modificação foi feita para os 2 microfones).

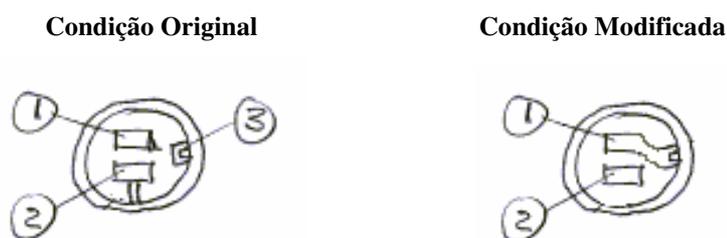


Figura 3.8. Parte Traseira do Mic. Panasonic WN-61A.

Como a nova tensão de saída do WN-61A modificado se pode movimentar como máximo 5 Vpp a 134 dB NPS, usando-se uma fonte de 9V, pode-se sobrecarregar facilmente qualquer pré-amplificador com um ganho muito alto [20]. Desta forma, foi necessário implementar um circuito pré-amplificador do sinal com um ruído inerente do sistema menor ao do microfone, e com uma faixa dinâmica de operação que permita uma maior sensibilidade ao sistema, mantendo-se as características da resposta de frequência para um campo de pressão.

O circuito finalmente implementado para o uso com cada microfone Panasonic WN-61A foi o proposto pelo Linkwitz Lab [20], mas adicionando-se na saída deste, 2 capacitores de 2,2 μ F (50 V) em série para proporcionar mais estabilidade ao sinal, conforme a Figura 3.8.

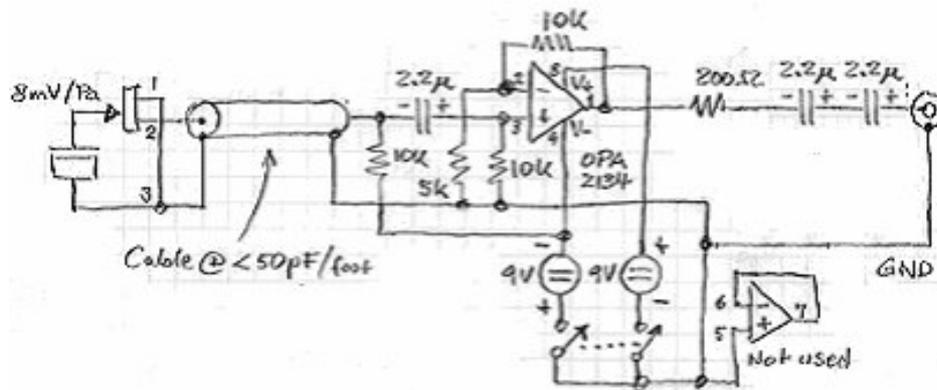


Figura 3.8: O circuito proposto para a amplificação do mic. Panasonic WN-61A modificado.

3.1.1.3.1.2.3 Verificação da Resposta de Frequência do Conjunto Microfone Panasonic-Pré-amplificador para o Campo de Pressão

Como os microfones localizados no interior das conchas do protetor serão influenciados pelo efeito acústico da cavidade fechada decorrente do encerramento da concha (campo de pressão), será necessário verificar a resposta de frequência relativa do conjunto microfone Panasonic-pré-amplificador para um campo de ondas planas, segundo o apresentado na Figura 3.9 seguinte.

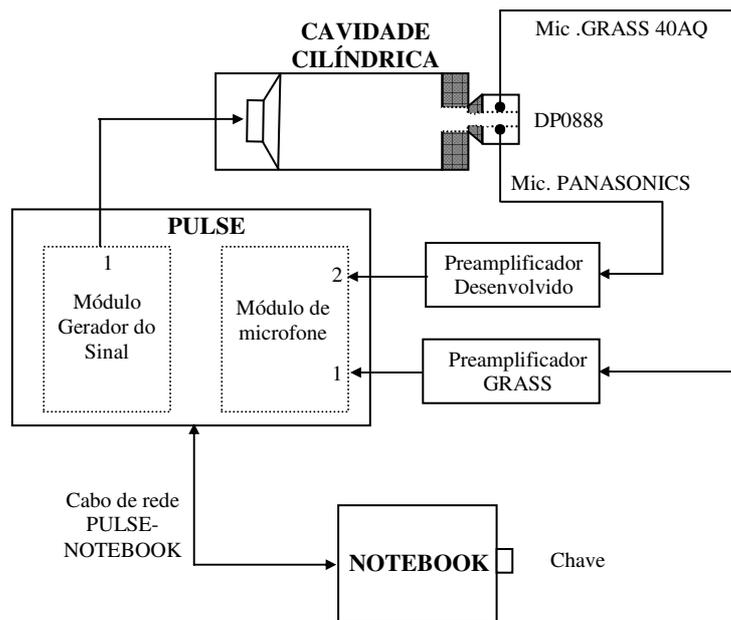


Figura 3.9. Obtenção da Resposta Relativa de Pressão Microfones Panasonic.

O sinal de teste gerado pelo sistema PULSE 3560-Lapshop 7700 da B&K, foi um ruído branco em banda larga (80 Hz até 12,5 kHz), o qual foi encaminhado diretamente a um mini-alto-falante localizado no interior de uma cavidade cilíndrica com o mesmo diâmetro, unida ao adaptador DP 0888 da B&K para microfones de 1/2", onde foram localizados os microfones de referência (micGRASS40AQ corrigido para uso em um campo de pressão) e o Panasonic (1). O uso do adaptador DP 0888 permitiu obter o mesmo nível de pressão sonora simultaneamente nos dois microfones. Assim, da diferença deles (microfone de referência-microfone testado), obtém-se o desvio relativo para o campo de pressão. Posteriormente, trocou-se pelo microfone Panasonic (2) e novamente foi feito o teste nas mesmas condições de medição que o primeiro teste.

A adaptação do microfone DPA para 1/2" foi feita através de um tampão de espuma e o tempo de integração programado foi de 60 segundos.

O teste foi feito 8 vezes para cada sistema microfone-pré-amplificador, mas variando-se em cada caso a tensão do sinal da excitação no alto-falante de 10mV até 1 V, com a finalidade de facilitar os cálculos da incerteza padrão, segundo os critérios estabelecidos para uma incerteza do tipo A no item 2.2.1.1. Os resultados finais, são apresentados na Tabela 3.6.

Tabela 3.6. Verificação Relativa da Resposta de Frequência Mics. Panasonic para o Campo de Pressão.

Frequência Central, Hz	Resultados Obtidos, dB			
	Diferença Panasonic 1		Diferença Panasonic 2	
	Média (8 testes)	Incerteza Padrão, u(rfp)	Média (8 testes)	Incerteza Padrão, u(rfp)
125	-0,5	0,02	-1,3	0
160	-0,5	0,01	-1,3	0
200	-0,5	0,01	-1,3	0,02
250	-0,5	0	-1,2	0
315	-0,5	0	-1,1	0
400	-0,4	0	-1,0	0,02
500	-0,3	0	-0,9	0
630	-0,2	0	-0,8	0
800	-0,1	0	-0,6	0
1000	0,0	0	-0,5	0
1250	0,1	0	-0,4	0
1600	0,2	0,02	-0,3	0
2000	0,3	0	-0,2	0
2500	0,4	0	-0,2	0
3150	0,5	0,01	-0,2	0,02
4000	0,4	0,1	-0,3	0,05
5000	0,3	0,05	-0,2	0,03
6300	0,9	0	0,5	0
8000	1,4	0,02	1,0	0,02

Segundo os dados da Tabela 3.6, o desvios relativos dos microfones Panasonic 1 e 2, encontram-se dentro de $\pm 1,4$ dB para todas as bandas de teste e para variações na tensão de excitação do alto-falante de 10mV até 1V.

3.1.1.3.1.2.4 Sensibilidade do Conjunto Microfone Panasonic-Pré-amplificador

A obtenção da sensibilidade em 1 kHz do conjunto Microfone Panasonic-Pré-amplificador foi obtida através do uso da janela da calibração do projeto feito no software Lapshop 7700, para a verificação da resposta de frequência relativa para o campo de pressão. Assim, com o microfone Panasonic já ajustado no calibrador GRASS 42AB, e depois de ligá-lo, foi-se mexendo o dado da sensibilidade em mV/Pa até que o NPS na frequência de 1000 Hz ficasse muito perto do valor de 114 dB. Uma vez feito, foi calibrado o canal segundo o procedimento do software Lapshop 7700, obtendo-se o ajuste automático deste para 114 dB em 1000 Hz. Assim, fazendo-se a correção da sensibilidade nominal pelo fator de ganho obtido na calibração, obteve-se a sensibilidade final para ambos microfones em 1 kHz, a qual correspondeu a 25 mV/Pa.

3.1.1.3.1.2.5 Ruído Inerente e Faixa Dinâmica do Conjunto Microfone Panasonic-Pré-amplificador.

Usando-se a mesma configuração descrita no Item 3.1.1.3.1.2.3 para a verificação da resposta de frequência relativa de pressão dos microfones Panasonic, foi obtido o ruído inerente aproximado de cada sistema através dos NPS correspondentes ao teste feito sem ganho (0mV) para toda a faixa de frequência de interesse, obtendo-se um valor global de 29 dB(A), cujo detalhe por banda de frequência é apresentado nas linhas contínuas inferiores das figuras 3.10 e 3.11 respectivamente.

A faixa dinâmica de cada sistema, foi obtida através da diferença entre os NPS obtidos do teste feito com a tensão do sinal de excitação máxima de 1V do item 3.1.1.3.1.2 (a linha segmentada superior dos gráficos) e os NPS correspondentes ao limite inferior “efetivo” acima do qual vão-se manter a linearidade da resposta de frequência para um campo de pressão, o que neste caso foi obtido somando-se 6 dB aos NPS do ruído inerente para todas as bandas de frequência de teste (a linha segmentada inferior dos gráficos).

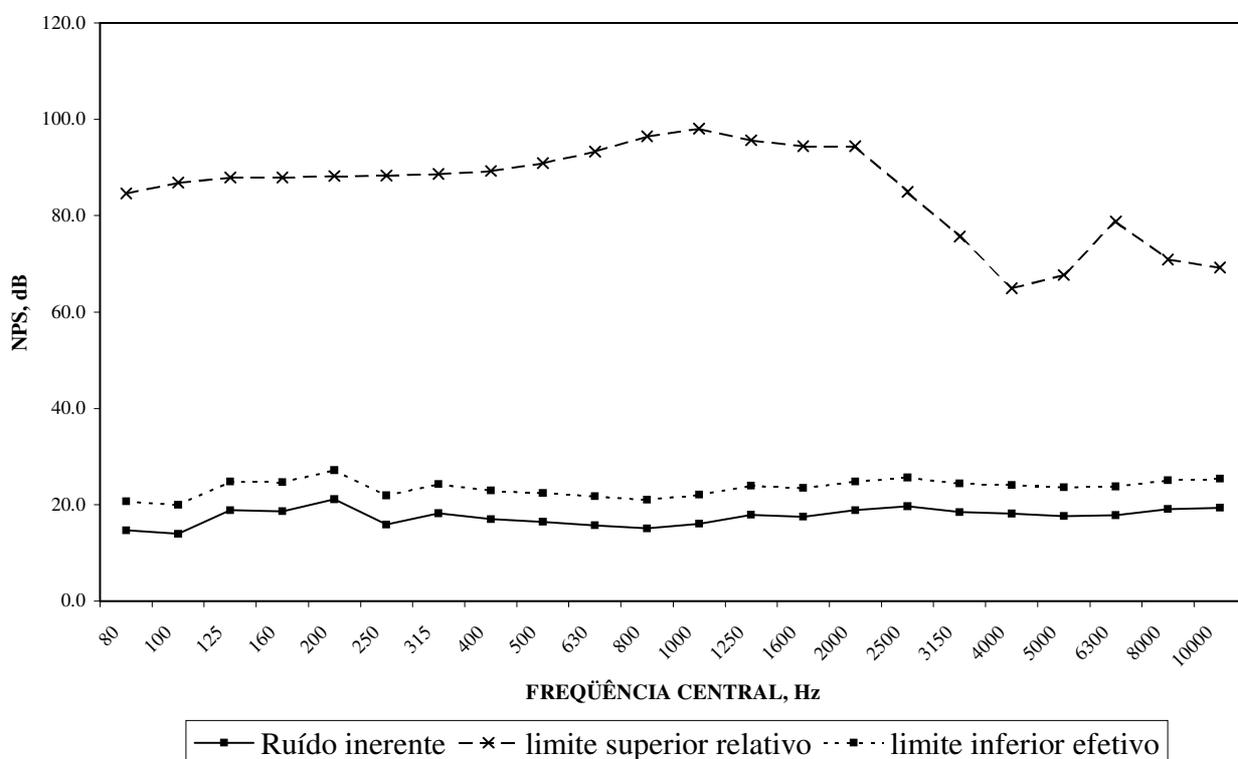


Figura 3.10. Faixa Dinâmica Sistema Panasonic 1.

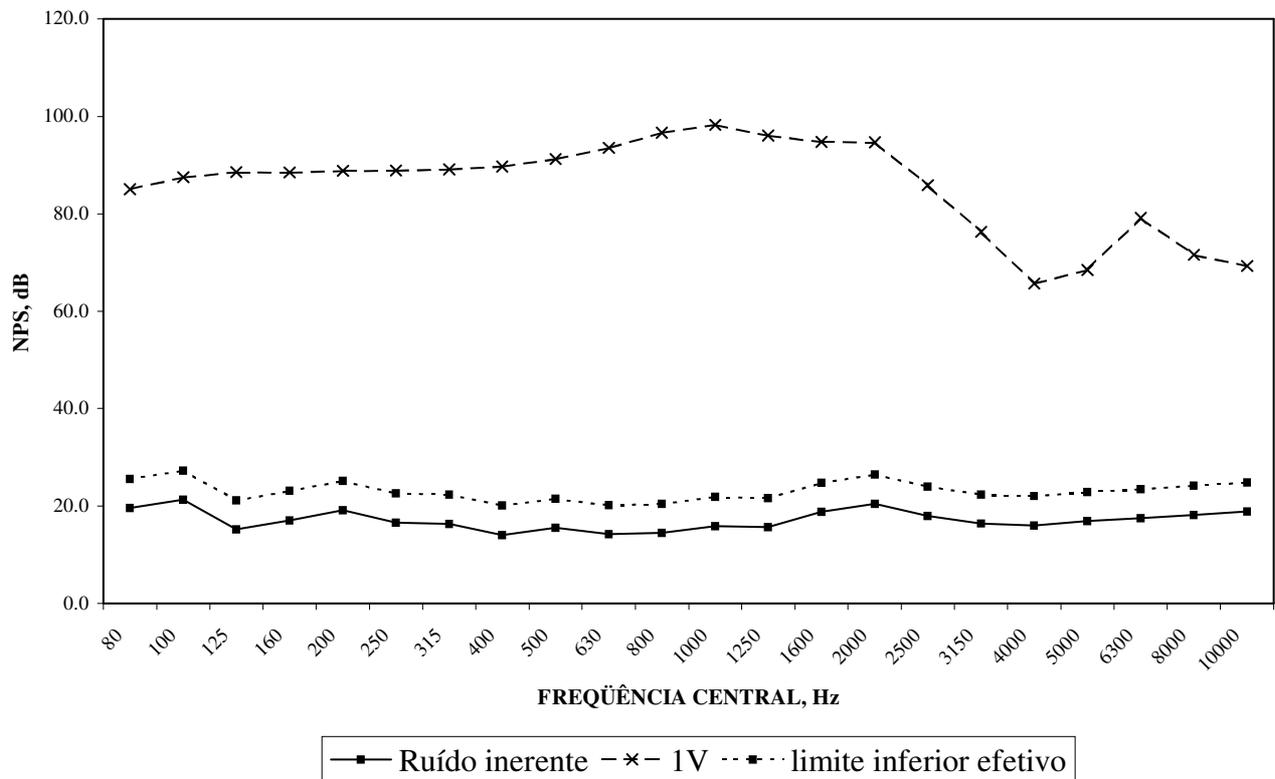


Figura 3.11. Faixa Dinâmica Sistema Panasonic 2.

Segundo as Figuras apresentadas, a faixa dinâmica nos dois sistemas chega até 76 dB (98–22 dB) na banda de 1 kHz nas condições de medição. Porém, é importante dizer que ainda poderia ser maior, devido principalmente às limitantes apresentadas na capacidade de geração do alto-falante com tensões de excitação maiores a 1V (limite superior).

A diminuição da faixa dinâmica nas bandas de freqüência acima de 2 kHz (queda apresentada na curva da tensão de excitação do alto-falante de 1V), encontra-se influenciada pelas características de emissão de freqüência do alto-falante usado, além do efeito do filtro do tipo passa banda produzido pela cavidade onde fica.

3.1.1.3.1.2.6 Localização dos Microfones Panasonic Dentro das Conchas do Protetor

Segundo a norma ANSI S12.42-1995, o diafragma do microfone, no interior da concha do protetor auditivo a testar, deve ser localizado em forma paralela ao plano da

abertura do conduto auditivo do ouvinte, na entrada deste e na direção contrária ao centro da cabeça.

Assim, considerando-se as dimensões do microfone Panasonic, foi desenvolvido um modelo de adaptador de silicone que permite a montagem do microfone na entrada do conduto auditivo do ouvinte segundo os requisitos da norma de referência, o qual é apresentado na Figura 3.12.



Figura 3.12. Montagem do Microfone Panasonic no Adaptador do Silicone.

Desta forma, foi possível diminuir a incerteza da avaliação devido a este fator, já que a montagem deixa fixo o microfone durante a avaliação, além de evitar o contato da estrutura do microfone com a pele do ouvinte, permitindo-se efetuar a localização dele na entrada do conduto auditivo.

3.1.1.3.1.2.7 Verificação da Relação o Sinal/Ruído dos Microfones Panasonic.

Segundo o requisito da ANSI S12.42-1995, a diferença do nível de pressão sonora no interior da concha do protetor em bandas de terço de oitavas com e sem o sinal de teste ligado deve ser maior que 10 dB. Assim, para comprovar o requisito anterior, foi necessário fazer a diferença aritmética entre as médias obtidas de:

- a) 3 testes efetuados nas condições descritas para o ponto de funcionamento do sistema no Item 3.1.1.2.2, usando-se para a captação no interior das conchas do protetor auditivo (3M 1427 de alta atenuação de ruído) os microfones Panasonic, segundo a montagem descrita no Item 3.1.1.3.1.2.5;
- b) 3 testes feitos nas mesmas condições de “a”, mas sem o sinal de teste ligado.

Os resultados são apresentados na Tabela 3.7, para as todas as bandas de frequência de teste.

Tabela 3.7. Verificação da Relação Sinal/Ruído do Mic. Panasonic no Ouvinte.

Frequência Central, Hz	Resultados com Protetor Auditivo 3M 1427, em dB					
	Média com o sinal ligado		Média sem o sinal ligado		Diferença	
	Esquerda	Direita	Esquerda	Direita	Esquerda	Direita
125	76,5	73,1	49,6	39,1	27,0	34,0
160	74,0	69,3	31,1	27,1	42,9	42,2
200	65,8	64,6	33,5	29,3	32,3	35,3
250	63,3	60,2	31,9	21,3	31,4	38,9
315	58,1	58,6	31,7	24,6	26,4	34,0
400	55,5	54,0	32,8	22,1	22,7	31,9
500	52,0	53,4	36,0	24,9	16,1	28,4
630	49,5	47,3	30,4	21,5	19,1	25,9
800	48,5	47,7	27,2	21,5	21,3	26,2
1000	50,9	50,1	28,6	20,0	22,2	30,2
1250	49,9	50,3	29,0	21,3	20,9	29,1
1600	45,1	48,4	32,0	25,7	13,0	22,7
2000	45,1	45,9	34,6	28,2	10,5	17,7
2500	47,5	44,3	33,2	26,4	14,3	17,9
3150	49,2	44,5	32,1	24,0	17,1	20,5
4000	55,7	51,2	32,5	24,0	23,2	27,2
5000	58,7	55,0	35,0	26,2	23,7	28,8
6300	59,9	56,4	36,7	27,5	23,2	28,9
8000	58,9	48,3	36,9	27,7	21,9	20,6

Segundo os dados obtidos da Tabela 3.7, na faixa de frequência de interesse (125 Hz até 8 kHz), a diferença menor no interior da concha (na condição de oclusão do ouvido) é obtida na banda de frequência de 2000 Hz para o caso esquerdo, sendo de 10,5 dB aproximadamente. Portanto, para este caso, o requerimento da norma é cumprido na faixa de 125 Hz até 8 kHz.

3.1.1.3.1.2.8 Efeito do Vazamento gerado pelo Cabo do Microfone no Interior da Concha do Protetor.

Segundo a norma ANSI S12.42-1995, o diâmetro do cabo usado para encaminhar o sinal captada pelo microfone localizado no interior da concha, deve ser de no máximo 0,34 mm (AWG 28) para, desta forma, tornar desprezível o efeito devido ao vazamento gerado entre o contato da almofada da concha e o cabo. Assim, segundo o anterior,

os microfones foram implementados com fios de cobre de diâmetro de 0,3 mm, e, portanto, o efeito do vazamento não foi considerado.

3.1.1.3.1.2.9 Efeito do Conduto Auditivo no Microfone Panasonic Localizado no Interior da Concha

Segundo Gelfand [21], é conhecido que a ressonância do conduto auditivo provavelmente aconteça na faixa de frequência entre 3 kHz até 5 kHz (a localização específica vai depender das dimensões do conduto auditivo do ouvinte e, principalmente, do comprimento dele) e, portanto, gerar nesta faixa de frequência um aumento de aproximadamente 15 dB no tímpano [21]. Desta forma, é provável que nesta faixa o efeito da ressonância do conduto possa influir nos NPS obtidos pelos microfones Panasonic localizados na entrada do conduto auditivo, e, portanto, alterar a redução de ruído obtida pelo protetor testado.

Assim, usando-se a mesma configuração descrita no Item 3.1.1.3.1.2.3 para a verificação da resposta de frequência relativa dos microfones para um campo de pressão, foi testado no interior da câmara do LVA o sistema microfone-pré-amplificador para uma excitação de 640mV no alto-falante, localizando-se o diafragma do microfone a 0° da fonte (saída do adaptador DP 0888 da B&K), e depois, em forma contrária a esta (180°), de forma a simular a posição do microfone na entrada do conduto auditivo na direção contrária ao centro da cabeça, nas condições da montagem descritas no Item 3.1.1.3.1.2.6.

Os resultados são apresentados na Figura 3.13.

REDUÇÃO DOS NPS PELA ORIENTAÇÃO DO MICROFONE PANASONIC NA CAVIDADE

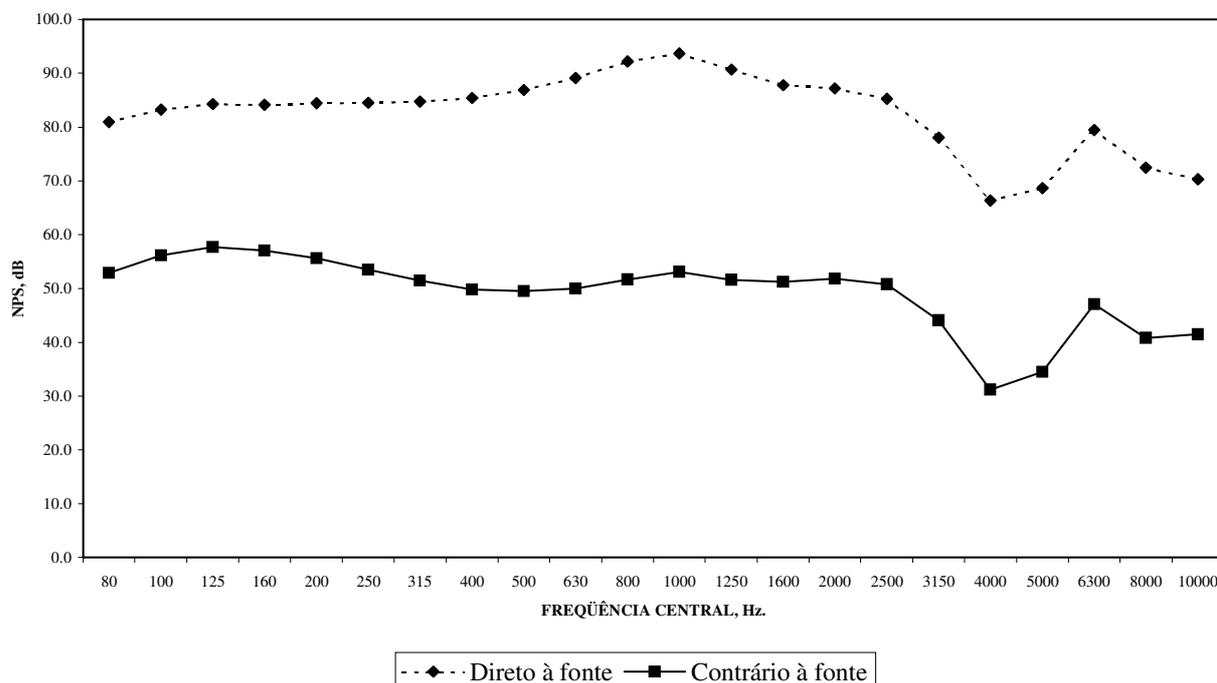


Figura 3.13. Redução dos NPS Pela Orientação do Microfone.

Segundo o apresentado na Figura 3.13, na faixa de frequência entre 3 kHz e 5 kHz, a diminuição média nos NPS devida à orientação do microfone em relação à fonte, com o mesmo sinal de excitação, é de 34 dB. Portanto, de uma magnitude maior a uma possível influência da ressonância do conduto auditivo no microfone localizado à entrada deste.

3.1.2 Validação do Sistema de Medição da Redução de Ruído Proposto

3.1.2.1 Fundamentação

Baseando-se no apresentado no Item 2.1.4., a validação do sistema de medição proposto foi obtida através da comparação entre as reduções de ruído finais correspondentes à aplicação da metodologia apresentada na seção 3.1, e à aplicação da Equação (22), usando-se uma cabeça artificial:

$$NR = IL - TFOE \quad (dB) \quad (22)$$

Desta forma, o valor da redução de ruído (NR) usando-se o microfone da cabeça artificial será obtido através da diferença entre a perda de inserção (IL) e uma aproximação da função de transferência obtida na mesma cabeça (TFOE) no interior da câmara de avaliação, segundo a configuração para a geração do sinal apresentada no Item 3.1.1.2, desprezando-se o efeito do ruído fisiológico (só existente no uso de pessoas) e do conduto auditivo, já que o modelo da cabeça artificial usada (Head Acoustics HMS III.3) não inclui a simulação deste.

3.1.2.2 Metodologia

3.1.2.2.1 Estrutura e Instrumentação Usada

- Câmara de avaliação dos Protetores Auditivos do LARI
- Cabeça artificial Head Acoustics, modelo HMS III.3 (inclui a montagem dos 2 simuladores de ouvido) com software de gravação Head Audio Recorder 5.02 .
- Sistema analisador B&K PULSE (inclui notebook com software PULSE Labshop)
- Amplificador B&K 2706
- Sistema de medição para a Redução de Ruído descrito no Item 3.1.1.
- Protetor Auditivo do tipo concha MSA, modelo Mark V (novo)

3.1.2.2.2 Obtenção da TFOE para a Cabeça Artificial

A aproximação da função de transferência do ouvido aberto (TFOE) da cabeça artificial usada, para os ouvidos direito e esquerdo desta, foi obtida através da diferença entre os NPS obtidos usando-se o conjunto de referência microfone GRASS40AQ-pré-amplificador GRASS26CA, e os NPS obtidos usando-se a cabeça artificial nas condições descritas no Item 3.1.1.2.2 (ruído rosa de 95 ± 1 dB no ponto de referência no interior da câmara) para todas as bandas de frequência de teste, localizando-se o ponto médio do eixo das orelhas da cabeça no ponto de referência da câmara.

O processo para a obtenção da diferença foi reproduzido 3 vezes, não apresentando-se incertezas padrões superiores a 0,16 dB nas bandas de frequência de teste. Os resultados finais (média) são apresentados na Tabela 3.8:

3.1.2.2.3 Obtenção da Perda de Inserção (IL)

A perda de inserção (IL) das conchas direita e esquerda do protetor MSA, modelo Mark V, usando-se a cabeça artificial, foi obtida através da diferença entre os NPS obtidos com e sem o protetor nas condições descritas no Item 3.1.1.2.2 (ruído rosa de 95 ± 1 dB no ponto de referência no interior da câmara) para todas as bandas de frequência de teste, localizando-se o ponto médio do eixo das orelhas da cabeça no ponto de referência da câmara, e, fazendo-se o ajuste do protetor pelo próprio examinador para diminuir a influência desta variável.

O processo para a obtenção da diferença foi reproduzido 3 vezes, não apresentando-se incertezas padrões superiores a 0,12 dB nas bandas de frequência de teste. Os resultados finais (média) para cada concha são apresentados na Tabela 3.8:

3.1.2.2.4 Obtenção da Redução de Ruído Segundo o Método MIRE-B

A redução do ruído do tipo MIRE-B para as conchas direita e esquerda do protetor MSA, modelo Mark V, usando-se a cabeça artificial, foi obtida segundo o método descrito no Item 3.1.1, incluindo-se as correções de frequência dos microfones, localizando-se o ponto médio do eixo das orelhas da cabeça no ponto de referência no interior da câmara, e, fazendo-se o ajuste do protetor pelo próprio examinador.

O processo para a obtenção da redução de ruído foi reproduzido 3 vezes, não apresentando-se incertezas padrões relacionadas à repetibilidade superiores a 0,12 dB nas bandas de frequência de teste. Os resultados finais (média) para cada concha são apresentados na tabela 3.8:

3.1.2.3 Comparação dos Resultados Obtidos.

A redução de ruído do protetor sob teste (NR) nas bandas de frequência de 1/3 de oitava, obtida da diferença entre as médias da IL e da TFOE (Equação (22)), é apresentada na tabela 3.8.

Tabela 3.8. Validação da Redução do Ruído Obtida Segundo o Método MIRE-B.

Frequência Central, Hz	Resultados com Cabeça Artificial e Protetor Auditivo MSA Mark V, em dB							
	TFOE*		IL		NR**		NR***	
	Esquerda	Direita	Esquerda	Direita	Esquerda	Direita	Esquerda	Direita
125	-0,4	0,0	2,9	3,6	3,3	3,6	1,6	2,3
160	-1,4	0,6	10,4	10,3	11,8	9,7	9,4	10,2
200	-0,8	-1,9	15,5	16,3	16,3	18,1	14,5	16,2
250	-1,1	-1,4	26,7	26,4	27,8	27,8	24,1	25,1
315	1,8	-0,8	31,4	29,3	29,6	30,1	27,3	27,6
400	-0,4	0,8	35,1	32,5	35,5	31,7	32,4	31,8
500	2,5	2,1	32,5	34,3	29,9	32,1	34,2	33,4
630	3,6	2,9	33,1	32,7	29,5	29,9	31,7	32,5
800	3,1	3,1	39,1	38,3	35,9	35,2	35,7	37,9
1000	3,3	2,5	43,1	41,0	39,8	38,4	40,6	40,7
1250	2,6	3,3	47,5	43,5	44,9	40,2	43,1	43,9
1600	4,3	3,8	47,4	44,4	43,0	40,6	44,0	44,3
2000	4,9	5,4	45,9	42,7	41,0	37,3	43,1	42,0
2500	7,1	6,6	45,5	42,9	38,4	36,2	40,2	40,6
3150	8,9	8,5	31,2	29,7	22,2	21,2	21,0	23,0
4000	10,9	11,1	25,9	26,1	15,0	15,0	16,5	15,0
5000	7,9	9,7	32,4	31,0	24,4	21,3	24,9	22,3
6300	6,6	7,9	36,1	30,8	29,5	22,9	30,4	23,9
8000	4,0	4,4	36,5	33,8	32,5	29,4	34,2	24,2

*= Obtida sem protetor; **= Obtida de IL-TFOE; ***=Obtida segundo metodologia MIRE-B

Segundo o apresentado na Tabela 3.8, as reduções de ruído segundo o método MIRE-B, obtidas nas conchas esquerda e direita do protetor testado, na faixa de frequência de interesse (duas últimas colunas), apresentam praticamente a mesma ordem de magnitude das reduções de ruído de referência (IL-TFOE), resultando estatisticamente “não significantes” para todas as bandas de frequência de teste, segundo a análise de variância ANOVA, com um intervalo de confiança de 95% ($p=0,4551$), validando-se estatisticamente a aplicação da metodologia proposta para obter a redução do ruído de um protetor auditivo do tipo concha segundo o método MIRE-B.

3.1.3 Cálculo das Incertezas do Método tipo MIRE-B.

3.1.3.1 Desenvolvimento Matemático

3.1.3.1.1 Obtenção do Valor Final da Redução de Ruído do Protetor

O valor da redução de ruído final do protetor auditivo do tipo concha a testar (NR_T) por banda de frequência de teste, vai corresponder à média das reduções de ruído (NR_0) obtidas para cada um de 10 ouvintes.

Assim, no caso de cada ouvinte, a NR_0 será obtida através da média das duas reduções de ruído obtidas de 2 testes feitos em série (NR_1 e NR_2), cujas grandezas finais vão corresponder à média das reduções obtidas no ouvido direito (NR_{OD}) e no esquerdo (NR_{OE}) respectivamente.

Além da obtenção da redução de ruído final do protetor, também é apresentado o cálculo do desvio padrão correspondente.

3.1.3.1.2 Expressão da Incerteza Padrão Combinada da NR_T

Segundo o apresentado no Item 3.1.3.1.1, a equação da redução de ruído final (NR_T) é:

$$NR_T = \frac{\sum_{i=1}^{10} NR_{O_i}}{10} \quad , \quad (23)$$

onde NR_0 é a redução de ruído obtida para cada ouvinte. Desta forma, é possível obter a expressão da incerteza padrão combinada da NR_T (u_c) para uma grandeza não correlacionada, aplicando-se a Equação (15) apresentada no Item 2.2.1.2.1. Portanto, fazendo-se a derivada parcial da definição do coeficiente de sensibilidade da incerteza padrão de cada ouvinte, a expressão da incerteza padrão combinada fica:

$$u_c (NR_T) = \frac{1}{10} \sqrt{\sum_{i=1}^{10} u_c^2 (NR_{O_i})} \quad . \quad (24)$$

onde $u_c(NR_O)$ é definida como a incerteza padrão combinada de cada ouvinte, o que, segundo o presente trabalho, supõem-se de magnitudes equivalentes. Desta forma, segundo a suposição anterior, a Equação (24) fica como:

$$u_c(NR_T) = \frac{\sqrt{10}}{10} \sqrt{u_c^2(NR_O)} \quad . \quad (25)$$

Assim, continuando-se com as definições apresentadas no Item 3.1.3.1.1, a equação da redução de ruído para cada ouvinte (NR_O) é obtida como:

$$NR_O = \frac{NR_1 + NR_2}{2} \quad , \quad (26)$$

onde NR_1 e NR_2 são as reduções de ruído obtidas de 2 testes feitos em série. Desta forma, aplicando-se novamente a Equação (15) na Equação (26), a expressão da incerteza padrão combinada da NR_O (u_c) fica:

$$u_c(NR_O) = \frac{1}{2} \sqrt{u_c^2(NR_1) + u_c^2(NR_2)} \quad , \quad (27)$$

onde $u_c(NR_1)$ e $u_c(NR_2)$ são definidas como as incertezas padrões combinadas das reduções de ruído dos 2 testes feitos em série, considerando-se magnitudes equivalentes destas. Assim, continuando-se com o apresentado no Item 3.1.3.1.1, a NR de cada teste (1 e 2) é obtida através da média entre a redução de ruído das conchas esquerda e direita do protetor, segundo a seguinte equação:

$$NR = \frac{NR_{OD} + NR_{OE}}{2} \quad , \quad (28)$$

onde NR_{OD} e NR_{OE} são as reduções de ruído das conchas direita e esquerda do protetor, respectivamente.

Assim, seguindo-se a metodologia de cálculo até agora, é possível obter a incerteza padrão combinada da NR através da seguinte equação:

$$u_c(NR_1) = \frac{1}{2} \sqrt{u_c^2(NR_{OD}) + u_c^2(NR_{OE})} \quad , \quad (29)$$

onde $u_c(NR_{OD})$ e $u_c(NR_{OE})$ são as incertezas padrão combinadas das reduções de ruído das conchas direita e esquerda do protetor, respectivamente.

Finalmente, é possível reescrever a expressão da incerteza padrão combinada da NR_T (u_c) apresentada na Equação (25) em termos da incerteza das reduções de ruído da concha direita e esquerda usando-se as Equações (27) e (29), da seguinte forma:

$$u_c(NR_T) = \frac{1}{2\sqrt{20}} \sqrt{u_c^2(NR_{OD}) + u_c^2(NR_{OE})} \quad . \quad (30)$$

3.1.3.2 Quantificação das Fontes de Incertezas

Segundo Pedroso [22], todos os valores que entram nos cálculos da incerteza devem estar na mesma unidade. No caso em estudo, a unidade é o decibel. Porém, o decibel é uma escala não linear, e, portanto, poderia causar erros desde a conversão das incertezas expandidas em incerteza padrão, e vice-versa, além de problemas nos cálculos do balanço de incertezas.

De qualquer forma, se o valor da incerteza total calculada em decibel estiver próxima à faixa de ± 1 dB, vai se obter um comportamento linear da escala, e, portanto, haverá menos chances de comprometimento do resultado final devido às não-linearidades desta [22].

Como o valor esperado da incerteza total do método se estima próxima a ± 1 dB, o presente trabalho apresenta a quantificação de cada incerteza, e o balanço final delas, na escala decibel.

3.1.3.2.1 Variáveis que Tem Influência na Incerteza Padrão Combinada da Redução de Ruído de um Protetor Auditivo

A obtenção dos fatores que poderiam influenciar a incerteza padrão combinada da avaliação da redução de ruído de um protetor, foi obtida através da aplicação da técnica “brainstorming”, cujos resultados são apresentados na Tabela 3.9:

Tabela 3.9. Possíveis Fontes de Incerteza da Avaliação da Redução de Ruído.

Etapas da Avaliação da Redução de Ruído	Fontes de Incerteza
Calibrador Sonoro	Incerteza herdada; Deriva no tempo; Pressão atmosférica; Temperatura; Umidade do ar; Ajuste dos microfones na cavidade do calibrador
Captação do Sinal (sistemas microfone-pré-amplificador)	Umidade do ar; Temperatura; Deriva no tempo; Respostas de frequência; Linearidade
Analisador do Sinal (medidor de NPS)	Umidade do ar; Temperatura; Deriva no tempo; Incerteza herdada; Linearidade; Resolução
Emissão do Sinal (gerador, amplificador, alto-falantes)	Umidade do ar; Temperatura; Deriva no tempo; Incerteza herdada; Respostas de frequência; Linearidade
Outros	Localização do microfone fora da concha do protetor; Localização do microfone na entrada do conduto auditivo do ouvinte; Ruído de fundo ambiente de teste; Tensão de alimentação do equipamento; Vazamento gerado pelos cabos do microfone dentro da concha.

Porém, como a redução de ruído de um protetor é produto da diferença aritmética entre os NPS obtidos simultaneamente fora e dentro da concha, devem-se descartar aquelas fontes de incertezas sistemáticas presentes nos dois casos, para assim não contabilizar duas vezes a mesma fonte na quantificação da incerteza padrão combinada [9]. Desta forma, considerando-se que os microfones usados na obtenção dos NPS fora e dentro das conchas são calibrados pelo mesmo equipamento, deve-se descartar o efeito das variações da estabilidade no tempo do calibrador (deriva), mas não o efeito da incerteza herdada deste e do ajuste dos microfones na cavidade do calibrador.

Outras fontes que não serão consideradas no cômputo final da incerteza são as fontes associadas à emissão do sinal, já que ao fazer a diferença aritmética entre os NPS obtidos fora e dentro das conchas, anulam-se. Além disso, e, considerando-se que todos os canais de entrada do sistema PULSE-LapShop 7700 (medidor de NPS) apresentam as mesmas especificações técnicas, e, portanto, o mesmo ordem de magnitude das fontes de incerteza, é que no momento de obter a redução de ruído em forma simultânea, ditas fontes desaparecem, com exceção da resolução do equipamento. Também serão desprezadas outras fontes de incerteza como a influência do ruído de fundo da câmara na avaliação da redução de ruído (o qual é comprovado no Item 3.1.1.2.3.3) e o provável vazamento gerado pelos cabos dos microfones localizados dentro das conchas do protetor (no Item 3.1.1.3.1.2.8).

Outras fontes de incerteza, como a localização do microfone na entrada do conduto auditivo do ouvinte, a fisiologia dos ouvintes e as variações na tensão de alimentação dos

equipamentos (embora todos os equipamentos fossem conectados à rede elétrica através de um estabilizador de tensão) entre outras, serão quantificadas através do item repetibilidade das medições para um modelo de protetor auditivo em particular.

3.1.3.2.1.1 Calibrador de Nível Sonoro

Segundo Pedroso [22], a quantificação da incerteza padrão, u_c , do calibrador (GRASS modelo 42AB), deve-se fazer através da incerteza declarada no certificado de calibração do equipamento (U_{cer_cal}), ou caso não existir, manual de funcionamento deste.

Assim, conforme o apresentado no manual de funcionamento do calibrador GRASS 42AB para a exatidão (ainda não se tem certificado de calibração do equipamento), a variação declarada é de ± 0.2 dB. Desta forma, considerando-se uma distribuição de probabilidade retangular, a incerteza padrão devida ao calibrador é obtida segundo a Equação (31):

$$u_c = \pm \frac{0,2}{\sqrt{3}} \approx \pm 0,12 \text{ dB} \quad . \quad (31)$$

Devido a que o fabricante estabelece que a estrutura do calibrador inclui um circuito de controle para a compensação das variações da pressão barométrica entre 65kPa e 108 kPa, da temperatura entre -10°C e 50°C e da umidade entre 10% e 90%RH, as influências da pressão barométrica, temperatura e umidade sobre o calibrador serão desprezadas, já que as condições ambientais durante a calibração dos microfones (prévia à avaliação do protetor) se encontram dentro dos limites apresentados..

3.1.3.2.1.2 Ajuste dos Microfones na Calibração

Devido às dimensões do diâmetro dos microfones DPA e Panasonic usados, foi necessário utilizar o adaptador de $\frac{1}{4}$ " do calibrador para obter a calibração do sistema de medição. Porém, para verificações posteriores às avaliações, foram notadas variações da ordem $\pm 0,5$ dB com respeito ao ajuste inicial (114 dB), as quais necessariamente devem entrar no cálculo da incerteza.

Desta forma, considerando-se uma distribuição de probabilidade retangular com graus de liberdade infinito, a estimativa da incerteza padrão devido a esta fonte, u_{ac} , será:

$$u_{ac} = \pm \frac{0,5}{\sqrt{3}} \approx \pm 0,29 \text{ dB} \quad . \quad (32)$$

3.1.3.2.1.3 Resposta de Frequência do Sistema Microfone-Pré-amplificador DPA

A quantificação da incerteza padrão da resposta de frequência dos 2 sistemas microfone-pré-amplificador DPA, u_{rf} , para uma incerteza do tipo A por banda de frequência de teste, já foi apresentada na Tabela 3.4 do Item 3.1.1.3.1.1.2.

3.1.3.2.1.4 Resposta de Frequência do Sistema Microfone-Pré-amplificador Panasonic

A quantificação da incerteza padrão da resposta de frequência dos 2 sistemas microfone-pré-amplificador Panasonic, u_{rf} , para uma incerteza do tipo A por banda de frequência de teste, já foi apresentada na Tabela 3.6 do Item 3.1.1.3.1.2.3.

3.1.3.2.1.5 Linearidade dos Sistemas de Medição

Como a avaliação da redução de ruído é obtida numa condição só (NPS de 95 ± 1 dB no ponto de referência no interior da câmara de teste), a quantificação da incerteza padrão da linearidade do sistema Microfone-Pré-amplificador DPA localizado fora da concha foi desprezada. No caso do sistema Microfone-Pré-amplificador Panasonic, não foi necessário quantificar a incerteza padrão da linearidade do sistema, u_{lp} , devido a que se encontra incluída na quantificação da incerteza padrão da resposta de frequência do sistema, a qual foi obtida considerando-se toda a faixa dinâmica de funcionamento do sistema (Item 3.1.1.3.1.2.3 do presente trabalho).

3.1.3.2.1.6 Temperatura

Já que os fabricantes dos microfones usados na experiência (DPA e Panasonic) não informam a influência da temperatura, será necessário adoptar como referência o estabelecido pelo Gayford com respeito à alteração do coeficiente de sensibilidade de um microfone capacitivo em função da temperatura, $C_t = 0,01 \text{ dB/}^\circ\text{C}$ a 20°C [22].

Assim, estimando-se uma variação aproximada da temperatura de como máximo $\Delta\theta = \pm 3^\circ\text{C}$ durante a avaliação, pode-se quantificar a incerteza padrão das variações

da temperatura, u_t , segundo a Equação (33), considerando-se uma distribuição de probabilidade retangular:

$$\Delta\theta_{dB} = C_t \times \Delta\theta = 0,01 \times 3 = 0,03 \text{ dB} \quad ,$$

$$u_t = \pm \frac{\Delta\theta_{dB}}{\sqrt{3}} = \pm \frac{0,03}{\sqrt{3}} \approx \pm 0,02 \text{ dB} \quad .$$
(33)

Devido à estabilidade do desempenho dos pré-amplificadores numa faixa ampla de temperatura [22], a influência da temperatura nestes não será considerada.

3.1.3.2.1.7 Umidade Relativa do Ar

Os fabricantes dos microfones usados na experiência (DPA e Panasonic) indicam que as características dos microfones praticamente não mudam respeito às variações da umidade, embora não apresentem informação específica neste ponto. Porém, pode-se encontrar na descrição de outros fabricantes que o efeito da umidade elevada sobre microfones similares é negligenciável, desde que não haja condensação de água [22]. Portanto, como as condições ambientais no interior da câmara durante a avaliação de um protetor auditivo não apresentam condensação de água, o efeito da umidade relativa do ar sobre os microfones usados não será considerada.

3.1.3.2.1.8 Variações da Estabilidade no Tempo (Deriva)

Embora não se tenha informação do fabricante com respeito às variações da estabilidade dos microfones usados no presente trabalho, as características destes (prepolarizados) permitem estabelecer uma ótima estabilidade no tempo [23]. Porém, ainda assim, vai-se considerar a deriva proposta pelo Pedroso para um microfone de medição de 0,005 dB/ano [22], considerando-se uma temperatura de armazenamento de 30°C e uma distribuição de probabilidade retangular.

A variação da estabilidade temporal dos pré-amplificadores não será considerada para fins da quantificação da incerteza.

3.1.3.2.1.9 Resolução da Medição

A quantificação da incerteza padrão devida à resolução da medição, u_{res} , deve-se calcular através da informação da resolução do equipamento proporcionada pelo fabricante, e pela resolução usada no processo de cálculo final da grandeza.

Desta forma, conforme o apresentado, a resolução final considerada será de $\pm 0,1$ dB. Porém, segundo o estabelecido pelo Pedroso [22], se for efetuado o ajuste do sistema com o calibrador sonoro, evita-se uma parcela de incerteza adicional da ordem da metade da resolução original ($R/2$), ficando uma incerteza total devida à resolução do medidor de $\pm 0,05$ dB, considerando-se uma distribuição de probabilidade retangular. Assim, a quantificação da incerteza padrão é calculada segundo a equação (34):

$$u_{res} = \pm \frac{0,05}{\sqrt{3}} \approx \pm 0,03 \text{ dB} \quad . \quad (34)$$

3.1.3.2.1.10 Localização do Microfone Fora da Concha

A quantificação da incerteza padrão da localização do microfone fora da concha, u_{lc} , para uma incerteza do tipo A por banda de frequência de teste, já foi apresentada na Tabela 3.5 do Item 3.1.1.3.1.1.3.

3.1.3.2.1.11 Fontes Aleatórias (Repetibilidade das Medições)

Devido a efeitos aleatórios, como por exemplo a localização dos microfones no conduto do ouvinte e variações da tensão de alimentação entre outros, os resultados de quaisquer medições sucessivas estão sujeitos a variações [22]. Assim, a análise da dispersão entre os resultados obtidos para uma série de reduções de ruído feitas nas mesmas condições estabelecidas no Item 3.1.1.2.2, e, para um mesmo protetor auditivo, pode ser usado para quantificar a denominada repetibilidade da avaliação.

Assim, a quantificação da incerteza padrão devida à repetibilidade da redução de ruído das conchas direita e esquerda, u_r , por cada banda de frequência, foi obtida testando-se o protetor auditivo do tipo concha Bilsom Lightning L3 uma vez para 10 ouvintes diferentes, com a colocação do protetor feita pelo examinador, segundo os critérios estabelecidos para uma incerteza do tipo A no Item 2.2.1.1. Os resultados finais são apresentados na Tabela 3.10.

É lógico considerar que o uso de pessoas diferentes para os testes (10) não ajuda à diminuição da incerteza da repetibilidade do método, mas deve-se considerar na quantificação devido que é parte deste.

Tabela 3.10. Incertezas Padrões das Reduções do Ruído Obtidas na Concha Direita e Esquerda devida à Repetibilidade.

Frequência Central, Hz	Incerteza padrão devida à repetibilidade, Protetor Bilsom Leightning L3, u_{r2} , dB*	
	Redução do ruído concha direita, NR_{OD}	Redução do ruído concha esquerda, NR_{OE}
125	0,97	1,02
250	0,98	0,97
500	0,7	0,63
1000	0,28	0,45
2000	0,74	0,8
4000	0,5	0,74
8000	0,93	0,67

* = Aproximação feita ao segundo decimal

3.1.3.3 Balanço de Incertezas

3.1.3.3.1 Resumo das Incertezas Identificadas

Um resumo das incertezas consideradas para a quantificação da incerteza padrão combinada da avaliação da redução do ruído de um protetor é apresentado na Tabela 3.11, para a banda de frequência de 1000 Hz (*como as expressões da incerteza padrão da redução do ruído da concha direita e esquerda são equivalentes (não assim a magnitude dos termos), vai se apresentar só o análise para o caso da concha direita*).

Tabela 3.11. Balanço de Incertezas da Redução do Ruído Obtida na Concha Direita para a Banda de Frequência de 1000 Hz, $u_r(NR_{od})$.

Balanço de Incertezas Redução do Ruído Obtida na Concha Direita, NR_{OD}						
Fontes de incertezas	Símbolo	Valor bruto (\pm dB)	Distribuição	Fator de abrangência (divisor)	Incerteza padrão (\pm dB)*	Nº de graus de liberdade (v)
Calibrador	u_{c_micDPA}	0,2	Retangular	$\sqrt{3}$	0,12	Infinito
	u_{c_micPAN}	0,2	Retangular	$\sqrt{3}$	0,12	Infinito
Ajuste microfones na calibração	u_{ac_micDPA}	0,5	Retangular	$\sqrt{3}$	0,29	Infinito
	u_{ac_micPAN}	0,5	Retangular	$\sqrt{3}$	0,29	Infinito
Resposta de frequência microfones	u_{rfp_micDPA}	0,08	Normal	1,0	0,08	5
	u_{rf_micPAN}	0,0	Normal	1,0	0,00	7
Temperatura	u_{t_micDPA}	0,03	Retangular	$\sqrt{3}$	0,02	Infinito
	u_{t_micPAN}	0,03	Retangular	$\sqrt{3}$	0,02	Infinito
Deriva	u_{der_micDPA}	0,005	Retangular	$\sqrt{3}$	0,00	Infinito
	u_{der_micPAN}	0,005	Retangular	$\sqrt{3}$	0,00	Infinito
Localização microfone	u_{loc_micDPA}	0,09	Normal	1,0	0,09	11
Resolução da Medição	u_{res}	0,05	Retangular	$\sqrt{3}$	0,03	Infinito
Repetibilidade**	u_r	0,28	Normal	1,0	0,28	9

* = Aproximação feita ao segundo decimal; ** = Obtida para o protetor Bilsom lightning L3 (tabela 3.10)

3.1.3.3.2 Obtenção da Incerteza Padrão Combinada.

A incerteza padrão combinada da redução de ruído da concha direita do protetor auditivo é obtida através da soma quadrática das incertezas padrões de cada fonte de incerteza declarada na seção anterior, segundo a Equação (35):

$$u_c(NR) = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_i^2} \quad . \quad (35)$$

Conseqüentemente, o cálculo da incerteza padrão combinada da redução de ruído da concha esquerda foi obtida do mesmo jeito, mas considerando-se os termos das incertezas padrões correspondentes à reposta de frequência dos microfones e à repetibilidade obtidas para a concha esquerda.

Posteriormente, foram calculadas a incerteza padrão combinada da redução de ruído individual e da final, segundo as Equações (29) e (30) respectivamente.

Todas as incertezas padrões combinadas ($u_c(NR_{od})$, $u_c(NR_{oe})$, $u_c(NR)$, $u_c(NR_O)$ e $u_c(NR_T)$) são apresentadas na Tabela 3.12 para todas as bandas de frequência de teste.

Tabela 3.12. Incertezas Padrão Combinada da Redução do Ruído e o Desvio Padrão.

Frequência Central, Hz	Incerteza Padrão Combinada com Protetor Bilsom Leightning L3, u_c , dB*				
	$u_c(NR_{OD})$	$u_c(NR_{OE})$	$u_c(NR)$	$u_c(NR_O)$	$u_c(NR_T)$
125	1,07	1,12	0,77	0,55	0,17
250	1,09	1,08	0,77	0,54	0,17
500	0,91	0,84	0,62	0,44	0,14
1000	0,54	0,64	0,42	0,30	0,09
2000	0,87	0,92	0,63	0,45	0,14
4000	0,68	0,88	0,56	0,39	0,12
8000	1,04	0,82	0,66	0,47	0,15

* = Aproximação feita ao segundo decimal

3.1.3.4 Determinação da Incerteza Expandida (U) da Redução de Ruído

A incerteza expandida da redução de ruído, U, foi obtida através dos valores da incerteza padrão combinada final por banda de frequência, apresentadas na Tabela 3.12, e o fator de abrangência “k”, segundo o estabelecido pela Equação (17).

A escolha do fator “k” foi feita aplicando-se a função estatística do inverso da distribuição t de Student do programa Excel, tendo-se os graus de liberdade efetivos, v_{eff} , segundo o critério Welch-Satterthwaite (Equação (19)) para um nível de confiança de 95%.

Os valores da incerteza padrão combinada, os graus de liberdade efetivos, os fatores “k” e a incertezas expandidas, U, são apresentadas na Tabela 3.13 para todas as bandas de frequência de teste.

Tabela 3.13. Incerteza Expandida da Redução do Ruído Obtida na Concha Direta e Esquerda.

Frequência Central, Hz	Balanco de Incertezas Final Redução do Ruído das Conchas, dB							
	Incerteza Padrão Combinada, u_c		Graus de Liberdade efetivos, v_{eff}		Fator de abrangência, k (95%)		Incerteza Expandida, U (95%)*	
	NR_{OD}	NR_{OE}	NR_{OD}	NR_{OE}	NR_{OD}	NR_{OE}	NR_{OD}	NR_{OE}
125	1,07	1,12	13,32	12,88	2,16	2,18	2,3	2,4
250	1,09	1,08	13,61	13,76	2,16	2,16	2,4	2,3
500	0,91	0,84	24,71	27,44	2,06	2,05	1,9	1,7
1000	0,54	0,64	121,98	37,57	1,98	2,03	1,1	1,3
2000	0,87	0,92	17,47	16,08	2,11	2,12	1,8	2,0
4000	0,68	0,88	31,25	17,83	2,04	2,11	1,4	1,9
8000	1,04	0,82	14,08	19,72	2,14	2,09	2,2	1,7

* = Aproximação feita ao primeiro decimal

Tabela 3.14. Incerteza Expandida da Redução do Ruído Individual e Final.

Frequência Central, Hz	Incerteza Expandida da Redução do Ruído (95%), dB*		
	U(NR)	U (NR ₀)	U (NR _r)
125	1,7	1,2	0,4
250	1,7	1,2	0,4
500	1,3	0,9	0,3
1000	0,8	0,6	0,2
2000	1,3	1,0	0,3
4000	1,2	0,8	0,3
8000	1,4	1,0	0,3

* = Aproximação feita ao primeiro decimal

Finalmente, pode-se generalizar uma incerteza expandida individual para cada redução de ruído obtida, considerando-se o máximo valor da incerteza expandida obtida em todas as bandas de frequência de teste avaliadas, com um nível de confiança de 95% (valores destacados nas Tabelas 3.13 e 3.14). Assim, a incerteza expandida geral para a redução de ruído das conchas será de $\pm 2,4$ dB, para a redução de ruído individual $\pm 1,7$ dB, e para a redução de ruído do ouvinte $\pm 1,2$ dB.

No caso da redução de ruído total do protetor, a incerteza expandida geral será de $\pm 0,4$ dB, magnitude pequena comparada com a quantificada pelo Reikal [19] para a avaliação da atenuação do ruído obtida no LARI segundo o método da ANSI S12.6-1997-B ($\pm 2,6$ dB).

3.2 COMPARAÇÃO COM OUTROS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

3.2.1 Metodologia

Com o objetivo de estabelecer uma comparação entre os critérios de avaliação tradicionais, baseados na metodologia do tipo REAT, e a metodologia desenvolvida no presente trabalho segundo o método MIRE, foi avaliada a redução de ruído em 4 modelos de protetores auditivos do tipo concha, devidamente selecionados e testados previamente no LARI, para duas condições: colocação feita pelo ouvinte e pelo examinador.

A média e o desvio padrão das reduções de ruído obtidas em cada condição e em cada protetor selecionado, foram comparados com a média e o desvio padrão do mesmo, mas obtido dos métodos REAT das normas ANSI S12.6-1997-B (feito no LARI), e ANSI S3.19-1974 (obtida da informação proporcionada pelo fabricante), para todas as bandas de frequência de teste.

3.2.1.1 Seleção dos Protetores Auditivos do tipo Concha

Foram selecionados 4 modelos de protetores auditivos do tipo concha usados no mercado brasileiro (2 unidades por cada modelo), com diferentes tamanhos de conchas (volume de ar contido no interior destas) e já avaliados pelo LARI segundo o método estabelecido na norma ANSI S12.6-1997, método B. A marca e modelo dos protetores são o 3M 1435 (cor laranja), o Bilsom Leightning L3 (cor verde), o Bilsom Leightning LOF (cor preto) e o MSA Mark V (cor cinza).

3.2.1.2 Número e Seleção dos Participantes (Ouvintes)

Mantendo-se os critérios da norma ANSI S12.6-1997 (atenuação de ruído segundo o método REAT), o número de ouvintes considerado para a avaliação da redução de ruído de um protetor do tipo concha foi de 10 pessoas (60% homens e 40% mulheres).

A seleção dos ouvintes foi feita entre pessoas com experiência no uso de protetores auditivos, e, de preferência, com atividade universitária na UFSC (graduação ou pós-graduação), numa faixa de idade entre 20 e 40 anos e sem alterações físicas que possam afetar a montagem do microfone na entrada do conduto auditivo, o que foi confirmado segundo um teste visual simples feito pelo próprio examinador prévio ao começo da avaliação.

3.2.1.3 Aspectos Éticos

Como a presente dissertação considera o uso de pessoas nos testes (ouvintes), foi necessário a apresentação do projeto para o comitê de ética da UFSC, sendo aprovado com o número de projeto 377/07.

No Apêndice 3, apresentam-se dos termos de consentimento aprovados pela UFSC e usados na experiência.

3.2.1.4 Análise Estatística Usado para a Comparação dos Resultados

No caso de ser necessário comparar estatisticamente duas curvas de resultados (média e desvio padrão por cada banda de frequência de teste), a análise estatística selecionada foi a análise de multivariância, ANOVA [25], considerando-se um intervalo de confiança de pelo menos um 95% e prévia comprovação de que a distribuição dos dados corresponde a uma do tipo normal.

CAPÍTULO 4: DISCUSSÃO

O presente capítulo se apresenta dividido em duas seções. A primeira apresenta a análise e os resultados obtidos das médias e desvios padrões das atenuações de ruído, segundo as metodologias da ANSI S3.19-1974 e da ANSI S12.6/1997-B (feita no LARI), e das reduções de ruído obtidas segundo a metodologia MIRE proposta (NR_T) para as duas condições de colocação do protetor na cabeça do ouvinte (colocação feita pelo ouvinte e pelo examinador), considerando-se os 4 modelos de protetores auditivos do tipo concha, segundo o apresentado na seção 3.2. A segunda seção apresenta uma análise global dos resultados obtidos.

4.1 PROTETOR AUDITIVO 3M 1435

4.1.1 Resultados Obtidos

Um resumo com os valores das médias e os desvios padrão, além dos números simplificados para a atenuação do protetor, NRR e NRR_{sf} [3], são apresentados na Tabela 4.1 e na Figura N°4.

Tabela 4.1: Dados finais Protetor Auditivo 3M 1435.

Frequência, Hz	ANSI S3.19-1974		LARI (ANSI S12.6/1997-B)		NR _T Colocação Ouvinte		NR _T Colocação Examinador	
	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.
125	15	3	12,6	3,7	10,8	2,2	9,2	2,3
250	20,9	2,8	19,5	4,6	17,9	2,0	16,2	2,1
500	27,5	2,8	28,7	4,4	29,3	2,7	28,2	3,0
1000	30,8	2,4	32,7	3,7	34,6	3,3	33,2	3,0
2000	33,5	2,7	32,9	2,8	35,2	2,7	34,8	3,0
4000	36,9	3,1	38,8	3,1	31,2	1,9	31,1	2,9
8000	36,9	3,7	39,1	4,3	28,2	4,5	33,3	4,6
NRR	23		--		21		19	
NRR_{sf}	--		23		22		21	

PROTETOR AUDITIVO 3M 1435 (sem TFOE)

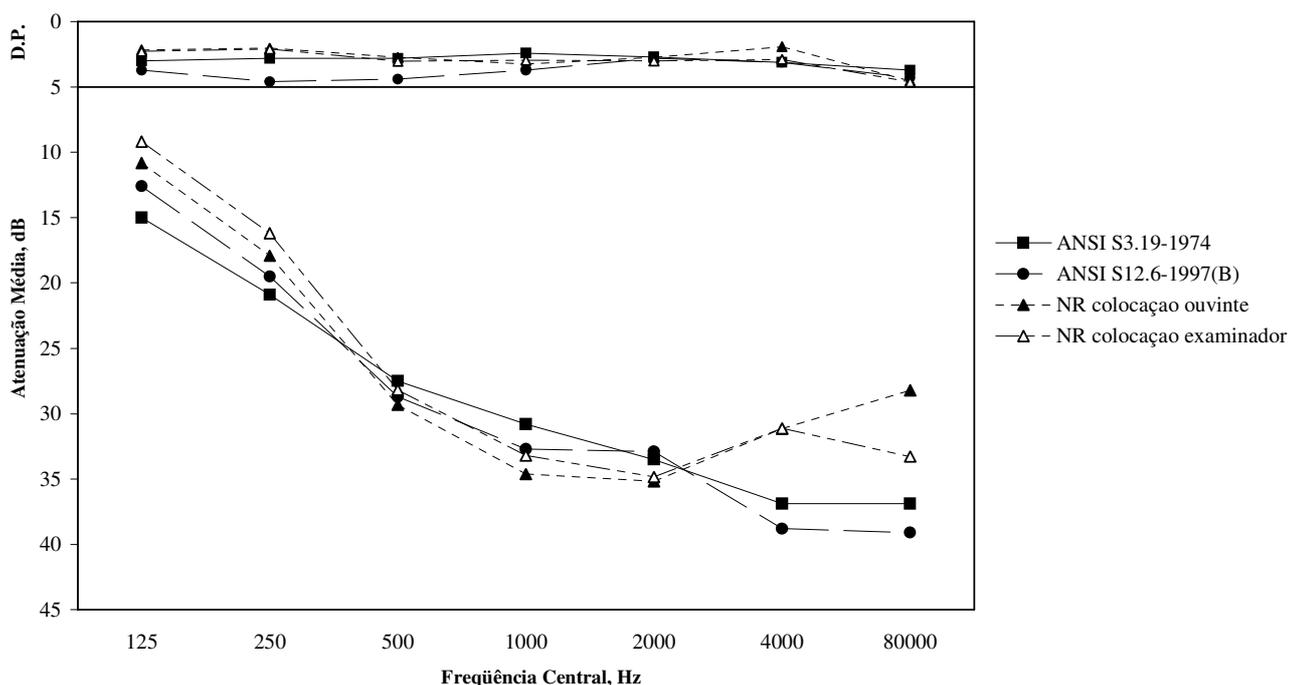


Figura 4.1. Gráfico dos Dados finais do Protetor Auditivo 3M 1435 sem a Correção TFOE.

4.1.2 Análise dos Dados Obtidos

4.1.2.1 Comparação das Atenuações de Ruído Feitas pelo Método REAT (ANSI S3.19-1974 e ANSI S12.6/1997-B (LARI))

Embora as duas normas se diferenciem pelo tipo de colocação do protetor na cabeça do ouvinte (ao contrário da ANSI S12.6-1997(B), a norma ANSI S3.19-1974 permite a intervenção do examinador na colocação do protetor), segundo o apresentado na Tabela 1 e na Figura 4.1, as diferenças existentes entre as médias das atenuações de ruído (como máximo de 2,4 dB na banda de 125 Hz) e dos desvios padrões (principalmente nas baixas frequências) não alteram a tendência geral de comportamento da atenuação, o que é confirmado na magnitude dos números simplificados NRR e o NRR_{sf} , os quais apresentam os mesmos valores (Tabela 4.1).

4.1.2.2 Comparação das Reduções de Ruído Feitas pelo Método MIRE (com Colocação pelo Ouvinte e pelo Examinador)

As curvas da redução de ruído, usando-se a colocação do protetor feita pelo ouvinte e pelo examinador, apresentam pequenas diferenças na faixa de frequência de interesse até 4 kHz (1,7 dB como máximo na banda de 250 Hz), com exceção da banda de 8 kHz, onde a NR_T obtida com a colocação feita pelo examinador foi superior à do ouvinte em 5 dB. Porém, ditas diferenças não são estatisticamente significantes, segundo o obtido da análise ANOVA para um intervalo de confiança de 95% ($p=0,6424238$).

Assim, embora a diferença detectada na banda de 8 kHz, pode-se dizer que a diferença nos resultados da redução de ruído devida ao tipo de colocação do protetor, na cabeça dos ouvintes, não teve um efeito estatisticamente significativo.

4.1.2.3 Comparações do método REAT v/s MIRE

Segundo a Figura 4.1, nas bandas de frequência de 125 Hz e 250 Hz, os valores das atenuações de ruído do tipo REAT das duas normas ANSI, são maiores às NR_T do tipo MIRE. Isto foi originado devido ao efeito do ruído fisiológico quando o ouvido estiver ocluso (PN), gerando-se uma sensação de deslocamento do limiar de audição do ouvinte nesta condição, e, portanto, um aumento “artificial” da atenuação de ruído nesta faixa de frequência, o que não acontece quando for usado um sistema objetivo para a captação do sinal (redução de ruído do tipo MIRE). Segundo Berger [4] e Voix [10], este efeito é reduzido nas médias e altas frequências.

Embora a transmissão via ossos e tecidos não seja de importância acima da banda de 2000 Hz [4], os valores das atenuações do tipo REAT novamente foram maiores às NR_T nesta faixa de frequência, apresentando-se uma queda importante nas curvas da redução de ruído. Porém, isso acontece devido a que os valores de NR_T não se encontram corrigidos pelas funções de transferência do ouvido dos ouvintes para o campo difuso, TFOE. Assim, aplicando-se a correção TFOE apropriada (com a entrada fechada do conduto auditivo) aos valores NR_T por banda de frequência [18], é possível efetuar uma comparação mais efetiva dos dados, o que é apresentado na Figura 4.2.

PROTETOR AUDITIVO 3M 1435 (com TFOE)

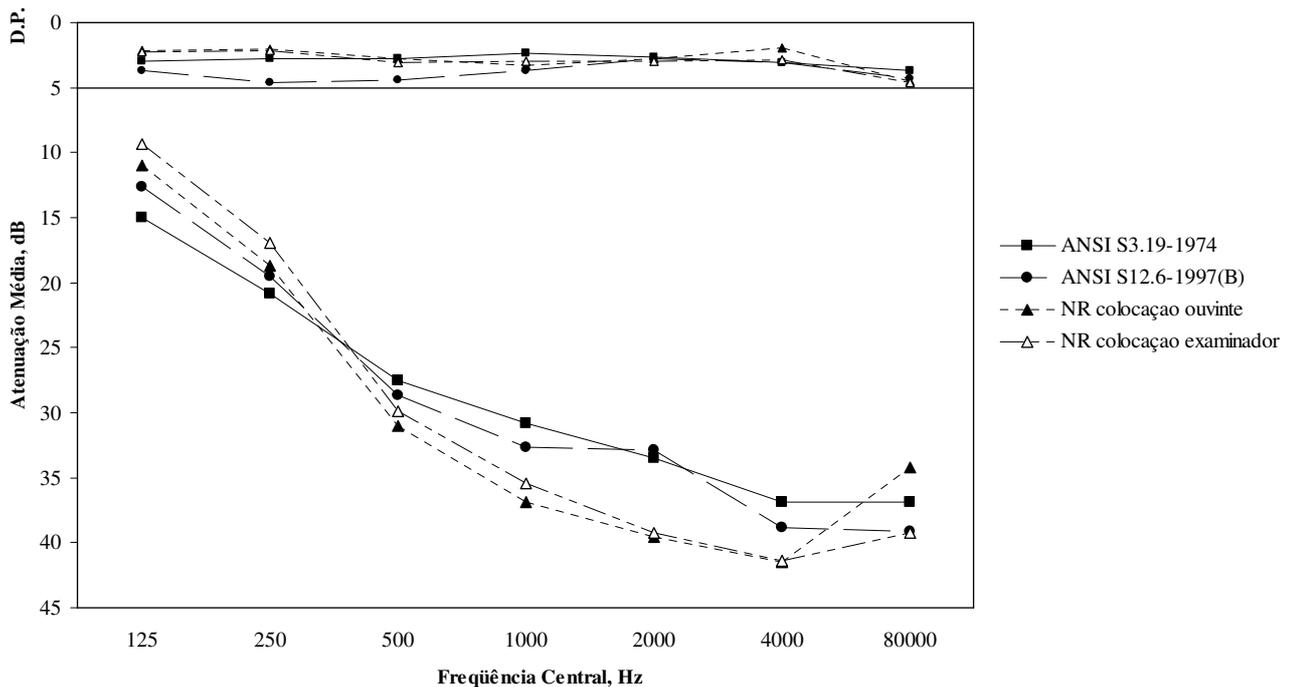


Figura 4.2. Gráfico dos Dados finais do Protetor Auditivo 3M 1435 com a Correção TFOE.

Ao contrário da figura anterior, os valores da NR_T claramente são maiores aos valores da atenuação do tipo REAT acima da banda de 500 Hz, onde começa a ser importante o efeito da TFOE, no caso das NRT, e o efeito devido à trajetória via ossos e tecidos no caso das atenuações. Além disso, também se gera um ganho de aproximadamente 2 a 3 dB adicionais nos números NRR e NRR_{sf} da Tabela 4.1, devido ao efeito da correção.

Em relação à análise dos desvios padrões obtidos, no caso das atenuações do tipo REAT, esperava-se que a magnitude destes foram maiores aos obtidos nas NR_T , devido às diferenças existentes devido à subjetividade no uso das respostas dos ouvintes (método REAT). Porém, isto só foi ratificado no caso da comparação feita entre as NR_T e a atenuação de ruído obtida no LARI, ao contrário da comparação com os desvios padrões da ANSI S3.19-1974, onde se apresentaram magnitudes equivalentes, fator que tem direta relação com o tipo de colocação do protetor na cabeça do ouvinte.

4.2 PROTETOR AUDITIVO BILSOM LEIGHTNING L3

4.2.1 Resultados Obtidos

Um resumo com os valores das médias e os desvios padrão, além dos números simplificados para a atenuação do protetor NRR e NRR_{sf} , são apresentados na Tabela 4.2 e na Figura 4.3.

Tabela 4.2: Dados finais Protetor Auditivo Bilsom Leightning L3.

Frequência, Hz	ANSI S3.19-1974		LARI (ANSI S12.6/1997-B)		NR _T Colocação Ouvinte		NR _T Colocação Examinador	
	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.
125	23,8	2,2	15	7,4	13,6	5,7	11,8	5,3
250	28,8	2,3	22	4,8	21,5	5,4	19,5	5,0
500	36,5	2,4	28,4	3,3	29,1	3,3	27,5	2,9
1000	39,9	1,9	29,6	2,1	31,9	1,6	30,8	1,9
2000	35,3	2,3	30,6	2,4	31,7	2,6	30,9	2,6
4000	39	2,1	29,8	1,9	23,8	1,9	24,6	2,7
8000	40,8	2,3	33,7	4,5	25,9	2,5	28,4	3,9
NRR	30		--		18		15	
NRR_{sf}	--		22		20		19	

PROTETOR AUDITIVO BILSOM LEIGHTNING L3 (sem TFOE)

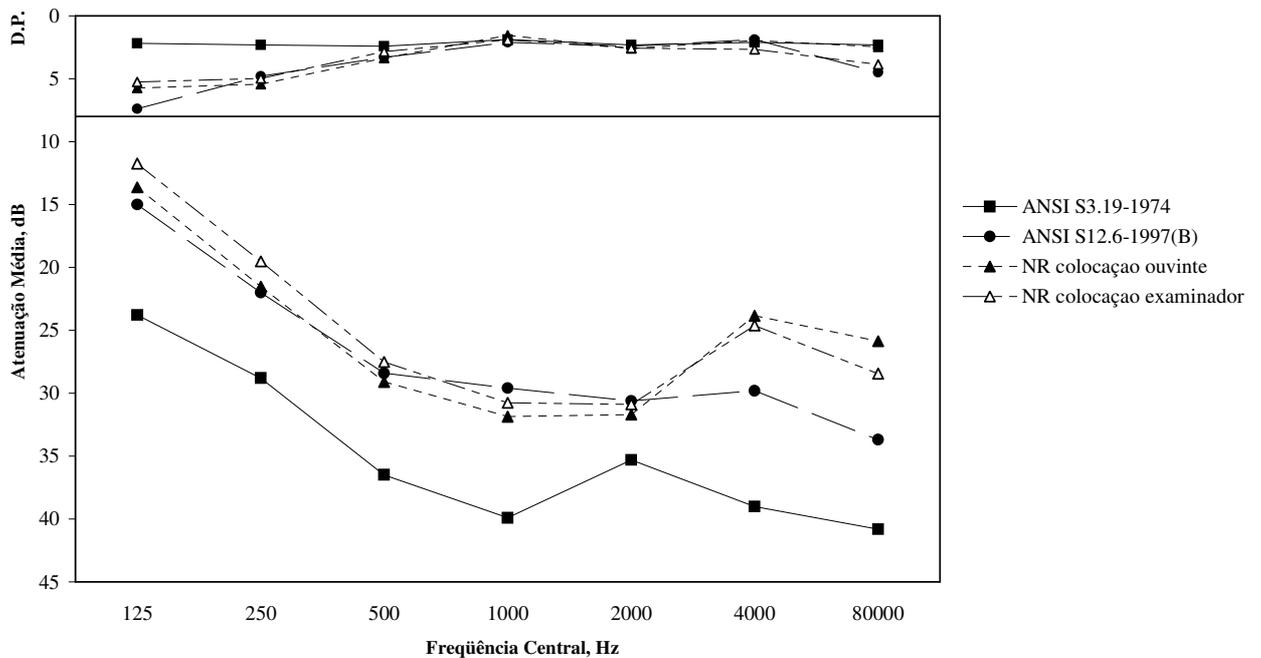


Figura 4.3. Gráfico dos Dados finais do Protetor Auditivo Bilsom Leightning L3 sem a Correção TFOE.

4.2.2 Análise dos Dados Obtidos

4.2.2.1 Comparação das Atenuações de Ruído Feitas pelo Método REAT (ANSI S3.19-1974 e ANSI S12.6/1997-B (LARI))

Ao contrário do protetor 3M 1435, segundo o apresentado pela Tabela 4.2 e a Figura 4.3, existem diferenças significativas entre as médias das atenuações de ruído e os desvios padrões dos métodos da ANSI S3.19-1974 e do LARI (ANSI S12.6-1997(B)), além da diferença existente entre os números NRR e NRR_{sf} apresentada na Tabela 4.2 (8 dB).

4.2.2.2 Comparação das Reduções de Ruído Feitas pelo Método MIRE (com Colocação pelo Ouvinte e pelo Examinador)

As curvas da redução de ruído, com a colocação do protetor feita pelo ouvinte e pelo examinador, apresentam pequenas diferenças de até 2,5 dB como máximo (banda de frequência de 8 kHz) na faixa de frequência de interesse, igual ao caso do número NRR_{sf} e os desvios padrões (fato importante, devido à magnitude destes nas baixas frequências). Porém, ditas diferenças não são estatisticamente significantes, segundo a análise ANOVA feito para um intervalo de confiança de 95% ($p=0,1841491$).

Portanto, pode-se dizer que igual ao caso do protetor 3M 1435, a diferença nos resultados da redução de ruído devida ao tipo de colocação do protetor na cabeça dos ouvintes, não teve um efeito estatisticamente significativo.

4.2.2.3 Comparações do método REAT v/s MIRE

Neste caso, como as diferenças existentes entre os valores das atenuações do tipo REAT segundo a ANSI S3.19-1974 e as NR_T do tipo MIRE com a colocação feita pelo examinador são significantes, não é possível estabelecer alguma relação devido aos altos valores informados pelo fabricante, ao contrário da comparação dos valores NR_T com os valores das atenuações obtidas no LARI, segundo a ANSI S12.6/1997-B. Neste caso, é possível verificar o efeito do ruído fisiológico nas baixas frequências (125 Hz e 250 Hz), ao igual que a queda nos valores das NR_T acima da banda de 2000 Hz devida à TFOE. Assim, igual ao caso do protetor 3M 1435, foi aplicada a mesma correção TFOE [18] aos valores NR_T por banda de frequência, o qual é apresentado na Figura 4.4:

PROTETOR AUDITIVO BILSOM LEIGHTNING L3 (com TFOE)

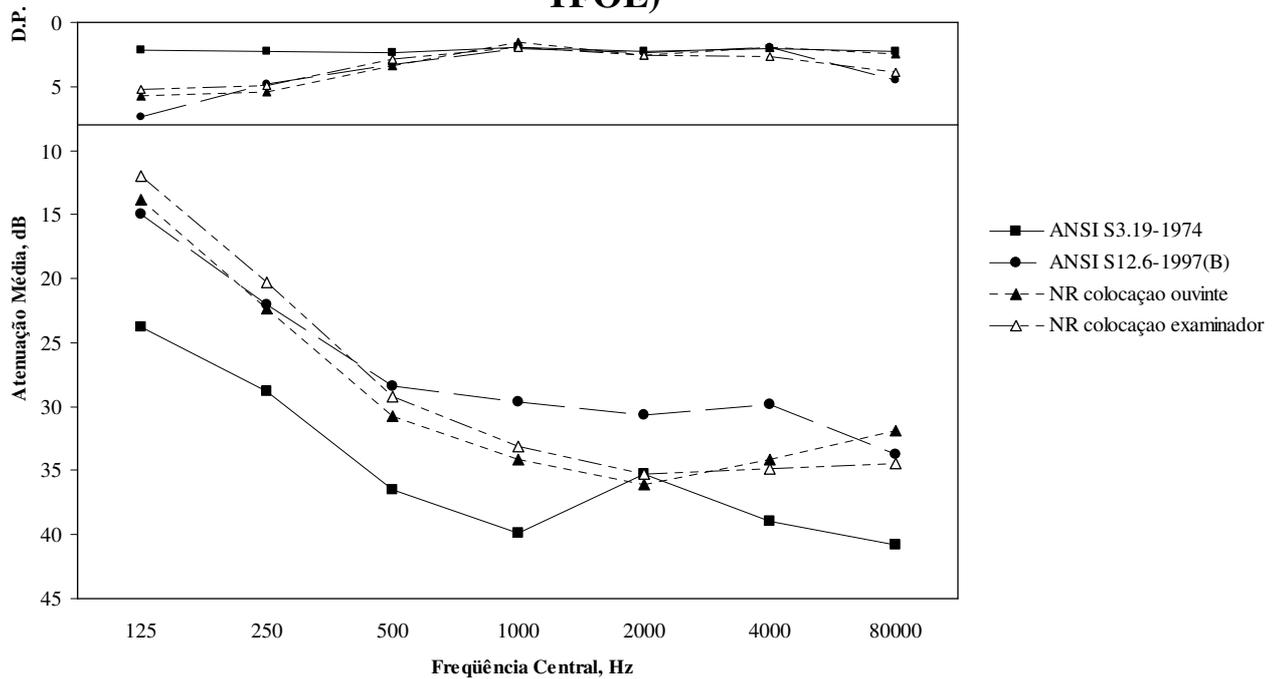


Figura 4.4. Gráfico dos Dados finais do Protetor Auditivo Bilsom Lightning L3 com a Correção TFOE.

A correção melhora a resposta das NR_T acima dos 500 Hz por sobre a curva da atenuação do tipo REAT obtida no LARI, ficando mais perto da curva da atenuação segundo a norma ANSI S3.19-1974, mas ainda embaixo desta, ao contrário do acontecido com o protetor 3M 1435. Além do anterior, também se gera um ganho de aproximadamente 3 dB adicionais nos números NRR e NRR_{sf} da Tabela 4.2, devido ao efeito da correção.

Em relação à análise dos desvios padrão obtidos, no caso da comparação feita entre as NR_T e a atenuação do ruído obtida no LARI, foram encontradas magnitudes similares, excetuando-se a banda de 125 Hz onde o valor do desvio no caso da atenuação do LARI é maior. Diferente foi o caso da comparação dos desvios obtidos nas NR_T e na ANSI S3.19-1974, onde se apresentaram diferenças importantes.

4.3 PROTETOR AUDITIVO BILSOM LEIGHTNING LOF

4.3.1 Resultados Obtidos

Um resumo com os valores das médias e os desvios padrão, além dos números simplificados para a atenuação do protetor NRR e NRR_{sf} , são apresentados na Tabela 4.3 e na Figura 4.5.

Tabela 4.3: Dados finais Protetor Auditivo Bilsom Lightning LOF.

Frequência, Hz	ANSI S3.19-1974		LARI (ANSI S12.6/1997-B)		NR _T Colocação Ouvinte		NR _T Colocação Examinador	
	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.
125	16,8	2,5	10,1	3,5	8,4	1,9	6,9	1,6
250	22,1	2,1	15,7	5,1	17,8	2,7	16,2	2,1
500	25,2	2	19,6	3	23,2	1,9	22,0	1,3
1000	27,2	2,2	21,6	1,8	23,7	1,1	22,8	1,1
2000	31,3	2,3	23,4	2,5	23,9	1,1	24,0	1,4
4000	40,3	2,9	30,9	3,8	26,1	1,3	26,4	1,6
8000	42,1	3,5	33,2	4,1	27,3	2,5	29,7	2,1
NRR	23		--		18		17	
NRR_{sf}	--		16		18		18	

PROTETOR AUDITIVO BILSOM LEIGHTNING LOF (sem TFOE)

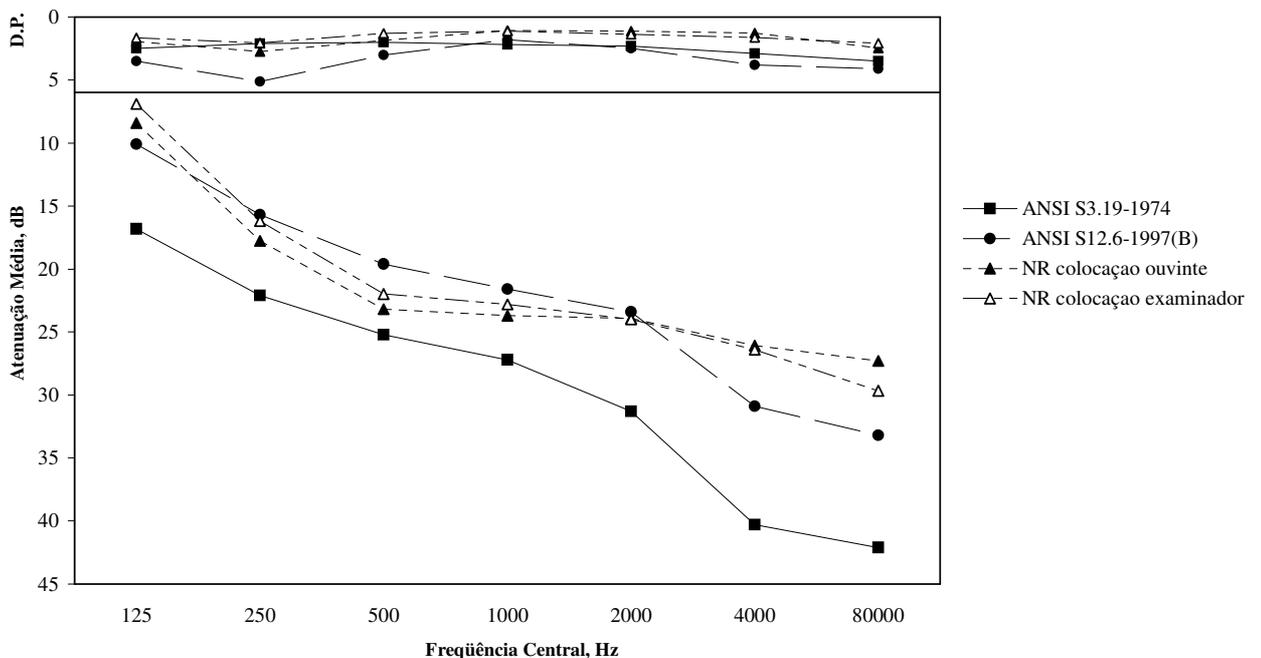


Figura 4.5. Gráfico dos Dados finais do Protetor Auditivo Bilsom Lightning LOF sem a Correção TFOE.

4.3.2 Análise dos Dados Obtidos

4.3.2.1 Comparação das Atenuações de Ruído Feitas pelo Método REAT (ANSI S3.19-1974 e ANSI S12.6/1997-B (LARI))

Segundo o apresentado pela Tabela 4.3 e a Figura 4.5, existem diferenças entre as médias das atenuações de ruído e os desvios padrões dos métodos da ANSI S3.19-1974 e do LARI (ANSI S12.6/1997-B), as quais se mantêm praticamente constantes na faixa de frequência de interesse, apresentando-se uma diferença de 7 dB entre o NRR e NRR_{sf} (Tabela 4.3).

4.3.2.2 Comparação das Reduções de Ruído Feitas pelo Método MIRE (com Colocação pelo Ouvinte e pelo Examinador)

Ao igual que nos casos anteriores, as médias das NR_T com a colocação do protetor feita pelo ouvinte e pelo examinador, apresentam diferenças de até 2,4 dB como máximo (banda de frequência de 8 kHz) na faixa de frequência de interesse. Porém, ditas diferenças não são estatisticamente significantes, segundo o obtido da análise ANOVA para um intervalo de confiança de 95% ($p = 0,117699153$), além de magnitudes semelhantes para o NRR, o NRR_{sf} e os desvíos padrões. Portanto, pode-se dizer que a diferença devida ao tipo de colocação do protetor na cabeça dos ouvintes, não teve um efeito significativo.

4.3.2.3 Comparações do método REAT v/s MIRE

Igual ao caso do protetor Bilsom Leightning L3, pode-se observar que novamente se repetem as relações já analisadas para as baixas e altas frequências na comparação dos valores NR_T com os valores de atenuação obtidos no LARI, onde novamente se encontra a influência do ruído fisiológico (PN), mas limitada só à banda de 125 Hz neste caso, e do efeito acima da banda de 2000 Hz devida à TFOE. Ao igual que os casos anteriores, for aplicada a correção TFOE [18] aos valores NR_T , o que é apresentado na Figura 4.6.

PROTETOR AUDITIVO BILSOM LEIGHTNING LOF (com TFOE)

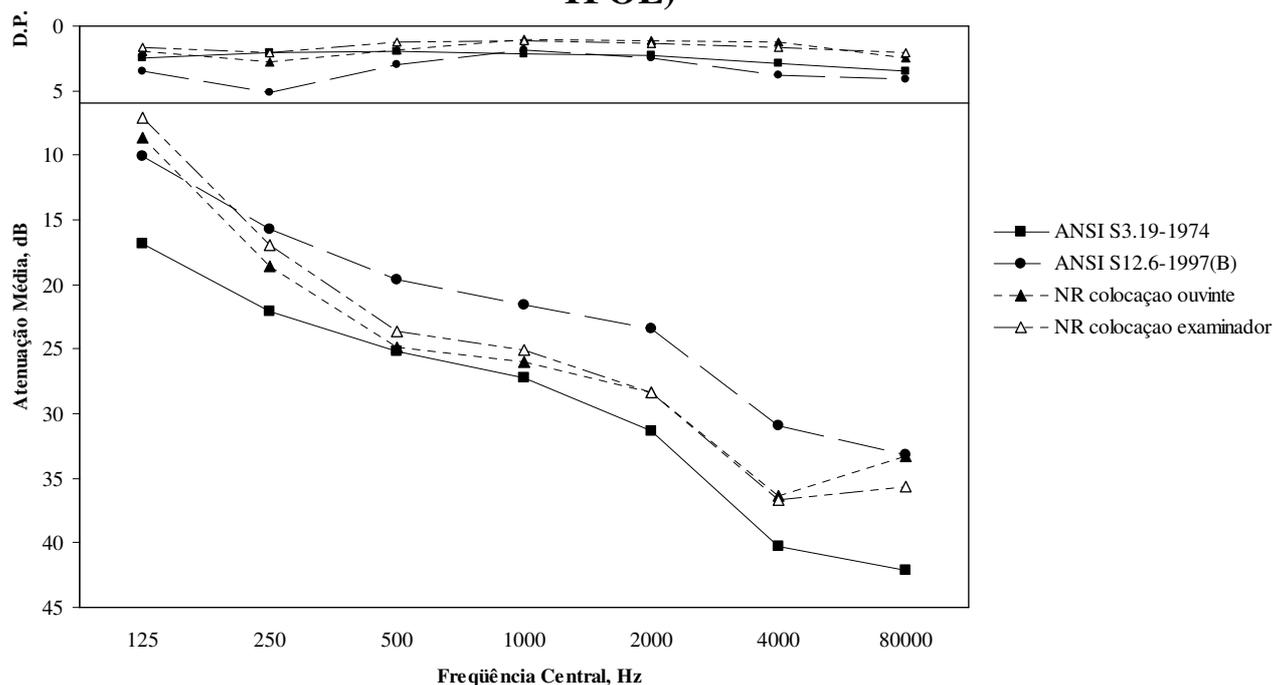


Figura 4.6. Gráfico dos Dados finais do Protetor Auditivo Bilsom Lightning LOF com a Correção TFOE.

Igual ao protetor anterior (Bilsom Lightning L3), a correção melhora a resposta das NR_T , mas acima dos 250 Hz neste caso, ficando mais perto da curva da atenuação da norma ANSI S3.19-1974, mas ainda um pouco embaixo desta. Além disso, também se gera um ganho de aproximadamente 3 dB adicionais nos números NRR e NRR_{sf} da Tabela 4.3, devido ao efeito da correção.

Quanto aos desvios padrão, e principalmente no caso das NR_T , é importante destacar a baixa magnitude obtida (excetuando-se algumas bandas de frequência da atenuação obtida no LARI), o que permite supor uma ótima distribuição da pressão da almofada do protetor sobre a cabeça do ouvinte, e portanto, uma incerteza menor na colocação deste.

4.4 PROTETOR AUDITIVO MSA MARK V

4.4.1 Resultados Obtidos

Um resumo com os valores das médias e os desvios padrão, além dos números simplificados para a atenuação do protetor NRR e NRR_{sf} , são apresentados na Tabela 4.4 e na Figura 4.7.

Tabela 4.4: Dados finais Protetor Auditivo MSA MarkV

Frequência, Hz	ANSI S3.19-1974		LARI (ANSI S12.6/1997-B)		NR _T Colocação Ouvinte		NR _T Colocação Examinador	
	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.
125	10	0,7	10,7	3,8	7,1	1,5	5,4	2,0
250	26	0,9	18,5	2,5	20,9	2,2	19,6	1,6
500	38	1,4	23,2	2,2	30,0	2,4	29,0	1,7
1000	44	1,8	28,8	2,7	35,5	2,8	34,6	1,8
2000	49	2,8	33	3,2	33,2	3,7	33,1	3,0
4000	35	3,1	32,8	2,4	16,8	1,9	17,0	2,3
8000	41	2,2	34,3	4,8	24,4	3,1	26,0	2,5
NRR	27		--		18		16	
NRR_{sf}	--		21		16		16	

PROTETOR AUDITIVO MSA MARK V (sem TFOE)

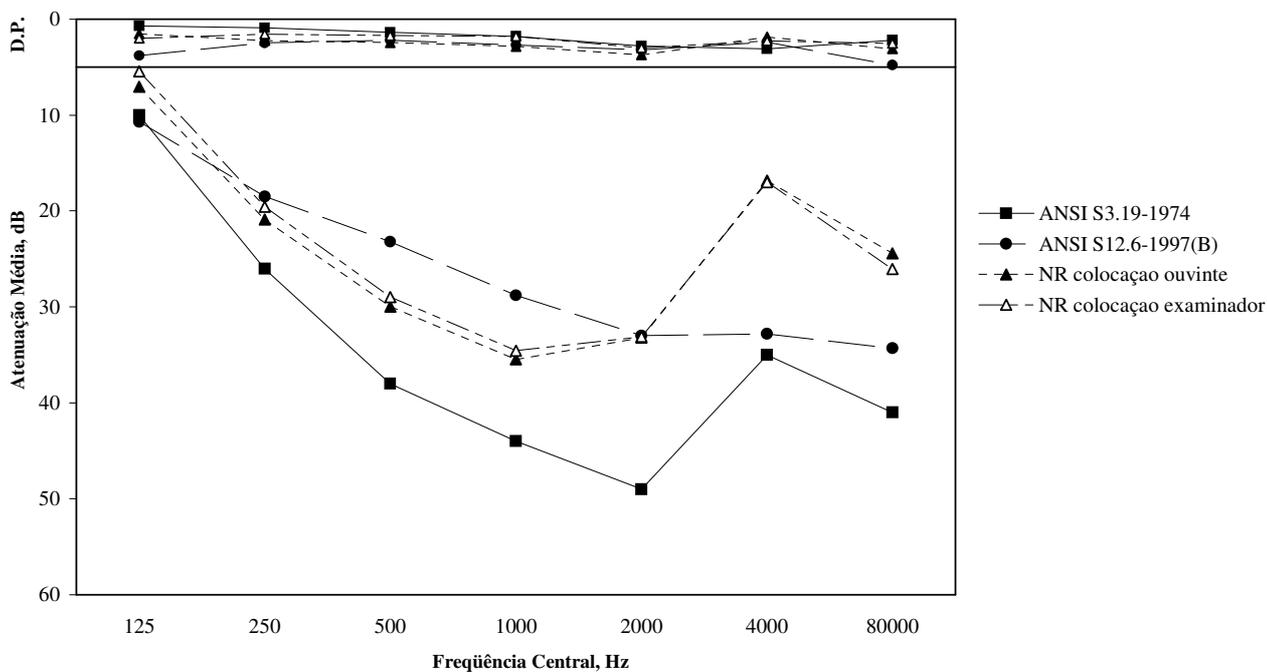


Figura 4.7. Gráfico dos Dados finais do Protetor Auditivo MSA Mark V sem a Correção TFOE.

4.4.2 Análise dos Dados Obtidos

4.4.2.1 Comparação das Atenuações de Ruído Feitas pelo Método REAT (ANSI S3.19-1974 e ANSI S12.6/1997-B (LARI))

Ao contrário do protetor 3M 1435, segundo o apresentado pela Tabela 4.4 e a Figura 4.7, existem diferenças significativas entre as médias da atenuação feitas segundo os métodos da ANSI S3.19-1974 e do LARI (ANSI S12.6/1997-B), principalmente na faixa entre 250 Hz e 2000 Hz. Além disso, os números NRR e NRR_{sf} apresentam uma diferença de até 6 dB segundo a Tabela 4.4. Enquanto aos desvios padrão, também podem-se detectar diferenças importantes, principalmente no caso das baixas frequências (<1000 Hz).

4.4.2.2 Comparação das Reduções de Ruído Feitas pelo Método MIRE (com Colocação pelo Ouvinte e pelo Examinador)

As curvas da redução de ruído com as duas colocações apresentaram diferenças mínimas na faixa de frequência de interesse de até 1,6 dB como máximo (banda de frequência de 8 kHz). Porém, ditas diferenças não são estatisticamente significantes, segundo o obtido da análise ANOVA para um intervalo de confiança de 95% ($p= 0,1206594$), além de magnitudes semelhantes para o NRR, o NRR_{sf} e os desvios padrão. Portanto, igual aos outros protetores, pode-se dizer que a diferença devida ao tipo de colocação do protetor na cabeça dos ouvintes, não teve um efeito significativo.

4.4.2.3 Comparações do método REAT v/s MIRE

Pode-se observar a repetição do acontecido para o protetor anterior nas baixas e altas frequências, com a influência do ruído fisiológico (PN) limitada só à banda de 125 Hz, e do efeito acima da banda de 2000 Hz devida à TFOE. Neste caso, também foi aplicada a correção TFOE [18] aos valores NR_T , o que é apresentado na Figura 4.8, gerando-se um comportamento em frequência similar à avaliação segundo a norma ANSI S3.19-1974, além de um ganho adicional nos valores NRR e NRR_{sf} de 4 até 6 dB devido à correção.

PROTETOR AUDITIVO MSA MARK V (com TFOE)

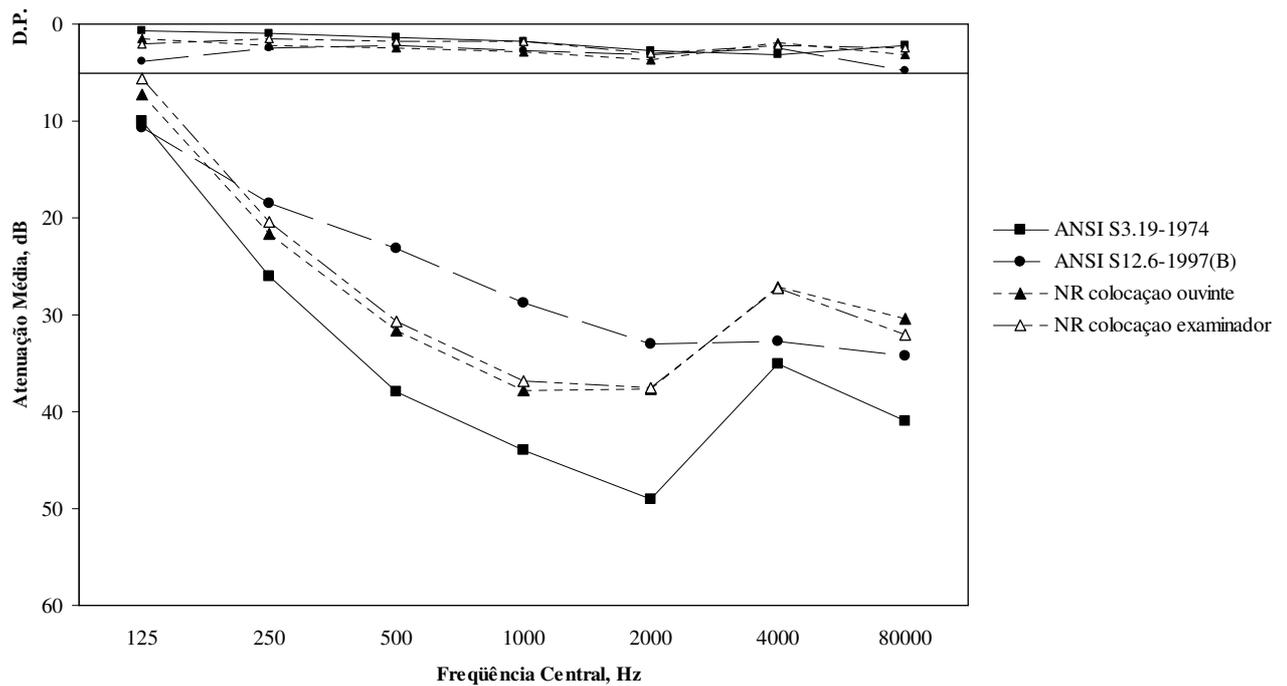


Figura 4.8. Gráfico dos Dados finais do Protetor Auditivo MSA Mark V com a Correção TFOE.

4.5 RESUMO DA ANÁLISE

Embora tenham-se gerado diferenças importantes entre os valores das atenuações do tipo REAT segundo a ANSI S3.19-1974 proporcionadas pelo fabricante (os valores apresentados foram muito elevados) e as NR_T do tipo MIRE com a colocação feita pelo examinador para 3 dos 4 protetores analisados (lembrar que a norma dita permite a intervenção do examinador na colocação do protetor), através das comparações das NR_T com as atenuações obtidas no LARI, foi possível comprovar a importância das relações apresentadas na Equação (9) do Capítulo 2 com respeito às influências da TFOE e do ruído fisiológico (PN) nos resultados obtidos.

Com respeito à influência das variáveis físicas de cada protetor nos resultados obtidos, pode-se dizer que no caso das comparações feitas com aqueles protetores com um volume de ar contido nas conchas mais reduzido (por exemplo o Bilsom lightning LOF e o MSA Mark V), a faixa de frequência de influência do ruído fisiológico diminui com respeito ao caso dos protetores com um volume de ar maior (só na banda de 125 Hz), o que sugere um relacionamento entre o volume efetivo de ar contido nas conchas de um protetor e o efeito do

ruído fisiológico (PN) gerado na avaliações da atenuação de ruído do tipo REAT, o qual também é sugerido pelo Berger e Kerivan [4].

Finalmente, deixando-se ao lado as diferenças analisadas nas baixas frequências devido ao ruído fisiológico, é interessante analisar que tendo-se aplicado a correção TFOE da norma ISO 11904-1 aos resultados da NR_T (a qual corresponderia ao termo TFOE- E_{CA} da Equação (9) do Capítulo 2), pode-se observar que para os 4 protetores os valores das atenuações do LARI são menores que os valores corrigidos da NR_T nas médias e altas frequências, o que confirma o fato apresentado no Capítulo 2 que indica que uma metodologia objetiva como a redução do ruído não quantifica a trajetória via ossos e tecidos, e, portanto, apresentaria uma superestimação dos dados da atenuação devido a este fator.

CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÕES

- 5.1.1 O sistema proposto para a avaliação da redução de ruído de um protetor auditivo do tipo concha baseado no método do microfone no ouvido real, MIRE, demonstrou ser uma ferramenta válida para a quantificação desta grandeza, considerando o alto grau de confiabilidade no resultado final, segundo o apresentado nos Capítulos 3 e 4 da presente dissertação.
- 5.1.2 A incerteza expandida final obtida pelo método proposto da redução de ruído de um protetor auditivo do tipo concha baseado no método do microfone no ouvido real, MIRE ($\pm 0,4$ dB para o caso da NR_T), é consideravelmente menor que a obtida no LARI para o método subjetivo da atenuação de ruído da ANSI S12.6/1997-B ($\pm 2,6$ dB), segundo o apresentado no Capítulos 3 da presente dissertação.
- 5.1.3 A influência da colocação do protetor auditivo do tipo concha na cabeça dos ouvintes selecionados (feita pelo ouvinte ou pelo examinador) não é significativa na quantificação da redução de ruído final de um protetor auditivo do tipo concha, segundo o apresentado no Capítulo 4 e quando o ouvinte atender os requisitos descritos no Item 3.2.1.2 da presente dissertação.
- 5.1.4 As atenuações de ruído obtidas pelos métodos da ANSI S3.19-1974 (proporcionada pelo fabricante) e da ANSI S12.6/1997-B (feita no LARI) apresentam diferenças significativas para 3 dos 4 protetores na faixa de frequência de interesse de 125 Hz até 8 kHz, segundo o apresentado no Capítulo 4.
- 5.1.5 O ruído fisiológico (PN), a trajetória via ossos e tecidos e a função de transferência do ouvido aberto (TFOE) são as principais variáveis que influem nas diferenças detectadas na comparação entre a redução de ruído do tipo MIRE e a atenuação de ruído obtida no LARI segundo a norma ANSI S12.6/1997-B, para todos os protetores avaliados na faixa de frequência de interesse (125 Hz até 8 kHz) respectivamente, segundo o apresentado no Capítulo 4.

5.1.6 Considerando-se os resultados obtidos no Capítulo 4 desta dissertação, conclui-se que a metodologia proposta para a avaliação da redução de ruído de um protetor auditivo do tipo concha ainda não é recomendável como método alternativo à avaliação da atenuação de ruído segundo o método REAT (quantificam grandezas diferentes, embora apresentem a mesma finalidade), e, portanto, também não para a normalização deste, até confirmar e quantificar estatisticamente a representatividade da influência das variáveis apresentadas na conclusão anterior.

5.2 RECOMENDAÇÕES

5.2.1 Aumentar o número de comparações entre a redução de ruído (NR) segundo o método MIRE, e a atenuação de ruído obtida segundo a norma ANSI S12.6/1997-B (feita no LARI) para protetores auditivos do tipo concha de diferente volume de ar, para assim, confirmar estatisticamente a influência de variáveis como o ruído fisiológico em baixa frequência (PN) e a função de transferência do ouvido aberto (TFOE) detetadas na presente dissertação.

5.2.2 Avaliar adicionalmente no LARI a atenuação de ruído obtida segundo a metodologia estabelecida na ANSI S3.19-1974 para os diferentes protetores do tipo concha testados, com a finalidade de estabelecer uma correlação entre os dados para o tipo de colocação do protetor.

5.2.3 Devido às prováveis perturbações do campo geradas pelo uso de um microfone no interior das conchas dos protetores, é recomendável considerar o uso de uma sonda de pequenas dimensões para a captação dos NPS no interior do conduto auditivo do ouvinte, e assim diminuir as variações devido a este fator.

5.2.4 No caso de implementar no futuro microfones adicionais, considerando-se a metodologia proposta neste trabalho, deve-se ter muito cuidado na soldagem dos microfones Panasonic com os cabos, já que é um fator crítico na obtenção do ruído inerente do sistema, e, portanto, da faixa dinâmica deste.

5.2.5 Devido às considerações especiais com respeito à manipulação dos cabos dos microfones Panasonic durante o trabalho, principalmente na etapa de calibração e

instalação destes no conduto auditivo do ouvinte, é recomendável considerar no futuro a troca dos cabos de cobre por outros mais macios e flexíveis, mas que tenham como máximo o mesmo diâmetro que os usados no presente trabalho.

- 5.2.6 Embora os microfones do tipo eletreto apresentem uma excelente estabilidade no tempo, é muito importante considerar a avaliação periódica deles para não ter uma perda nas características do sistema.
- 5.2.7 Devido às características técnicas do sistema microfone Panasonic-pré-amplificador para a obtenção dos NPS na entrada do conduto do ouvinte (ruído inerente, faixa dinâmica, sensibilidade, resposta de frequência, tamanho), além do custo reduzido de implementação, o sistema também pode-se recomendar para outras aplicações acústicas, como por exemplo, gravações do tipo biaural, medições em cavidades pequenas ou obtenção da dose de ruído no caso da exposição nos ambientes de trabalho.

MATERIAIS DE REFERÊNCIA

- [1] NIOSH. **“Occupational Noise Exposure”**, Revised Criteria, EUA, 1998.
- [2] BRASIL. Ministério da Saúde. Série A: Normas e Manuais Técnicos. Área Técnica da Saúde do Trabalhador, **“Protocolos de Complexidade Diferenciada: Perda Auditiva Induzida por Ruído (PAIR)”**, Brasília D.F., 2006.
- [3] GERGES, Samir N. Y. **“Protetores Auditivos”**. Florianópolis UFSC, 2003.
- [4] BERGER, E. H.; KERIVAN, J. E. **“Influence of Physiological Noise and the Occlusion Effect on the Measurement of Real-Ear Attenuation at Threshold”**. J. Acoust. Soc. Am. 74(1), 81-94, 1983
- [5] OSHA, Technical Manual, Section III, Cap.5: **“Noise and Hearing Conservation”**, EUA, 2006 (www.osha.gov).
- [6] BERGER, E.H., **“Preferred Methods for Measuring Hearing Protector Attenuation”**, Internoise 2005, Ríó de Janeiro-Brasil.
- [7] VOIX, J.; LAVILLE, F. **“Expandable Earplug with Smart Custom Fitting Capabilities”**, Internoise 2002, Dearborn, MI, USA.
- [8] INMETRO, ABNT. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial e Associação Brasileira de Normas Técnicas. **“Guia para a Expressão da Incerteza da Medição”**, terceira edição brasileira, Brasil, 2003.
- [9] FLESH, C.A. UFSC. Laboratório de Metrologia e Automação. Apostila do módulo 1 do curso **“Metrologia e Eletrônica Básica para Experimentação”**. Depto. Eng. Mecânica, Florianópolis, Brasil, Junho 2003.
- [10] VOIX, J.; LAVILLE, F. Université du Québec. École de Technologie Supérieure. **“The Objective Measurement of Individual Earplug Field Performance”**, Montreal (Quebec), Canada, 2005.

- [11] ANSI. "**Method for the Measurement of Real-Ear Protection of Hearing Protectors and Physical Attenuation of Earmuffs**" American National Standards Institute, S3.19-1974 (ASA STD 1-1975), New York, EUA,1974
- [12] ANSI. "**Methods for Measuring the Real-Ear Attenuation of Hearing Protectors**" American National Standards Institute, S12.6-1997 (R2002), New York, EUA,1997
- [13] EN 352-1:2002. "**Hearing protectors - General requirements - Part 1: Ear-Muffs**", CEN, 2002.
- [14] EN 352-2:2002. "**Hearing protectors - General requirements - Part 2: Ear-plugs**", CEN, 2002.
- [15] ISO. "**Acoustics - Hearing Protectors - Part 1: Subjective Method for the Measurement of Sound Attenuation**" International Organization for Standardization, ISO 4869-1:1990(E), Switzerland.
- [16] ANSI. "**Microphone-in-Real-Ear and Acoustic Test Fixture Methods for the Measurement of Insertion Loss of Circumaural Hearing Protection Devices**," American National Standards Institute, S12.42-1995, New York, EUA.
- [17] ISO. "**Acoustics - Hearing Protectors - Part 3: Simplified Method for the Insertion Loss of Earmuff Type Hearing Protectors for Quality Inspection Purposes**" International Organization for Standardization, ISO/TR 4869-3:1989(E), Switzerland.
- [18] ISO. "**Acoustics - Determination of Sound Inmissions from Sound Sources Placed Closed to the Ears, Part 1: Technique using Microphones In Real Ears (MIRE-Technique)**", International Organization for Standardization, ISO/DIS 11904-1:2000, Switzerland.
- [19] REIKAL, F. "**Desenvolvimento e Avaliação Metrológica de Sistema para Ensaio de Atenuação de Ruído de Protetores Auditivos pelo Método Subjetivo**". Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica, UFSC, Florianópolis, 2003.

- [20] LINKWITZ LAB. DESIGN AND CONSULTATION IN ELECTRONICS AND ACOUSTICS, site: http://www.linkwitzlab.com/sys_test.htm#Mic, Maio 2007.
- [21] GELFAND, S.A. “**Hearing: an Introduction to Psychological and Psysiological Acoustics**”, Marcel Dekker ed., 3.ed., New York, 1998.
- [22] PEDROSO, M. “**Aspectos Metrológicos da Calibração de Audiômetros**”. Dissertação de Mestrado em Metrologia Científica e Industrial, UFSC, Florianópolis, 2002.
- [23] BIDONDO, A. Consultora “Ingeniería de Sonido”, site: <http://ingenieriadesonido.com/upload/Microfonos%20I.pdf>, Novembro 2007.
- [24] CROCKER, M. “**Handbook of Acoustics**”, John Wiley&Sons Inc. ed., 1.ed., New York, EUA, 1998.
- [25] CARR, R. “**XLStatistics – Excel Workbooks for Statistical Data Analysis 06.08.27**”, XLent Works, Australia, 2007.

APÊNDICE 1. Caraterísticas Técnicas do Microfone DPA 4060

Especificaciones

**4060 4061 4062 4063
4065 4066 4067**

Características direccionales:

Omnidireccional

Tipo de cápsula:

Condensador prepolarizado con diafragma vertical

Principio de funcionamiento:

Presión

Alimentación:

Mín. 5V - máx. 50V a través de adaptador DPA

4063/67: Mín. 3 V - máx. 50 V a través de adaptador DPA

Rango de frecuencia:

Rejilla enfatiz. suave: 20 Hz-20 kHz ± 2 dB, 3 dB de enfatización suave en 8-20 kHz

Rejilla enfatiz. dura: 20 Hz-20 kHz ± 2 dB, 10 dB de enfatización en 12 kHz

4067: 50 Hz-20 kHz ± 2 dB, 3 dB de enfatización suave en 8-20 kHz, filtro cortabajos -10 dB a 20 Hz

Sensibilidad (± 3 dB a 1 kHz):

4060: 20 mV/Pa nominal; -34 dB re. 1V/Pa

4061/4063: 6 mV/Pa nominal; -44.5 dB re. 1V/Pa

4062/4067: 1 mV/Pa nominal; -60 dB re. 1V/Pa

4065/4066: 6 mV/Pa nominal; -44.5 dB re. 1V/Pa

Nivel ruido equivalente (ponderado A):

4060: Típico 23 dB(A) re. 20 μ Pa (máx. 26 dB(A))

4061/4063: Típico 26 dB(A) re. 20 μ Pa (máx. 28 dB(A))

4062: Típico 33 dB(A) re. 20 μ Pa (máx. 37 dB(A))

4065/4066: Típico 26 dB(A) re. 20 μ Pa (máx. 28 dB(A))

4067: Típico 31 dB(A) re. 20 μ Pa (máx. 35 dB(A))

Nivel ruido equivalente ITU-R BS.468-4:

4060: Típico 35 dB (máx. 38 dB)

4061: Típico 38 dB (máx. 40 dB)

4062: Típico 45 dB (máx. 49 dB)

4063: Típico 38 dB (máx. 40 dB)

4065/4066: Típico 38 dB (máx. 40 dB)

4067: Típico 42 dB (máx. 44 dB)

Niveles de presión sonora máximo:

4060: SPL pico 134 dB antes saturación

4061: SPL pico 144 dB antes saturación

4062: SPL pico 154 dB antes saturación

4063: SPL pico 138 dB antes saturación

4065/4066: SPL pico 144 dB producir saturación

4067: SPL pico 154 dB producir saturación

Distorsión armónica total (< 1% THD):

SPL pico 123 dB; SPL RMS seno 120 dB

Polaridad:

Presión sonora positiva produce voltaje positivo en pin MicroDot

Temperatura de servicio:
-10 a 45° C (+14 a 113° F)

Impedancia de salida:
30-40 Ohmios

Longitud de línea:
Hasta 300 m (984 ft)

Longitud micrófono:
12,7 mm (0.5 in)

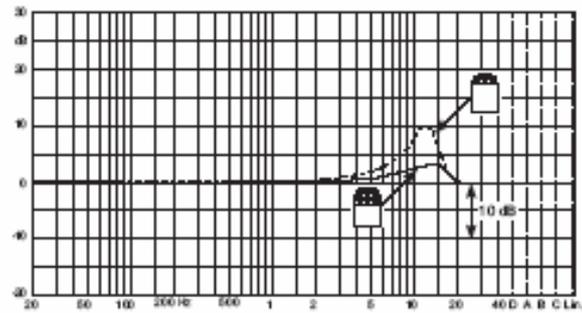
Diámetro micrófono:
5,4 mm (0.21 in)

Longitud cable:
1,8 m (5.9 ft)

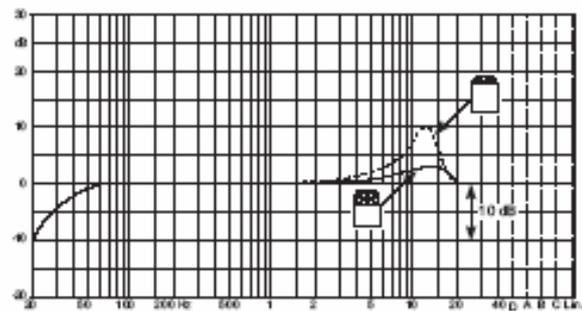
Diámetro cable:
1,6 mm (0.06 in)

Peso:
4060/4061/4062/4063: 7,5 g (0.26 oz) incl. cable y conector MicroDot
4065/4066/4067: 14 g (0.50 oz) incl. cable y conector MicroDot

Acabado:
4060/4061/4063: Negro, beige o blanco
4062/4065/4066/4067: Negro o beige



Respuesta en frecuencia axial de los micrófonos miniatura. Línea discontinua con rejilla de enfatización dura; línea continua con rejilla de enfatización suave.



Respuesta en frecuencia axial del 4067. Línea discontinua con rejilla de enfatización dura; línea continua con rejilla de enfatización suave.

APÊNDICE 2. Características Técnicas do Microfone Panasonic WN-61A

Panasonic

Microphone Cartridges

Omnidirectional Back Electret Condenser Microphone Cartridge

Series: **WM-61A**
WM-61B (pin type)



■ Features

- Small microphones for general use
- Back electret type designed for high resistance to vibrations, high signal-to-noise ratio
- High sensitivity type
- Microphone with pins for flexible PCB (WM-61B type)

■ Sensitivity

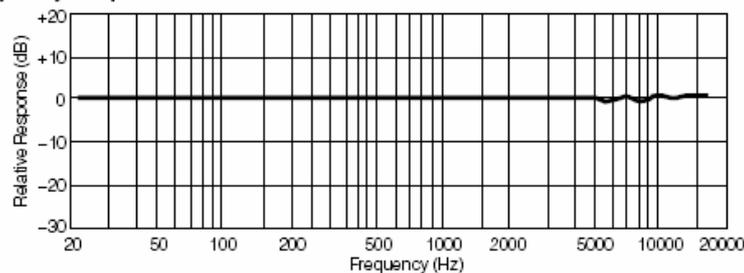
$V_s = 2.0V$
 $R_L = 2.2k\Omega$

$-35 \pm 4dB$

■ Specifications

Sensitivity	$-35 \pm 4dB$ (0db = 1V/pa, 1kHz)
Impedance	Less than 2.2 k Ω
Directivity	Omnidirectional
Frequency	20–20,000 Hz
Max. operation voltage	10V
Standard operation voltage	2V
Current consumption	Max. 0.5 mA
Sensitivity reduction	Within -3 dB at 1.5V
S/N ratio	More than 62 dB

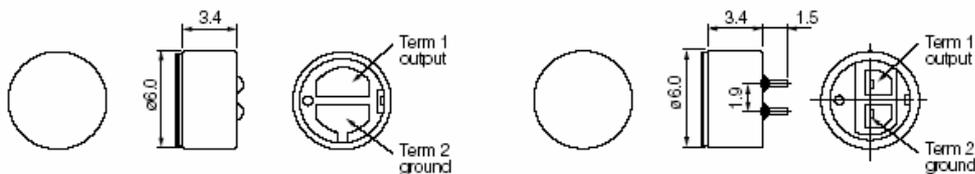
■ Typical Frequency Response Curve



■ Dimensions in mm (not to scale)

WM-61A

WM-61B



Design and specifications are subject to change without notice. Ask factory for technical specifications before purchase and/or use.
Whenever a doubt about safety arises from this product, please contact us immediately for technical consultation.

APÊNDICE 3. Termos de Consentimento Aprovados pelo Comitê de Ética da UFSC

TERMO DE CONSENTIMENTO

Eu, José Manuel Espinosa Robles, mestrando do curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, estou desenvolvendo a dissertação com o título “**ATENUAÇÃO DO RUÍDO DOS PROTETORES AUDITIVOS PELO USO DA TÉCNICA MIRE**”, sob orientação do professor Samir N. Y. Gerges.

Esta pesquisa tem como objetivo desenvolver uma metodologia para obter a atenuação do ruído dos protetores auditivos passivos do tipo concha, usando-se como referência a técnica do uso de microfones em miniatura no ouvido (MIRE) no laboratório.

Para tal fim, será necessário efetuar a avaliação da técnica MIRE em diferentes ouvintes de forma equivalente à técnica tradicional utilizada para a obtenção da atenuação do ruído dos protetores auditivos (método REAT), não apresentando-se riscos à saúde dos indivíduos envolvidos na pesquisa (ouvintes).

De acordo com o exposto, convido-o para participar desta pesquisa. Os dados coletados, assim como os resultados, serão utilizados apenas para fins de estudo, com o máximo de sigilo e ética (é importante dizer que o ouvinte não receberá nenhuma remuneração pela participação nesta pesquisa). Finalmente, você tem liberdade para tomar decisão de retirar o consentimento em qualquer fase desta pesquisa, em penalização e prejuízo.

Qualquer dúvida a respeito dos procedimentos, dos resultados e/ou planejamento da informação obtida, pode ser comunicada ao pesquisador ao Laboratório de Vibrações e Acústica, telefone 48-37219227, ramal 29.

Eu, declaro que concordo em participar da pesquisa e autorizo a publicação dos resultados, desde que exista sigilo dos nomes envolvidos.

Florianópolis,de.....de 200_

Pesquisador José Espinosa Robles

TERMO DE CONSENTIMENTO

Nome.....Data:.....

Eu....., autorizo o registro fotográfico, para ser utilizado na pesquisa **“ATENUAÇÃO DO RUÍDO DOS PROTETORES AUDITIVOS PELO USO DA TÉCNICA MIRE”**, realizada pelo pesquisador José Espinosa Robles e orientada pelo Professor Samir N. Y. Gerges. Estou ciente que não terei nenhum direito e não receberei honorário.