

**Universidade Federal de Santa Catarina**  
Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Produção

## **AVALIAÇÃO DE PROTETORES AUDITIVOS EM CAMPO**

**Laudinei Lauro Francisco**

Dissertação apresentada ao  
Programa de Pós-graduação em  
Engenharia de Produção da  
Universidade Federal de Santa Catarina  
como requisito parcial para obtenção  
do título de Mestre em  
Engenharia de Produção

Florianópolis  
2001

Laudinei Lauro Francisco

## AVALIAÇÃO DE PROTETORES AUDITIVOS EM CAMPO

Esta dissertação foi julgada e aprovada para a  
obtenção do título de **Mestre em Engenharia de  
Produção** no **Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Produção** da  
Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 05 de outubro de 2001.



---

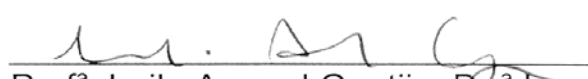
Prof. Ricardo Miranda Barcia, Ph.D.  
Coordenador do Curso

### BANCA EXAMINADORA



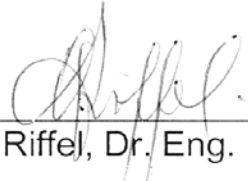
---

Prof. Samir N. Y. Gerges, Ph.D.  
**Orientador**



---

Prof.<sup>a</sup>. Leila Amaral Gontijo, Dr.<sup>a</sup> Ing.



---

Germano Riffel, Dr. Eng.

A minha esposa, Silvia  
pelo apoio constante.  
A meus filhos Augusto e Amanda.

## **Agradecimentos**

À Universidade Federal de Santa Catarina  
que pela sua administração  
sempre colaborou para a realização desta  
importante etapa profissional.

Ao orientador Prof. Samir N. Y. Gerges que, como  
verdadeiro mestre de vida e educador,  
guiou-me nos caminhos da ciência, possibilitando  
o desenvolvimento desta dissertação.

À Empresa Transmissora de Energia Elétrica do Sul do Brasil S.A. –  
ELETROSUL, à Diretoria e a todos os gerentes e colegas de trabalho que  
contribuíram para a realização  
desta pesquisa.

Aos meus pais que sempre incentivaram o estudo  
como meio, forma de crescimento profissional e  
satisfação pessoal.

Ao Senhor pela inteligência estendida ao ser humano,  
no desenvolvimento de conhecimentos  
a serviço da humanidade.

## Sumário

Lista de Figuras .....	p. vii
Lista de Tabelas .....	p. ix
Lista de Reduções .....	p. xii
Resumo .....	p. xiii
Abstract .....	p. xiv
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>p. 1</b>
1.2 Apresentação da Problemática .....	p. 3
1.3 Origem desta Dissertação .....	p. 5
1.4 Objetivo Geral .....	p. 6
1.5 Objetivos Específicos .....	p. 6
1.6 Delimitação do Estudo .....	p. 7
1.7 Descrição e Organização dos Capítulos .....	p. 8
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>p. 9</b>
2.1 Conclusão sobre A Revisão Bibliográfica .....	p. 26
<b>3 SISTEMA AUDITIVO HUMANO .....</b>	<b>p. 28</b>
3.1 Natureza Anatômica e Fisiológica da Audição .....	p. 28
3.1.1 Percepção Sonora .....	p. 33
3.1.2 Escalas para Avaliação de Ruído .....	p. 34
3.1.3 Sensibilidade do Ouvido Humano .....	p. 36
3.2 Perda Auditiva .....	p. 37
<b>4 PROTETORES AUDITIVOS E ATENUAÇÃO OFERECIDA .....</b>	<b>p. 40</b>
4.1 Tipos de Protetores Auditivos .....	p. 40
4.1.1 Protetor de Inserção Auto-Moldáveis .....	p. 41
4.1.2 Protetor de Inserção do Tipo Pré-Moldado .....	p. 41
4.1.3 Protetor do Tipo Capa de Canal .....	p. 42
4.1.4 Protetor de Inserção do Tipo Personalizado .....	p. 43

4.1.5 Tipos Especiais de Protetores Auditivos .....	p. 44
4.1.6 Protetor Auditivo Tipo Concha .....	p. 47
4.2 Índices de Atenuação de Ruído .....	p. 48
4.2.1 Níveis de Redução de Ruído - NRR .....	p. 48
4.2.2 Nível de Redução de Ruído Corrigido – NRRc .....	p. 49
4.2.3 Método Longo .....	p. 51
4.2.4 Método Microphon in Real Ear - MIRE .....	p. 52
4.3 Atenuação dos Protetores Auditivos Tipo Concha .....	p. 53
<b>5 AVALIAÇÃO DE PROTETORES AUDITIVOS EM CAMPO .....</b>	<b>p. 56</b>
5.1 Metodologia .....	p. 56
5.1.1 Instrumental Utilizado .....	p. 56
5.1.2 Normas Utilizadas .....	p. 57
5.1.3 Características dos Ambientes de Trabalho Avaliados .....	p. 57
5.2 Métodos .....	p. 59
5.2.1 Níveis de Redução de Ruído – NRR .....	p. 59
5.2.2 Níveis Redução de Ruído corrigido .....	p. 60
5.2.3 Aplicação do Método Longo .....	p. 61
5.2.4 Aplicação do Método “Microphon in Real Ear – MIRE .....	p. 63
5.3 Resultados .....	p. 66
<b>6 CONCLUSÃO RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>p. 67</b>
6.1 Conclusão .....	p. 67
6.2 Recomendações para Trabalhos Futuros .....	p. 72
<b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>p. 73</b>
ANEXO A .....	p. 76
ANEXO B .....	p. 78
ANEXO C .....	p. 83
ANEXO D.....	p. 86

## Lista de Figuras

Figura 2.1: Perda por inserção e redução de ruído .....	p. 10
Figura 2.2: Medição da redução sonora obtida em laboratório .....	p. 12
Figura 2.3: Comparação dos valores obtidos em laboratório e no local de trabalho para cinco tipos de Protetores Auditivos .....	p. 14
Figura 2.4: Número de acidentes pessoais em indústria durante dois anos em função da exposição em nível de ruído elevado e baixo .....	p.15
Figura 2.5: Média estimada da mudança permanente do limiar auditivo, causado por ruído em função do tempo em anos.....	p. 16
Figura 2.6: Inter-relação dos métodos usados em laboratório e no campo .....	p. 17
Figura 2.7: Atenuação em ouvido real de diversos protetores .....	p. 19
Figura 2.8: Índice de conforto (CI) e índice de aceitabilidade (AI) da pressão do Protetor Auditivo .....	p. 21
Figura 2.9: Atenuação de quatro Protetores Auditivos, por procedimentos de colocação e por frequência nas bandas de 1/3 de oitava .....	p. 22
Figura 2.10: Atenuação dos protetores antes, durante e depois dos testes dinâmicos .....	p. 23
Figura 2.11: Comparação entre NRR em campo e no Laboratório (ANSI-1974) .....	p. 25
Figura 3.1: Ouvido humano e a representação física do seu funcionamento .....	p. 28
Figura 3.2: Corte transversal da cóclea .....	p. 30
Figura 3.3: O órgão de Corti .....	p. 30
Figura 3.4: Células ciliadas .....	p. 31
Figura 3.5: Vias para a transmissão dos impulsos sonoros .....	p. 32

Figura 3.6: Propagação da onda sonora .....	p. 33
Figura 3.7: Escala de sensibilidade do ouvido humano .....	p. 34
Figura 3.8: Circuitos de compensação A, B, C e D .....	p. 35
Figura 3.9: Perda de audição por idade .....	p. 39
Figura 4.1: Protetores de Inserção Auto-Moldáveis .....	p. 41
Figura 4.2: Protetores de Inserção Pré-Moldados .....	p. 42
Figura 4.3: Protetor Capa de Canal .....	p. 43
Figura 4.4: Protetores Tipo Filtro Passa-Baixo .....	p. 44
Figura 4.5: Protetor Auditivo com audífono .....	p. 45
Figura 4.6: Protetor Auditivo ativo fabricado por “Noise Cancellation Technologies – NCT” dos EUA .....	p. 46
Figura 4.7: Níveis de pressão sonora na cabine de avião a jato sem protetor, com protetor típico e com protetor ativo protetores Tipo Conchas .....	p. 46
Figura 4.8: Protetores Auditivos Tipo Concha .....	p. 47
Figura 4.9: Comparação entre a atenuação ofertada por conchas de três volumes diferentes .....	p. 54
Figura 4.10: Atenuação promovida por um plug, um Protetor Tipo Concha e combinação de dois tipos de Protetores Auditivos .....	p. 54
Figura 5.1: Sound Level Meter Type 2233 .....	p. 56
Figura 5.2: Octave Filter Set Type 1654 .....	p. 56
Figura 5.3: Instalação dos Dosímetros .....	p. 64
Figura 5.4: Posição dos Microfones .....	p. 64
Figura 5.5: Dosímetros da Simpson .....	p. 64
Figura 5.6: Posição do Microfone .....	P. 64



## Lista de Tabelas

Tabela 4.1: Cálculo da atenuação de um Protetor Auditivo Tipo Concha pelo NRR .....	p. 49
Tabela 4.2: Cálculo da atenuação de um Protetor Auditivo Tipo Concha pelo “Método Longo” .....	p. 51
Tabela 5.1: Atenuação dos Protetores Auditivos e desvios-padrão .....	p. 60
Tabela 5.2: Atenuação dos Protetores Auditivos estimado pelo “Método Longo” .....	p. 62
Tabela 5.3: Dados dos níveis de atenuação Protetores Auditivos para diferentes métodos.....	p. 66
Tabela A1: Análises espectrais de ruído em banda de 1/1 de oitava em vários ambientes de trabalho da Usina Hidrelétrica "A" e valor médio .....	p. 76
Tabela A2: Análises espectrais de ruído em banda de 1/1 de oitava em vários ambientes de trabalho da Usina Hidrelétrica "B" e valor médio . . . . .	p. 76
Tabela A3: Análises espectrais de ruído em banda de 1/1 de oitava em vários ambientes de trabalho da Usina Hidrelétrica "C" e valor médio .....	p. 76
Tabela A4: Análises espectrais de ruído em banda de 1/1 de oitava em vários ambientes de trabalho da Usina Termelétrica "D" e valor médio .....	p. 77
Tabela A5: Análises espectrais de ruído em banda de 1/1 de oitava em vários ambientes de trabalho da Conversora de Frequência de 50/60 Hz "E" e valor médio .....	p. 77
Tabela B1: Estimativa da atenuação esperada pelo “Método Longo” do Protetor Auditivo, Marca REAL, Modelo “X”, NRR de 17 dB, na Usina Hidrelétrica “A” .....	p. 78
Tabela B2: Estimativa da atenuação esperada pelo “Método Longo” do Protetor Auditivo, Marca MSA, Modelo “Y”, NRR de 25 dB, na Usina Hidrelétrica "A".....	p. 78

- Tabela B3: Estimativa da atenuação esperada pelo “Método Longo” do Protetor Auditivo, Marca DURÁVEIS, Modelo “Z”, NRR de 25 dB, na Usina Hidrelétrica "A" ..... p. 78
- Tabela B4: Estimativa da atenuação esperada pelo “Método Longo” do Protetor Auditivo, Marca REAL, Modelo “X”, NRR de 17 dB, na Usina Hidrelétrica “B” .....p. 79
- Tabela B5: Estimativa da atenuação esperada pelo “Método Longo” do Protetor Auditivo, Marca MSA, Modelo “Y”, NRR de 25 dB, na Usina Hidrelétrica “B” ..... p. 79
- Tabela B6: Estimativa da atenuação esperada pelo “Método Longo” do Protetor Auditivo, Marca DURÁVEIS, Modelo “Z”, NRR de 25 dB, na Usina Hidrelétrica “B” .....p. 79
- Tabela B7: Estimativa da atenuação esperada pelo “Método Longo” do Protetor Auditivo, Marca REAL, Modelo “X”, NRR de 17 dB, na Usina Hidrelétrica “C” ..... p. 80
- Tabela B8: Estimativa da atenuação esperada pelo “Método Longo” do Protetor Auditivo, Marca MSA, Modelo “Y”, NRR de 25 dB, na Usina Hidrelétrica "C" ..... p. 80
- Tabela B9: Estimativa da atenuação esperada pelo “Método Longo” do Protetor Auditivo, Marca DURÁVEIS, Modelo “Z”, NRR de 25 dB, na Usina Hidrelétrica "C" ..... p. 80
- Tabela B10: Estimativa da atenuação esperada pelo “Método Longo” do Protetor Auditivo, Marca REAL, Modelo “X”, NRR de 17 dB, na Usina Termelétrica "D" ..... p. 81
- Tabela B11: Estimativa da atenuação esperada pelo “Método Longo” do Protetor Auditivo, Marca MSA, Modelo “Y”, NRR de 25 dB, na Usina Termelétrica "D" ..... p. 81
- Tabela B12: Estimativa da atenuação esperada pelo “Método Longo” do Protetor Auditivo, Marca DURÁVEIS, Modelo “Z”, NRR de 25 dB, na Usina Termelétrica "D" .....p. 81
- Tabela B13: Estimativa da atenuação esperada pelo “Método Longo” do Protetor Auditivo, Marca REAL, Modelo “X”, NRR de 17 dB, na Conversora de Frequência "E" ..... p. 82

Tabela B14: Estimativa da atenuação esperada pelo “Método Longo” do Protetor Auditivo, Marca MSA, Modelo “Y”, NRR de 25 dB, na Conversora de Frequência “E”.....	p. 82
Tabela B15: Estimativa da atenuação esperada pelo “Método Longo” do Protetor Auditivo, Marca DURÁVEIS, Modelo “Z”, NRR de 25 dB, na Conversora de Frequência “E”.....	p. 82
Tabela C1: Resultados das medições pelo “Método MIRE” na Usina Hidrelétrica “A” .....	p. 83
Tabela C2: Resultados das medições pelo “Método MIRE” na Usina Hidrelétrica “B” .....	p. 83
Tabela C3: Resultados das medições pelo “Método MIRE” na Usina Hidrelétrica “C” .....	p. 84
Tabela C4: Resultados das medições pelo “Método MIRE” na Usina Termelétrica “D” .....	p. 84
Tabela C5: Resultados das medições pelo “Método MIRE” na Conversora de Frequência “E” de 50/60 Hz .....	p. 85
Tabela D1: Valor médio das medições pelo "Método MIRE" para os três modelos de Protetores Auditivos Tipo Concha, com 10 amostras por protetor .....	p. 86

## Lista de Reduções

ANSI – American National Standards Institute

B&K – Brüel & Kjaer - fabricante de equipamentos de precisão

c – Velocidade do som

EPI – Equipamento de Proteção Individual

f – Frequência do som

IL – Insertion Loss – perda por inserção (PI)

ISO – International Organization for Standardization

Leq - Dose Equivalente de Ruído

MIRE - Microphone in Real Ear – Microfone em ouvido real

MTE – Ministério do Trabalho e Emprego

NIOSH – National Institute for Occupational Safety and Health

NPS – Nível de pressão sonora [dB]

NR – Normas Regulamentadoras

NR – Noise reduction – redução de ruído (RR)

NRR – Nível de Redução do Ruído

NRRc – Nível de Redução de Ruído corrigido

NRRsf – Noise reduction rating subject fit – Avaliação da redução do ruído,  
colocação pelo usuário

OSHA - Occupational Safety and Health Act

PAIR - Perda Auditiva Induzida pelo Ruído

PAs – Protetores Auditivos

PCA – Programa de Conservação Auditiva

PI – Perda por inserção (IL)

REAT – Real-ear Attenuation at Threshold – limiar de atenuação em ouvido  
Real

TST – Tribunal Superior do Trabalho

$\lambda$  - comprimento de onda acústica

## Resumo

FRANCISCO, Laudinei Lauro. **Avaliação de Protetores Auditivos em Campo**. 2001. 100f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis.

Há cerca de 2500 anos, a humanidade conhece os efeitos prejudiciais do ruído à saúde do organismo humano. No entanto, foi a partir da revolução industrial ocorrida na Inglaterra, no século XVIII, com o surgimento de máquinas e equipamentos e, posteriormente, com o crescente desenvolvimento tecnológico, principalmente após a Segunda Guerra Mundial, que o ruído passou a ser considerado como o agente mais nocivo em ambientes de trabalho, alertando pesquisadores e profissionais da importância de ações preventivas e desenvolvimento de novas tecnologias para conservação da audição. A Perda Auditiva Induzida pelo Ruído (PAIR) é uma diminuição gradual da capacidade auditiva que se manifesta após longo tempo de exposição a elevados níveis de ruído, sem proteção auditiva adequada ao risco. Para trabalhadores expostos a níveis de ruído acima de 90 dB(A), normalmente se manifesta após seis anos de exposição, ou mais cedo, dependendo da suscetibilidade individual. Apesar de a Legislação Trabalhista Brasileira ser considerada uma das mais rígidas em matéria de Saúde Ocupacional, o simples cumprimento dos aspectos legais não é uma condição necessária e suficiente para a conservação da audição. Existem questões técnicas que devem ser levadas em consideração, cuja não observância reflete na redução precoce da capacidade auditiva, devido à fragilidade do ouvido humano. Esta dissertação de mestrado centra-se em avaliar em situação real de campo, a atenuação de Protetores Auditivos Tipo Concha, envolvendo trabalhadores responsáveis pela operação e manutenção de usinas hidrelétricas e termelétricas de geração de energia e conversora de frequência de energia, em áreas operacionais com espectros de frequência de ruído muito diferente dos utilizados em laboratórios credenciados que medem a atenuação de Protetores Auditivos. O objetivo principal é mostrar que, quando não for possível reduzir os níveis de ruído na fonte ou no meio de transmissão, os Protetores Auditivos podem ser uma alternativa de proteção que oferecem uma boa atenuação, desde que corretamente selecionados e dentro de um Programa de Conservação Auditiva (PCA).

Palavras-chave: Protetores Auditivos, Atenuação, Conservação da Audição.

## Abstract

FRANCISCO, Laudinei Lauro. **Avaliação de Protetores Auditivos em Campo**. 2001. 100f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis.

Since some 2500 years ago, humanity has known the harmful effects that noise has on the health of the human organism. However, it was from the industrial revolution onwards in England in the 18<sup>th</sup> century, due to the appearance of machines and equipments and, later, due to growing technological development, basically after World War II, that noise was considered to be the most noxious agent in the work environment, alerting researchers and professionals of the importance of preventive measures and of the development of new technologies in order to conserve audition. “Auditory Loss Induced by Noise” (PAIR) is a gradual diminution of the hearing capacity, which manifests itself a long time after exposition to elevated level of noise, without adequate protection to prevent hearing risks. For workers exposed to noise levels over 90 dB(A), loss of hearing manifest itself, normally, six years after exposition, or earlier, depending on the individual susceptibility. In spite of the Brazilian Labor Legislation being considered to be one of the most rigid legislations with regard to Occupational Health, the simple execution of the legal aspects is not a necessary and sufficient condition for the conservation of hearing. There are technical questions, which have to be taken into consideration, and whose non-obedience provokes the precocious reduction of the hearing ability, due to the fragility of the human ear. This M.A. thesis is centred on the evaluation of the field situation, the attenuation of hearing protectors, which reduce noise, involving workers responsible for the operation and maintenance of Hydro Power Plants, Thermal Power Plants and Frequency Converters, in working environments with noise spectra which are very different from those that apply to official laboratories which measure the attenuation of hearing protectors. The main objective of the study is to show that, when it is impossible to reduce the level of noise in its source or in transmission, noise reducers can be a good option to protect the hearing, offering, if and when well selected, a good attenuation, understood to be a part of an efficient Auditive Conservation Program (PCA).

Keywords: Hearing Protectors, Attenuation, Conservation of the Hearing.

## 1 INTRODUÇÃO

Os profissionais atuantes na área de Segurança, Saúde e Higiene do Trabalho, que acompanham por revistas, seminários e congressos os acontecimentos no setor, percebem que existe ainda uma grande polêmica sobre a avaliação dos Protetores Auditivos (PAs) quanto à atenuação do ruído.

Os fabricantes de PAs defendem seus produtos, uma vez que foram testados em laboratórios credenciados e seguindo normas internacionais de ensaios, cuja atenuação está definida por meio de um número único, mencionado na literatura como Nível de Redução de Ruído (NRR).

Por outro lado, os usuários normalmente não são pessoas treinadas, têm anatomias faciais diferenciadas, alguns usam óculos, capacetes, máscaras contra poeiras minerais ou vapores orgânicos, cuja eficiência em campo são diferentes das obtidas nas avaliações de laboratórios.

Na realidade, apesar da real capacidade de atenuação dos PAs, amplamente discutida na literatura científica, não se pode prever com certeza se trabalhadores expostos a elevados níveis de ruído estão corretamente protegidos, sem um estudo técnico de avaliação e acompanhamento em campo.

A afirmação acima foi constatada em um levantamento que teve como objetivo analisar a atenuação de Protetores Auditivos Tipo Concha em uma empresa petroquímica, envolvendo doze empregados expostos a níveis de ruídos de 90 a 93 dB(A), e em doze empregados de uma forjaria, expostos até 112 dB(A). Foi concluído que há ocorrência de perdas auditivas nos

trabalhadores de ambas as empresas, sendo que as informações dos fabricantes de PAs devem ser recebidas com cautela, pois um mesmo Protetor Auditivo nem sempre é adequado a vários níveis de ruído.

No Brasil, existe pouca pesquisa a respeito da atenuação real dos Protetores Auditivos Tipo Concha, merecendo estudos e levantamentos de dados que forneçam informações mais confiáveis para os profissionais da área, na conservação da audição.

Os levantamentos de campo que deram origem a esta dissertação envolveram 70 medições em cinco áreas operacionais diferentes, cuja conclusão poderá servir como base para elaboração e implantação de PCA dentro de qualquer organização, bem como referência bibliográfica e fonte de pesquisa para trabalhos futuros na Área de Segurança, Saúde e Higiene do Trabalho.



## 1.2 Apresentação da Problemática

No Brasil, a obrigatoriedade da utilização de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), começou com a publicação da Portaria N° 21, de 8 de maio de 1970, art° 4 e 5, do Departamento Nacional de Segurança e Higiene do Trabalho (DNSHT).

A Portaria n° 3.214, de 8 de junho de 1978 [1], que aprova as Normas Regulamentadoras (NR), do Capítulo V do Título II, da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), relativo à Segurança e Medicina do Trabalho, na NR 6, Equipamentos de Proteção Individual, estabelece no item 6.2:

“A empresa é obrigada a fornecer aos empregados, gratuitamente, EPI adequado ao risco e em perfeito estado de conservação e funcionamento ...”

A NR 15 [1], Atividades e Operações Insalubres, subitem 15.4.1 estabelece que: a eliminação ou neutralização da insalubridade deverá ocorrer:

- a) Com a adoção de medidas de ordem geral que conserve o ambiente de trabalho dentro dos limites de tolerância.
- b) Com a utilização de equipamentos de proteção individual.

O Enunciado do TST n° 289 [2], sobre o Adicional de Insalubridade, *versus* fornecimento do aparelho de proteção, estabelece que:

*“O simples fornecimento do aparelho de proteção pelo empregador não o exime do pagamento do adicional de insalubridade, cabendo-lhe tomar as medidas que conduzam à diminuição ou eliminação da nocividade, dentre as quais as relativas ao uso efetivo do equipamento pelo empregado”.*

O Decreto Nº 3.048 [3], do Regulamento da Previdência Social, em seu Art. 64, estabelece que: “A aposentadoria especial, uma vez cumprida a carência, será devida ao segurado que tenha trabalhado durante quinze, vinte ou vinte e cinco anos, conforme o caso, sujeito a condições especiais que prejudiquem a saúde ou a integridade física”. Estabelece em seu ANEXO IV, código 2.0.1, aposentadoria especial aos 25 anos aos trabalhadores com exposição permanente a níveis de ruído acima de 90 decibéis.

A Instrução Normativa nº 49 [4], Instituto Nacional de Seguro Social, cita o NRR como índice que deverá ser utilizado na avaliação de Protetores Auditivos, estabelecendo que, quando a utilização dos equipamentos de proteção individual possibilitar a neutralização ou redução do agente nocivo aos limites de tolerância, a referida exposição não será objeto para fins de aposentadoria especial.

Como os PAs não são usados com a frequência necessária nem com a boa vontade requerida, e como as condições de uso em campo são diferentes daquelas testadas em laboratório, eles não proporcionam ao usuário a mesma atenuação que os fabricantes informam, porém, apenas uma fração. Neste sentido, qual o critério a ser adotado para atender os requisitos técnicos, legais e conservar a capacidade auditiva dos trabalhadores expostos a elevados níveis de ruído?

### 1.3 Origem desta Dissertação

Esta dissertação teve como origem a necessidade de avaliar em situação real de campo, a atenuação de Protetores Auditivos Tipo Concha, visando adequá-los ao risco, melhorar a proteção dos trabalhadores expostos e cumprir dispositivos legais, dentre os quais a NR 9, subitem 9.3.5.5, alínea “a”, da Portaria 3.214, de 8 de junho de 1978, que estabelece:

*“Seleção do EPI adequado tecnicamente ao risco a que o trabalhador está exposto e a atividade exercida, considerando-se a eficiência necessária para o controle da exposição ao risco e o conforto oferecido segundo avaliação do trabalhador usuário”.*

## **1.4 Objetivo Geral**

Comparar a atenuação oferecida por três Protetores Auditivos Tipo Concha, pelo NRR, NRR corrigido (NRRc), Método Longo e Microphone in Real Ear (MIRE), e mostrar tecnicamente que, embora a atenuação real dos Protetores Tipo Concha sejam menores que o NRR fornecidos pelos fabricantes, oferecem uma boa atenuação e proteção ao usuário, desde que corretamente selecionados e utilizados por empregados treinados e conscientizados.

## **1.5 Objetivos Específicos**

- a) Discorrer sobre os níveis de atenuação de Protetores Auditivos Tipo Concha.
- b) Mostrar que Protetores Auditivos Tipo Concha, quando corretamente selecionados, fornecem boa atenuação, por intermédio de avaliação real de campo.
- c) Como fazer uma pré-seleção de Protetores Tipo Concha e cuidados que devem ser tomados na sua utilização.
- d) Propor recomendações para orientar trabalhos na área de PCA.
- e) Fornecer subsídios para futuros trabalhos na área de PCA.

## 1.6 Delimitação do Estudo

Embora sejam abordadas no transcorrer desta dissertação várias formas de proteção auditiva: protetor de inserção auto-moldáveis, protetor de inserção do tipo pré-moldado, protetor do tipo capa de canal, protetor de inserção do tipo personalizado e tipos especiais de protetores auditivos, os estudos estão voltados somente para os Protetores Tipo **Concha Convencional**, devido a sua facilidade de uso, boa atenuação, de grande aceitação pelos trabalhadores e de fácil avaliação em campo com o uso de dosímetros.

## 1.7 Descrição e Organização dos Capítulos

**Capítulo 1** - Apresenta a introdução, a apresentação da problemática, a origem desta dissertação, o objetivo geral, os objetivos específicos, a delimitação do estudo e a descrição e organização dos capítulos.

**Capítulo 2** - Trata da revisão bibliográfica, citando vários trabalhos e pesquisas realizadas em nível internacional, desde o surgimento do NRR na década de 70 até os dias atuais.

**Capítulo 3** - Apresenta o sistema auditivo humano, envolvendo a natureza anatômica e fisiológica da audição, a percepção sonora, as escalas de avaliação de ruído, a sensibilidade do ouvido e a perda auditiva.

**Capítulo 4** - Este capítulo faz uma breve descrição dos tipos de Protetores Auditivos e atenuação oferecida.

**Capítulo 5** - Trata da Avaliação de Protetores Auditivos em Campo, abordando a metodologia utilizada, o instrumental, as normas, as características dos ambientes de trabalho, os métodos utilizados e os resultados dos levantamentos técnicos que deram origem a esta dissertação.

**Capítulo 6** - Conclusão e recomendações para trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O ruído dentre todos os fatores ou agentes que se constituem em risco ocupacional aparece como o mais freqüente nos ambientes de trabalho, provocando o acometimento de perda auditiva em milhares de trabalhadores das mais variadas atividades produtivas, com maior incidência no setor metalúrgico, mecânico, têxtil, geração de energia, petroquímico, transportes, gráfico e produção de alimentos, com intensidade crescente nos ambientes urbanos e sociais.

Costa & Kitamura [5], ruído ou barulho é todo som inútil e indesejável, englobando neste conceito “um aspecto subjetivo de indesejabilidade, por ser o som assim definido desagradável ou por ser ele prejudicial aos diversos aspectos da atividade humana ou mesmo à saúde”.

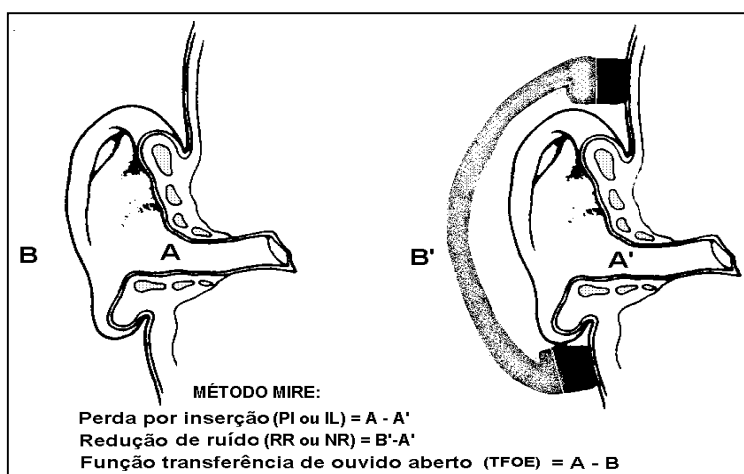
A proteção auditiva individual, hoje bastante utilizada nas indústrias, iniciou durante a Segunda Guerra Mundial, em resposta a enormes perdas auditivas causadas por operações militares. Programas de Conservação Auditiva (PCA) e uso de protetores na indústria e nas forças armadas iniciaram na década de 50, proliferaram na década de 70 e se difundiram na década de 80, sendo estimulado o seu uso em ambientes ocupacionais nos Estados Unidos por meio de regulamentação federal (OSHA, 1983) [6].

A atenuação dos Protetores Auditivos, informada pelo Nível de Redução de Ruído (NRR), representado por um único número que os fabricantes colocam nas embalagens de seus produtos, somente apareceu nos anos 70, desenvolvido pela NIOSH e publicado em 1975.

Na década de 80, com a publicação da ANSI S 12.6 -1984, com base em pesquisas em proteção auditiva, em face das exigências do mercado, esta norma passou por diversas revisões, chegando à versão mais atualizada: a ANSI S12.6 - 1997.

Casali, Mauney e Burks [7], *apud* Riffel [34], mediram a atenuação de Protetores Auditivos Tipo Concha por meio de procedimentos físicos, usando o método MIRE, que inclui a perda por inserção (PI ou IL) e redução de ruído (RR ou NR) (figura 2.1). Por meio de procedimentos psicofísicos, usando o método do limiar da Atenuação em Tempo Real (REAT), mediram em banda de 1/3 de oitava. Os resultados mostraram que para os procedimentos psicofísicos a diferença do ruído gerado influi na atenuação das frequências medianas. Na medição das perdas por inserção (PI) utiliza-se apenas um microfone posicionado na orelha, obtendo-se duas medições em pontos diferentes no tempo: um com o protetor e outro sem ele. Já na medição da redução sonora pelo RR são usados dois microfones para medir simultaneamente: um localizado dentro da concha e outro fora.

Figura 2.1: Perda por inserção e redução de ruído [7].



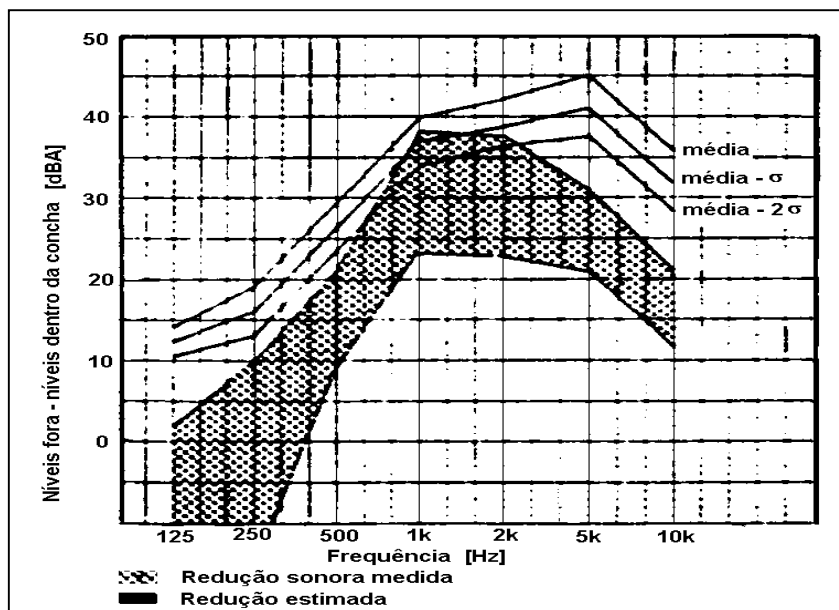


Casali e Lam [8], *apud* Riffel [34], estudaram os efeitos do uso das instruções fornecidas ao usuário na medição da atenuação dos Protetores Tipo Concha e “plug” de semi-inserção, concluindo que para estes tipos de protetores as instruções não representam diferença significativa na sua atenuação.

Goff e Blank [9], *apud* Riffel [34], realizaram avaliação de cinco diferentes tipos de Protetores Tipo Concha em campo, construídos de plástico com almofadas de espuma, com arco posicionado atrás da cabeça. As medições ocorreram numa mina abrangendo o complexo extrativo de carvão mineral, desde os trabalhos no subsolo até os trabalhos fora da mina, medindo **Leq** dentro e fora do protetor e calculando a redução sonora (RR) medida. Calcularam, também, o fator de proteção R (igual NRR) especificado pela NIOSH, que é um fator de proteção estimado, expresso por um número (R), chegando à conclusão de que os protetores ensaiados em laboratório apresentaram boa proteção, porém, nas condições de campo, os valores obtidos foram menores e os Protetores Tipo Concha apresentaram significativa redução nas altas frequências, com alguma ampliação dos níveis de ruído nas baixas frequências.

Na figura 2.2 [9] encontram-se traçadas curvas por frequência das medições sonora dentro e fora da concha, atenuação obtida em laboratório segundo a Norma ANSI Z24.22-1957 e S3.19-1974, mostrando a média e com 1 e 2 desvios-padrão.

Figura 2.2: Medição da redução sonora obtida em laboratório [9].



Casali e Park [10], *apud* Riffel [34], estudaram a atenuação em campo versus a atenuação em laboratório de diversos Protetores Auditivos. Submeteram aos testes, em laboratório, ouvintes treinados e não treinados, protetores de espuma moldado e pré-moldado, tipo concha com almofada de espuma e usando o tipo concha com o tipo “plug”. Realizaram os testes em laboratório e na indústria durante seis semanas com trabalhadores que usavam regularmente Protetores Auditivos, sendo os ouvintes voluntários do sexo masculino com idade entre 20 e 59 anos, expostos aos níveis de ruído variando de 86,5 a 106,4 dB(A).

Os ouvintes foram selecionados com base em exames audiométricos, apresentando perdas auditivas de até 40 dB, quando testados com tom puro nas frequências de 125 a 8000 Hz, com diferença de no máximo 20 dB entre a orelha direita e a esquerda.

Após seis semanas, os ouvintes foram submetidos a teste de atenuação em laboratório, com o mesmo protetor usado durante o período em campo.

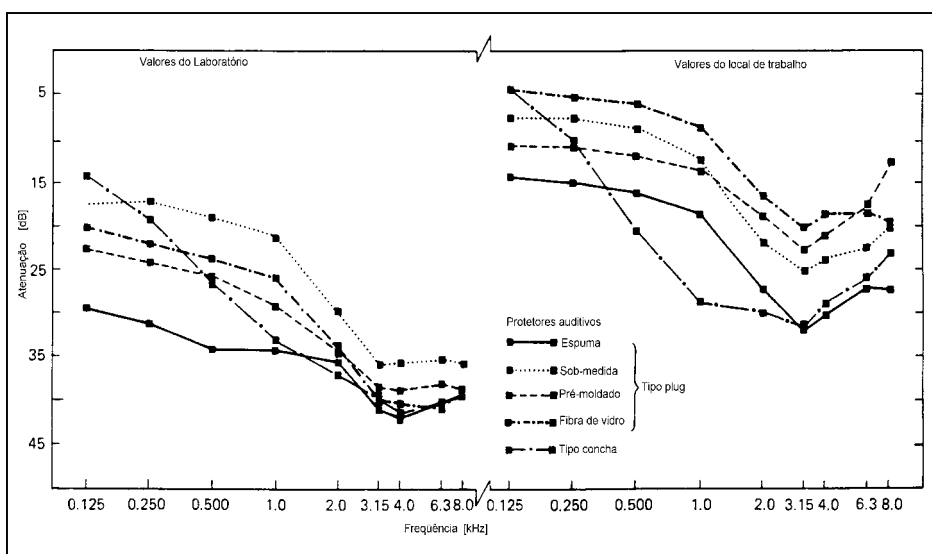
Uma das conclusões dos testes realizados é de que as normas ANSI S3.19/74 e S12.6/1984, para medir a atenuação dos Protetores Auditivos (PAs), devem ser revistas com base na influência dos níveis de proteção e no número único NRR. Estas normas apresentam normalmente valores sobreestimados da proteção real quando usados em campo.

Park e Casali [11] enfatizaram que é difícil formular um protocolo que possa simular em laboratório atenuação dos PAs no mundo real. Constataram a dificuldade de precisar um valor de correção que seja apropriado a todos os protetores.

Lempert [12], *apud* Riffel [34], apresentou um *compendium* dos dispositivos de proteção auditiva, incluindo dados de fornecedores, modelos, tipos, peso, força de arco, com valores médios de atenuação e desvio padrão dos testes nas frequências de 125 a 8000 Hz. Apresentou, também, métodos para calcular os fatores da redução sonora para a proteção auditiva e a discussão dos fatores a serem considerados na seleção para uso destes dispositivos.

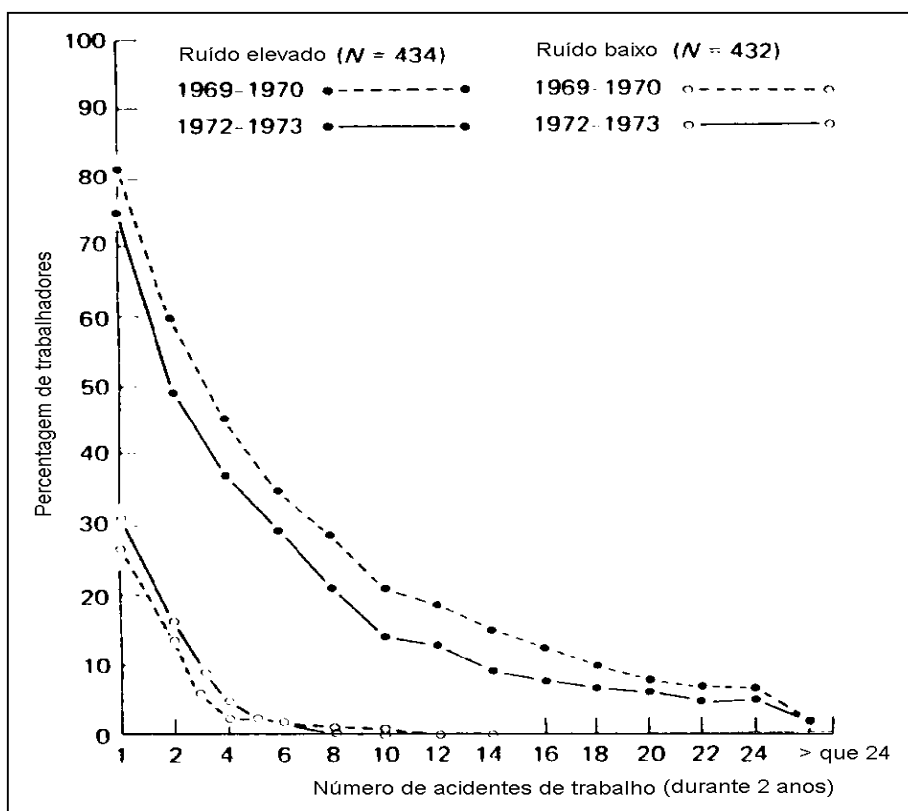
Berger e Nixon [13], *apud* Riffel [34], estudaram os dispositivos de proteção auditiva, os fatores que afetam o seu desempenho, o efeito oclusão, o cálculo da redução do ruído devido ao uso de PAs, suas características de desempenho, tipos especiais de protetores como tipo passivo, bem como os procedimentos para estimar a atenuação dos PAs. Estudos foram realizados no local de trabalho com diversos tipos de protetores, mostrados na figura 2.3 [13].

Figura 2.3: Comparação dos valores obtidos em laboratório e no local de trabalho para cinco tipos de Protetores Auditivos [13].



Jones e Broadbent [14], *apud* Riffel [34], durante dois anos estudaram a relação da exposição de pessoas a níveis altos e baixos de ruído com os acidentes na indústria, demonstrando que sob níveis elevados de ruído o percentual de pessoas que sofrem acidentes de trabalho é superior ao percentual de trabalhadores que se acidentam quando expostos em níveis baixos de ruído, figura 2.4 [14].

Figura 2.4: Número de acidentes pessoais em indústria durante dois anos em função da exposição em níveis elevado e baixo de ruído [14].



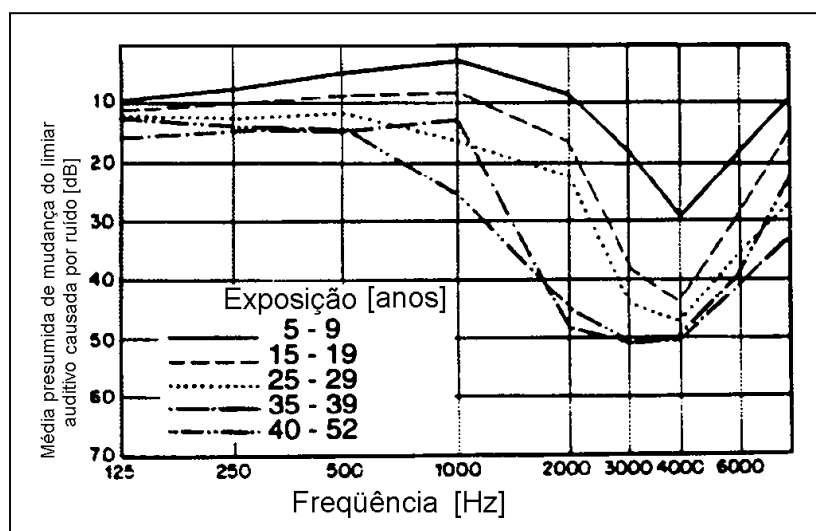
Costa [15] publicou artigo sobre o ruído e suas interferências na saúde e no trabalho, abordando o ruído e cérebro, aparelho circulatório, aparelho digestivo, sistema endócrino, sistema imunológico, ruído e mulheres grávidas e seus filhos, ruído e sono, seus efeitos na atividade muscular, entre outros, mostrando, de forma clara, a nocividade do ruído na saúde humana e a importância de medidas preventivas no ambiente de trabalho.

Berger [16] apresentou uma série de monogramas técnicos intitulados de E-A-Rlog, abordando discussões sobre a audição e a proteção auditiva, versando o de número 2 a utilização de um único número denominado NRR para representar a atenuação sonora em Protetores Auditivos, obtido por diversos cálculos na banda de frequência entre 125 e 8000 Hz.

Nas versões E-A-Rlog 8, 9 e 10, sobre perguntas e queixas referentes à audição e PAs e na versão E-A-Rlog 17, foi abordada a infecção auditiva e o uso do protetor auditivo, deixando claro a necessidade de uma avaliação fisiológica do sistema auditivo de todos aqueles que se expõem constantemente a ruído e usam protetores auditivos no seu local de trabalho.

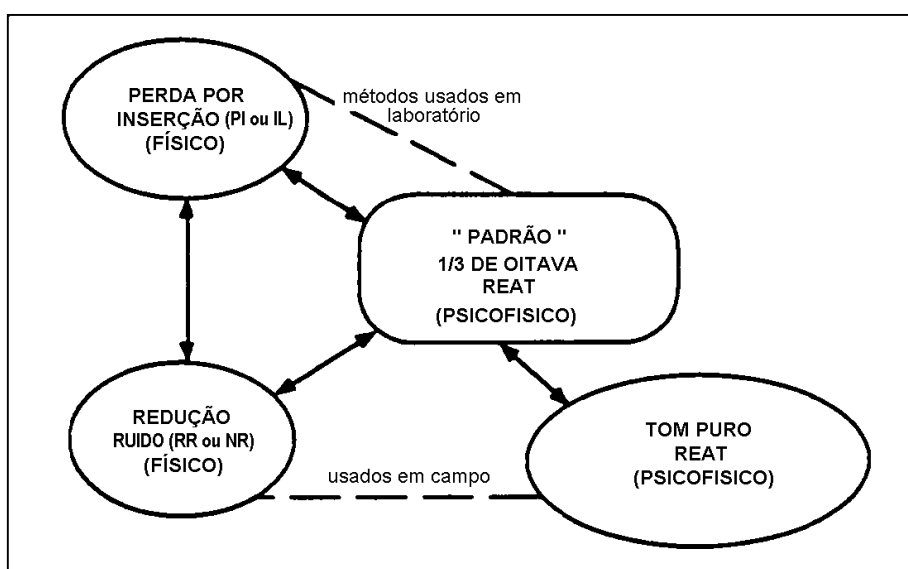
Casali [17], *apud* Riffel [34], comenta que o número único (NRR) fornece uma superestimação da atenuação dos PAs, podendo variar de 25% a 75%, sendo a percentagem maior para os “tipo plug” e o percentual menor para os do tipo concha. Apresentou um estudo sobre as perdas auditivas em função do tempo de exposição (em anos) ao ruído, pois, além da presbiacusia, as pessoas apresentam perdas auditivas mais acentuadas nas freqüências mais elevadas quando expostas, por longo tempo, ao ruído, conforme figura 2.5. Casali também descreveu como são realizados determinados testes e os procedimentos usados para medir a perda por inserção (PI), que usa o método MIRE, que consta na instalação de minimicrofone na orelha de ouvintes.

Figura 2.5: Média estimada da mudança permanente do limiar auditivo, causado por ruído em função do tempo em anos [17].



Os métodos de testes para a atenuação de Protetores Auditivos são classificados em psicofísicos e físicos, quando usados em laboratório e em campo, ou também denominados por alguns pesquisadores como subjetivo e objetivo. A figura 2.6 mostra estes métodos e suas inter-relações.

Figura 2.6: Inter-relação dos métodos usados em laboratório e no campo [17].



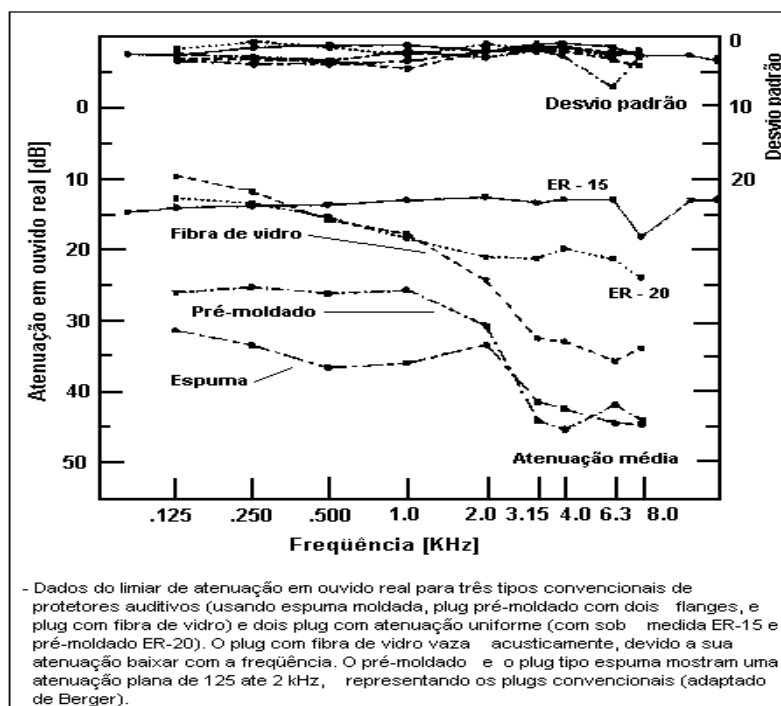
Berger [15] apresentou sugestões sobre a adaptação dos PAs, citando que, em anos de experiência em conservação auditiva, os protetores são freqüentemente mal usados, e, em geral, seu desempenho no mundo real fica abaixo da proteção que os PAs proporcionariam, quando bem colocados e mantidos pelos usuários. Sugeriu que os usuários devem receber sessões de treinamento, em grupo ou individual, nas quais sejam oferecidas orientações claras e cuidadosas, a respeito de colocação e uso dos PAs. Berger [18] também estudou técnicas de motivação, a fim de estimular os trabalhadores a usarem os dispositivos de proteção auditiva, fazendo parte dos Programas de Conservação Auditiva.

Casali e Berger [19], *apud* Riffel [34], escreveram sobre os avanços tecnológicos em Protetores Auditivos até 1995, dentre eles os dispositivos com redução ativa de ruído (ANR), frequência-sensibilidade-amplitude e atenuação uniforme. Apresentaram o resultado dos estudos sobre esses novos tipos de PAs, mostrando as suas vantagens e desvantagens como no caso dos protetores auditivos com atenuação uniforme.

A figura 2.7 [19] apresenta as curvas de alguns tipos de protetores tipo “plug” convencional de espuma, fibra de vidro e “plug” pré-moldado, que aumentam a atenuação com o aumento da frequência, assim como dois modelos de Protetores Auditivos do tipo com atenuação uniforme. Quando se usam PAs, o que se ouve fica distorcido no espectro sonoro, necessitando de uma adaptação à nova situação. Não ocorre somente redução no nível, mas também aparecem no sentido espectral do som. Por exemplo, operadores de máquina de ferramenta comentam que o ruído da ferramenta de corte está distorcido. Pilotos de aeronave e operadores de abastecimento dizem que os sinais importantes não podem ser discernidos. Músicos falam em problemas na percepção dos sons de pico, quando usam protetores auditivos convencionais.



Figura 2.7: Atenuação em ouvido real de diversos protetores [19].



Para resolver essas distorções, a atenuação imposta pelos PAs deve ser do tipo plana ou uniforme e ser quase linear, especialmente nas frequências de 100 a 8000 Hz, cujos efeitos foram observados tardiamente, somente na década de 80.

Na década de 90, dando continuidade ao ajuste destes dispositivos, foram incluídos modelos que ofereceram atenuação em níveis diferentes como os modelos da figura 2.7 [19].

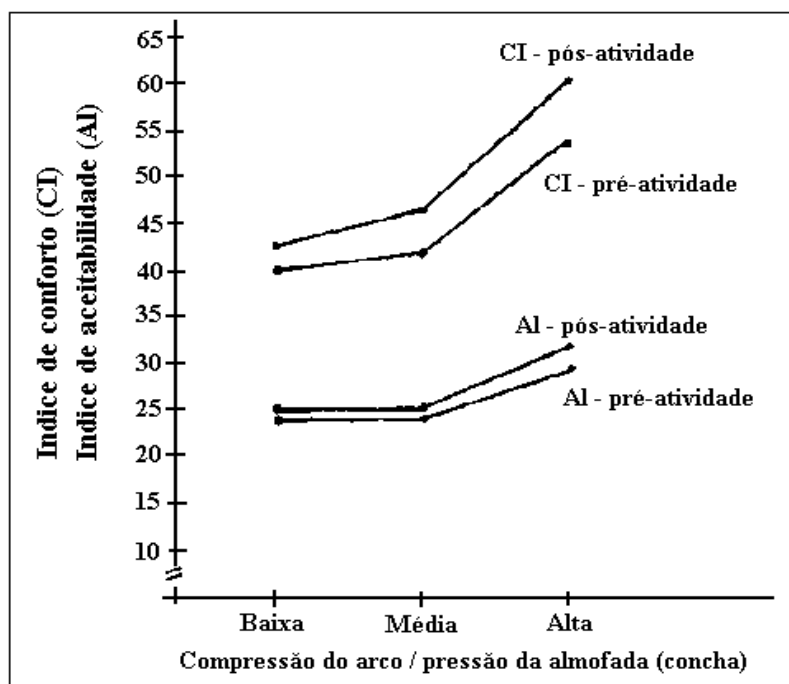
Bauman e Marston [20], *apud* Riffel [34], desenvolveram uma pesquisa no sentido de estudar os efeitos da proteção auditiva na inteligibilidade da fala quando exposto ao ruído. Observaram que os Protetores Auditivos alteravam a audição da comunicação verbal nas altas frequências dos ruídos em banda larga, especialmente, naquelas pessoas que já apresentavam perdas auditivas.

Royster [21], *apud* Riffel [34], realizou um trabalho sobre as recomendações para as embalagens de PAs, com a finalidade de normalizar as informações que acompanham o produto.

Segundo Casali & Grenell [22], *apud* Riffel [34], o conforto dos Protetores Auditivos consiste num aspecto crítico para o seu uso de maneira adequada no local de trabalho. Pesquisaram a força do arco, as almofadas e os efeitos do tempo de uso para os Protetores do Tipo Concha. Foram submetidos a testes 24 participantes voluntários (doze homens e doze mulheres) não usuários de Protetores Tipo Concha, com boas condições de saúde, incluindo a auditiva, requeridas pela norma ANSI S12.6/84. Usaram um questionário de conforto com valores em escala com doze níveis bipolares e para a forma de aceitabilidade, uma escala bipolar com valores numéricos variando de 1 a 7.

Os testes foram realizados sob as condições de laboratório, onde cada usuário permaneceu durante um tempo sem o protetor, e, após o período de silêncio, colocou-o, permanecendo mais um tempo para depois tirá-lo e imediatamente preencher o questionário. Com relação à força do arco pressionado sobre as conchas, especificou-se na pergunta se a pressão era baixa, média ou alta. Foi convencionado que, para o índice de conforto (CI) 11 representa o mais confortável e 77, o menos confortável. Para o índice de aceitabilidade (AI), 8 representa o mais aceitável e 56, como menos aceitável, cujos dados compilados estão na figura 2.8 [22].

Figura 2.8: Índice de conforto (CI) e índice de aceitabilidade (AI) da pressão do Protetor Auditivo [22].

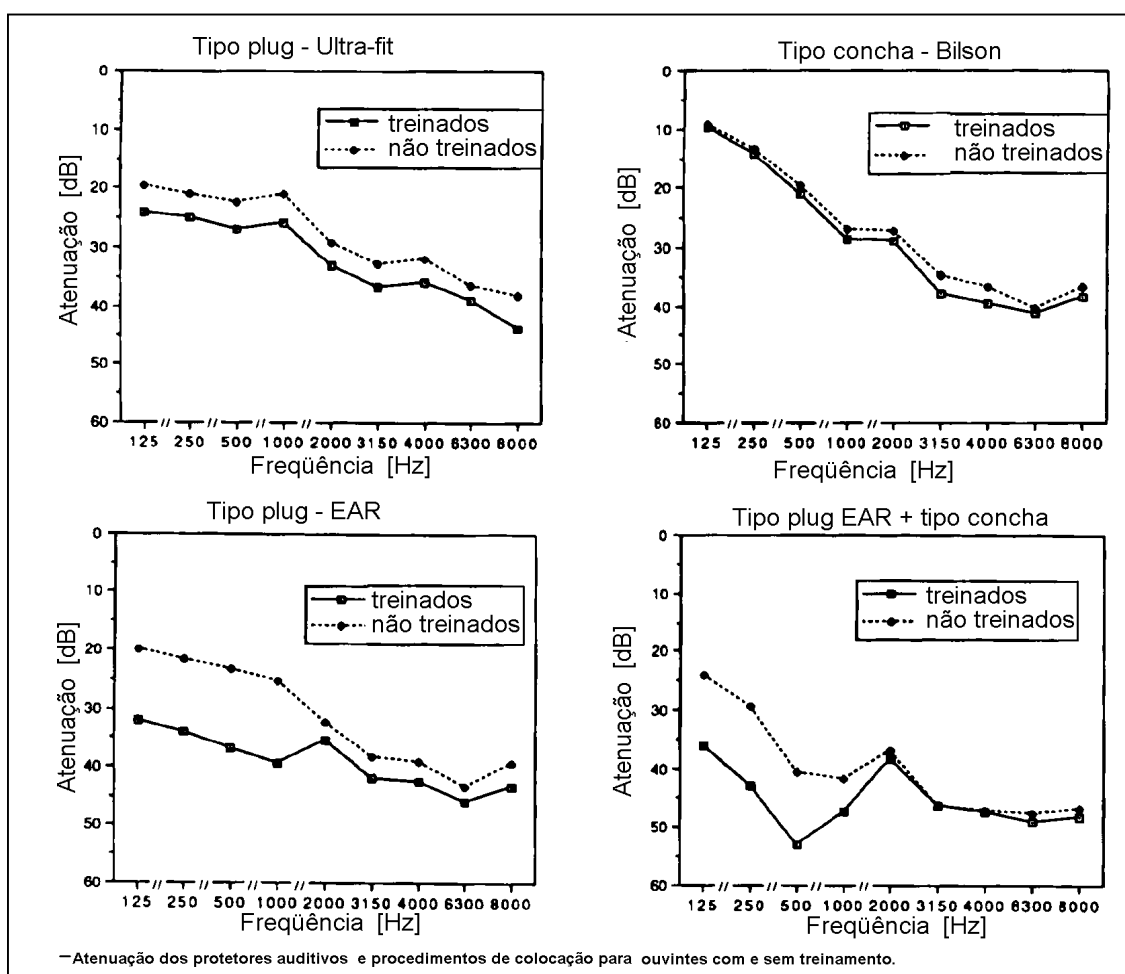


Casali & Park [23,24], *apud* Riffel [34], estudaram os efeitos das condições de trabalho simuladas no ambiente do laboratório e a atenuação no ajuste dos protetores tipo espuma com baixo restabelecimento. Nos testes sempre houve a preocupação em envolver 50% de homens e 50% de mulheres, normalmente com pessoas que nunca usaram protetores e com boas condições de saúde, incluindo a auditiva.

Os pesquisadores estudaram a influência dos movimentos dinâmicos no desempenho de atenuação dos Protetores Auditivos (PAs), sob diversas condições de colocação. Os estudos foram realizados em laboratório, sendo instalado dentro da câmara um equipamento terapêutico Baltimore para simular os movimentos dinâmicos de seis diferentes atividades, como a de rotacionar o registro em uma canalização.

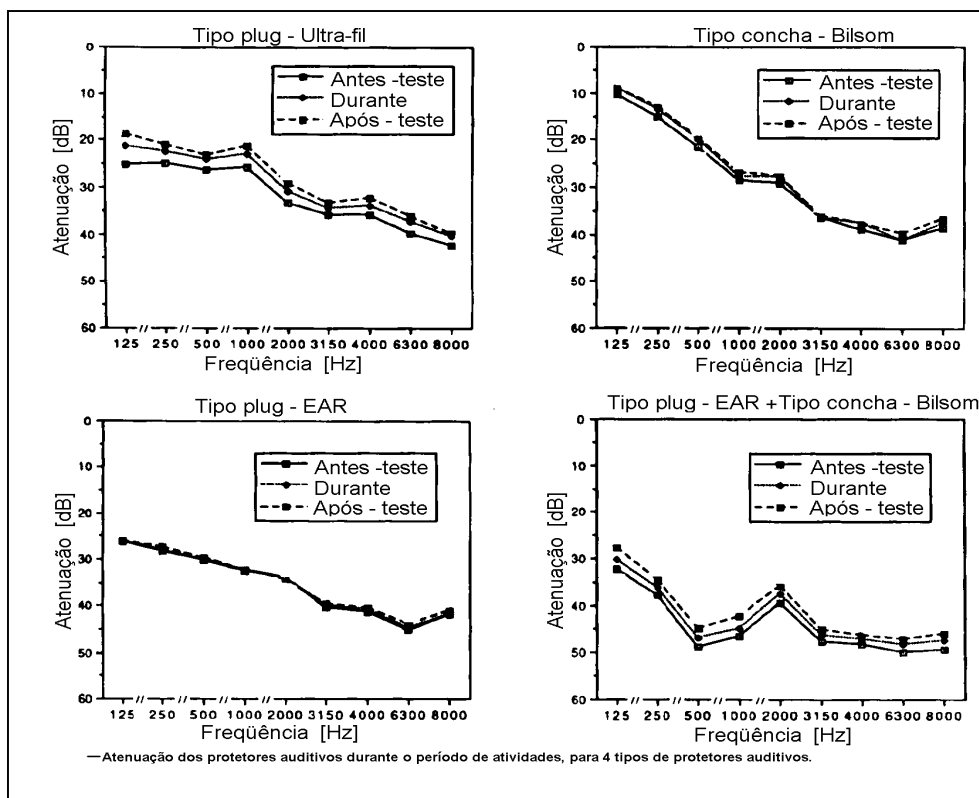
O usuário em teste foi monitorado por meio de uma câmara de vídeo. A figura 2.9 [24] mostra a atenuação de três tipos diferentes de PAs e mais um com a montagem de dois protetores simultaneamente para ouvintes treinados e não treinados.

Figura 2.9: Atenuação de quatro Protetores Auditivos, por procedimentos de colocação e por frequência nas bandas de 1/3 de oitava [24].



A figura 2.10 [24] apresenta as curvas da atenuação para os mesmos tipos de PAs, sob as condições anteriores, no decorrer dos testes dinâmicos e posteriores a eles, nas frequências de 125 a 8000 Hz e banda de 1/3 de oitava.

Figura 2.10: Atenuação dos protetores antes, durante e depois dos testes dinâmicos [24]



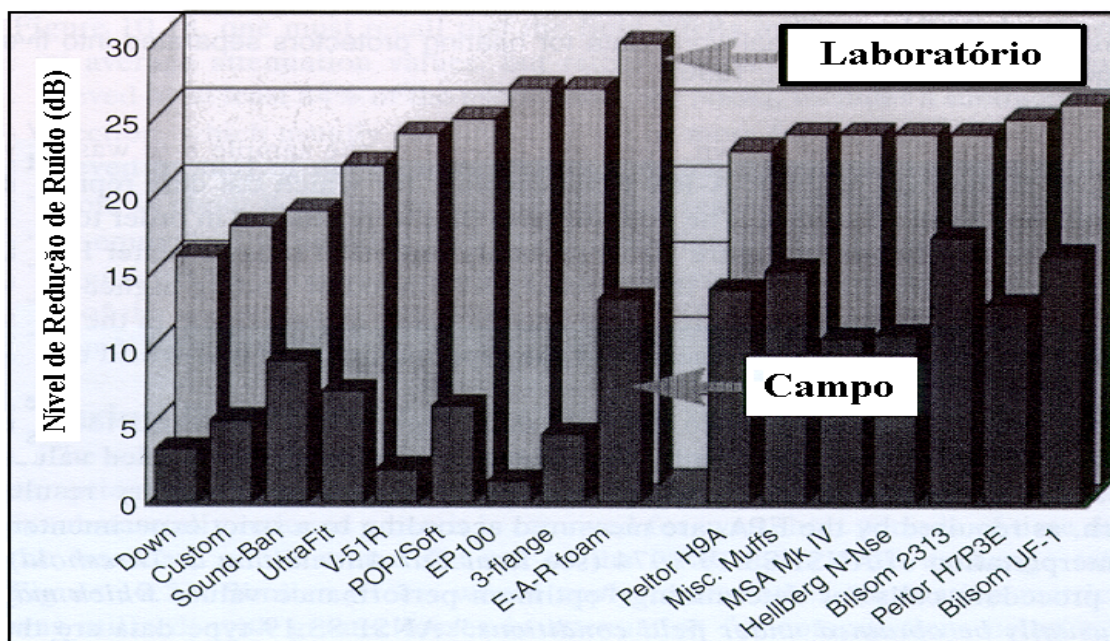
Matos e Santos [25] chamam a atenção para a grande variação da real atenuação entre os indivíduos. Na prática, sustentam os autores, a atenuação é sempre inferior ao divulgado pelas empresas vendedoras, em média 10 dB a menos. Recentes estudos têm evidenciado, também, que de 10 a 15 por cento dos indivíduos que usam protetores apresentam atenuação abaixo do limite inferior da capacidade de redução dos protetores, tendo como causas mais evidentes os erros no posicionamento, a manutenção, as trocas inadequadas e o tempo efetivo de uso.

Os autores comentam que constantemente são fornecidos aos usuários protetores de inserção muito pequenos e conchas sem boa vedação e desconfortáveis. Afirmam que PAs velhos e sujos contribuem para diminuir a eficiência na atenuação do ruído.

Nielsen [26] avaliando a eficácia de Protetor Auditivo Tipo Concha, acoplado ao capacete pelo método MIRE, utilizado em empresa reflorestadora e produtora de tanino, nas atividades de corte de árvores com motosserras portáteis, quantificou atenuações reais de 11 e 16 dB, sendo o NRR fornecido pelo fabricante de 20 dB.

Berger [27], em 22 estudos de avaliação em campo, realizados em mais de noventa instalações industriais, em sete países (Argentina, Canadá, Finlândia, Alemanha, Países Baixos, Inglaterra e EUA), envolvendo aproximadamente três mil trabalhadores, com amostra mínima por protetor maior que trinta, constatou que a atenuação dos Protetores Auditivos, em mundo real, está sempre abaixo no NRR informado pelo fabricante do equipamento, ressaltando que os dados típicos de laboratório superestimam o desempenho dos protetores [figura 2.11].

Figura 2.11: Comparação entre NRR em campo e no Laboratório (ANSI- 1974). As marcas de “Down a e-a-r foam” são “plugs”, e as marcas de “Peltor H9A a Bilsom UF-1 são conchas [27].



Berger [28] cita os seguintes fatores que afetam o comportamento dos Protetores Auditivos no mundo real:

- 75% dos Programas de Conservação Auditiva (PCAs) nunca foram verificados na colocação dos Protetores Auditivos.
- 80% dos PCAs não têm registro sobre os Protetores Auditivos.
- 40% dos usuários não têm treinamento.

## 2.1 Conclusão Sobre Revisão Bibliográfica

Embora a tecnologia tenha melhorado a qualidade e a eficiência de Protetores Auditivos (PAs), percebe-se que ainda existe uma diferença entre os níveis de atenuação fornecidos pelos fabricantes de PAs e os resultados em situação real de campo. Por mais eficiente que seja um Protetor Auditivo convencional fornecido ao trabalhador, esta diferença sempre existirá, uma vez que os componentes espectrais de ruído dos locais de trabalho, dependendo da atividade industrial, são diferentes das condições laboratoriais e podem variar substancialmente de um local de trabalho para outro, dentro da mesma área operacional. Assim sendo, um protetor que apresenta boa eficiência em ambientes com predominância de som agudo, não poderá ser eficiente para ambientes com som grave.

Gerges [29] descreve que a atenuação medida no laboratório é geralmente maior do que a atenuação conseguida pelo trabalhador em campo, citando como razões:

- a) Os ouvintes no laboratório colocam os protetores para fornecer atenuação máxima, enquanto o trabalhador em campo coloca o protetor para conforto máximo.
- b) O ouvinte no laboratório está sentado confortavelmente por pouco tempo, enquanto que o trabalhador em campo executa atividades físicas e movimentos durante toda a jornada de trabalho.
- c) O ouvinte é bem treinado para o uso do protetor, enquanto que o trabalhador freqüentemente não é treinado.



- d) O ouvinte escolhe o tamanho certo do protetor, com colocação e ajuste correto na orelha, enquanto que o trabalhador mal ajusta o protetor.

Pelo exposto em várias citações, a conclusão vem ao encontro das afirmações de Goff e Blank [9], que os Protetores Auditivos ensaiados em laboratório apresentam boa proteção, porém com valores menores quando avaliados em campo. Embora haja redução, os Protetores Auditivos do Tipo Concha convencionais podem reduzir o efeito nocivo do ruído a níveis abaixo dos limites de tolerância estabelecidos pela Portaria 3.214, de 08.06.78 do MTE, desde que corretamente selecionado e monitorado através de um Programa de Conservação Auditiva (PCA).

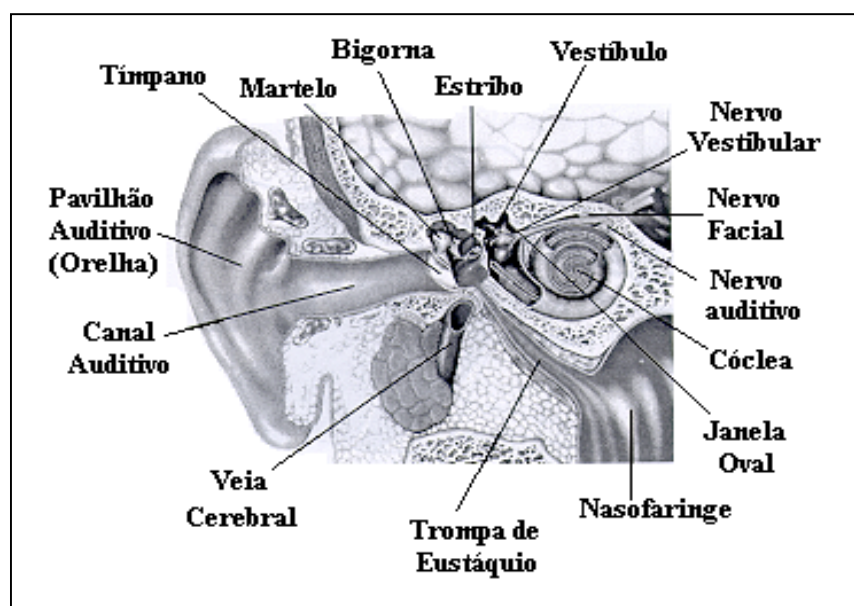
### 3 SISTEMA AUDITIVO HUMANO

#### 3.1 Natureza Anatômica e Fisiológica da Audição

O mais baixo murmúrio que podemos ouvir possui aproximadamente um milionésimo de energia sonora da voz humana, o que demonstra a extrema sensibilidade do ouvido para a detecção do som.

O ouvido pode ser dividido em três partes distintas: o ouvido externo, o médio e o interno. A figura 3.1 apresenta o ouvido em corte e a representação física do seu funcionamento.

Figura 3.1: Ouvido humano e representação física do seu funcionamento [29].



O ouvido externo é constituído pelo pavilhão, pelo canal auditivo com comprimento médio de 2,5 centímetros e pela membrana timpânica. O pavilhão auditivo tem forma afunilada a fim de coletar e transmitir as ondas sonoras que excitam a membrana timpânica.

O ouvido médio é formado pelos três menores ossículos do corpo humano: o martelo, a bigorna e o estribo, que articulados entre si movimentam-se em vaivém contra a janela oval da cóclea, transmitindo, por esse meio, o som para o líquido coclear. O ouvido médio contém importantes elementos para proteger o sistema de audição, como a Trompa de Eustáquio, que é ligada à garganta e à boca para equilibrar a pressão do ar.

As ondas sonoras coletadas pela membrana timpânica, com área em torno de  $55 \text{ mm}^2$ , são transmitidas à janela oval, com área de  $3,2 \text{ mm}^2$ , por meio dos três ossículos. Deste modo, a membrana timpânica coleta cerca de 17 vezes mais energia sonora do que seria coletada diretamente pela janela oval. O sistema ossicular ainda amplia a pressão, ao nível do estribo, em 1,3 vezes. Desta forma, a pressão exercida pelo movimento da base do estribo é 22 vezes maior que a que seria exercida pela aplicação direta das ondas sonoras à janela oval. Essa nova pressão é, assim, suficiente para fazer com que o líquido coclear seja deslocado com movimentos oscilatórios.

O ouvido interno, constituído pela cóclea, quando esticada, tem comprimento total de aproximadamente 35 mm. A cóclea fica situada em uma câmara no interior do osso temporal do crânio e a qualquer vibração nos ossos cranianos, a cóclea vibra em torno do líquido coclear, permitindo que ela reaja como se o som tivesse chegado por meio da membrana timpânica e dos ossículos.

A cóclea é uma estrutura membranosa, formada por três tubos espiralados, lado a lado, chamados de rampa vestibular, rampa média e rampa timpânica, todos cheios de líquidos e separados entre si por membranas.

As figuras 3.2 e 3.3 mostram a cóclea e a figura 3.4, as células ciliadas localizadas no interior do órgão de Corti do ouvido interno.

Figura 3.2: Corte transversal da cóclea, mostrando seus tubos espiralados formados pela rampa vestibular, pela rampa média e pela rampa timpânica. Também é mostrado o nervo coclear, saindo da membrana basilar [30].

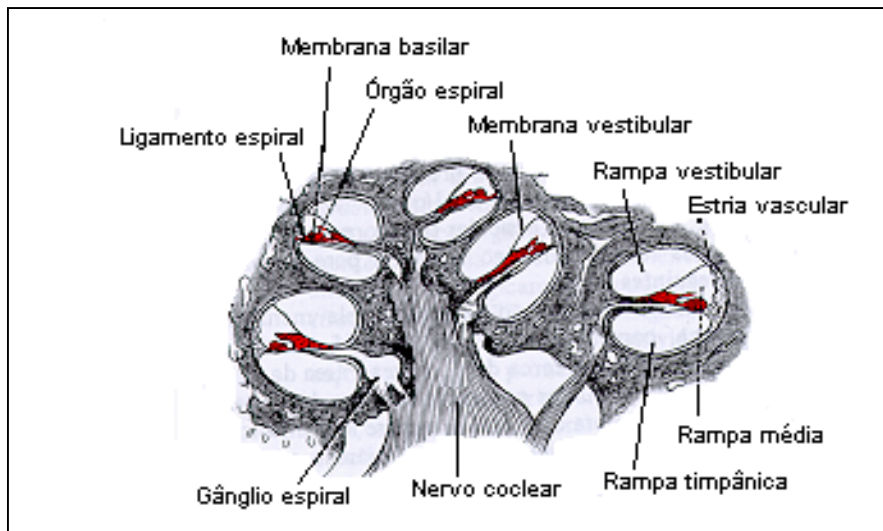


Figura 3.3: O órgão de Corti, mostrado em corte transversal, com as células ciliadas e a membrana tectorial fazendo pressão sobre as células ciliadas [30].

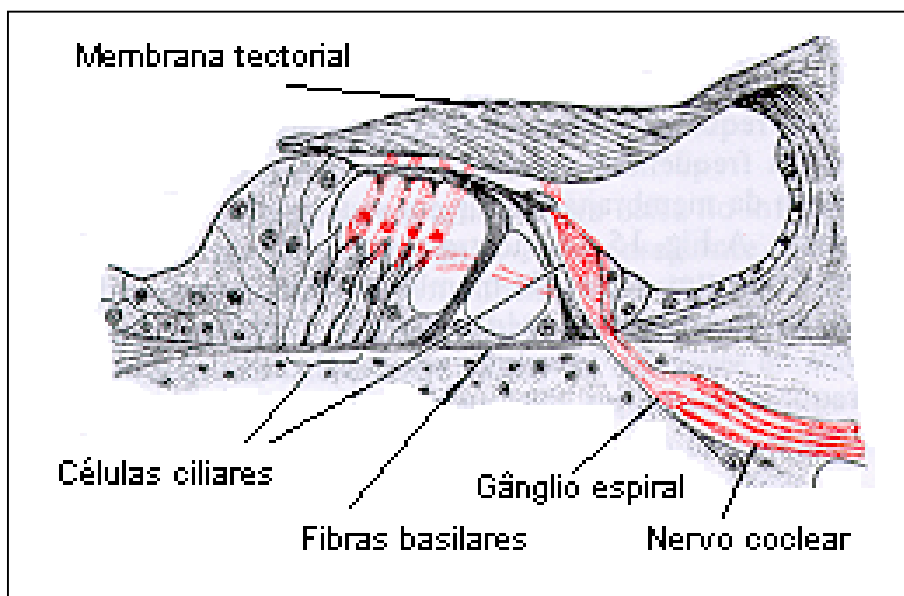


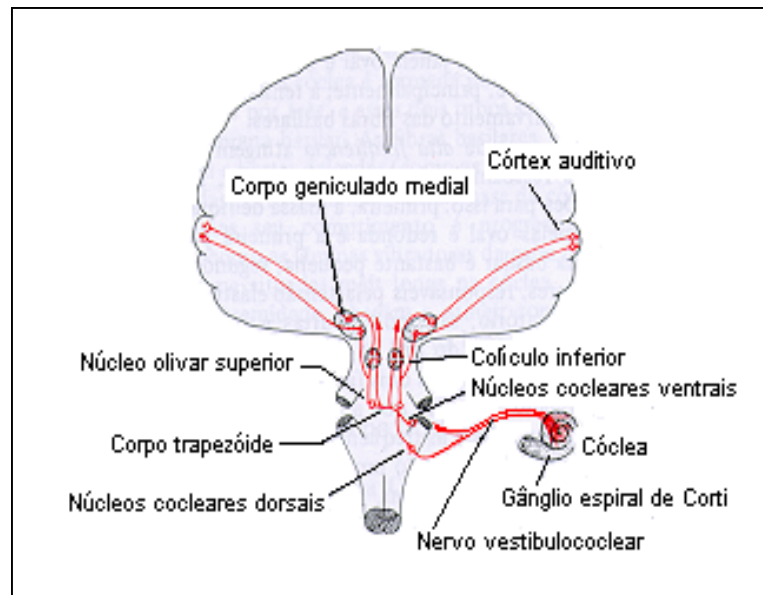
Figura 3.4: Células ciliadas localizadas no interior do órgão de Corti na cóclea.



A membrana que separa a rampa média da rampa timpânica é a membrana basilar, sustentada por cerca de 20.000 espinhas delgadas, sendo curtas perto da janela oval, na base da cóclea, e alongadas quanto mais afastadas da base da cóclea, em cuja superfície fica o órgão de Corti, contendo em sua superfície em torno de 3.500 células ciliadas internas e três a quatro fileiras de células ciliadas externas, com aproximadamente 20.000 células, cuja função é converter a energia vibratória em impulsos elétricos. As vibrações sonoras de alta frequência ressoam junto à base da cóclea e as de baixa frequência, próxima ao ápice da cóclea.

Os impulsos sonoros, após passarem pelo nervo coclear e nervo vestibulococlear, são transmitidos através de cinco níveis encefálicos: os núcleos cocleares dorsal e ventral, o corpo trapezóide e o núcleo olivar superior, o colículo inferior, o corpo geniculado medial e o córtex auditivo, onde os sinais são decodificados e transformados em som, conforme mostrado na figura 3.5.

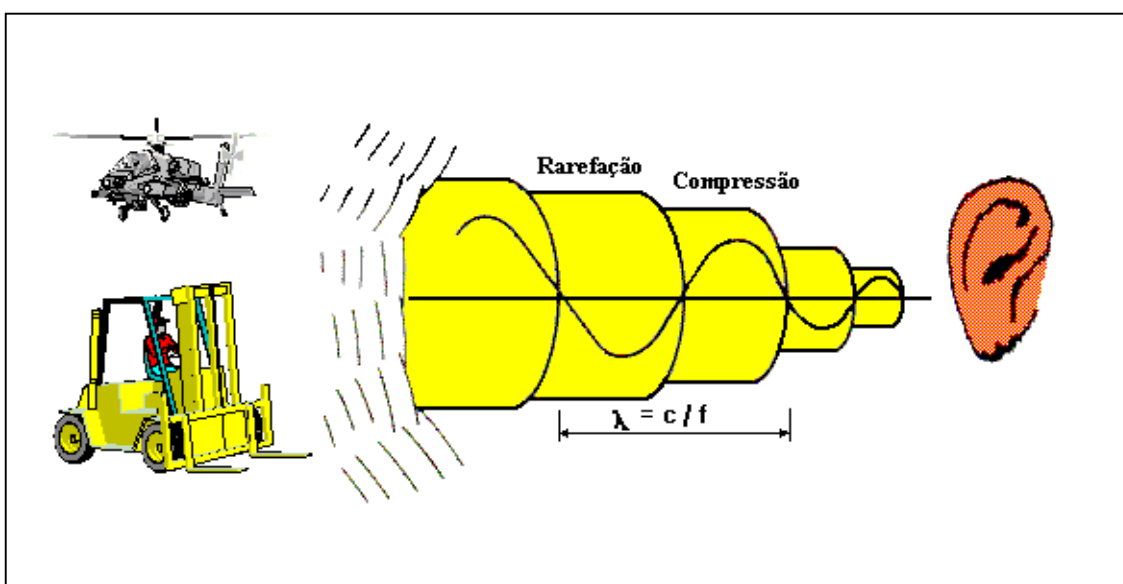
Figura 3.5: Vias para a transmissão dos impulsos sonoros desde a cóclea até o sistema nervoso central [30]



### 3.1.1 Percepção Sonora

O som se caracteriza como qualquer variação de pressão que o ouvido humano possa detectar. Consiste em uma forma de energia e é transmitida pela colisão das moléculas do meio, umas contra as outras sucessivamente, podendo ser representado como uma série de compressões e rarefações do meio que se propagam a partir da fonte sonora (figura 3.6).

Figura 3.6: Propagação da onda sonora [Figura do autor]

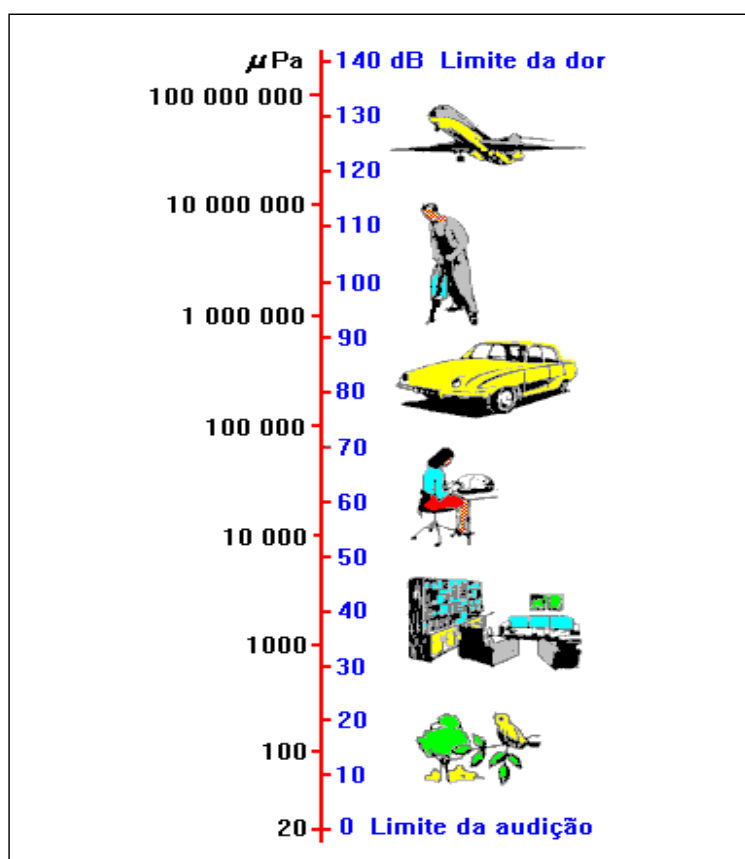


O ouvido humano é capaz de perceber frequências de 20 a 20.000 Hz, cuja sensibilidade está associada a cada indivíduo de acordo com sua idade.

Como o ouvido humano, devido a sua sensibilidade, pode tolerar pressões acima de um milhão de vezes a pressão de referência, para facilitar o manuseio da faixa audível de pressões, a pressão sonora é medida numa escala logarítmica, conhecida como Nível de Pressão Sonora (NPS).

O som mais fraco que um ouvido humano saudável pode detectar é de 20  $\mu\text{Pa}$  (igual a  $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$  - pressão de referência), conhecido como limiar da audição. Por outro lado, o som mais forte é de 200.000.000  $\mu\text{Pa}$  ( $200 \text{ N/m}^2$ ), denominado limiar da dor (figura 3.7).

Figura 3.7: Escala de sensibilidade do ouvido humano



### 3.1.2 Escalas para Avaliação de Níveis de Ruído

Várias escalas e critérios foram desenvolvidos para quantificar diferentes condições como o conforto acústico e o estado do sistema auditivo. Os Níveis de Pressão Sonora podem ser avaliados por meio de quatro circuitos de compensação, ou seja: **A**, **B**, **C** e **D**.

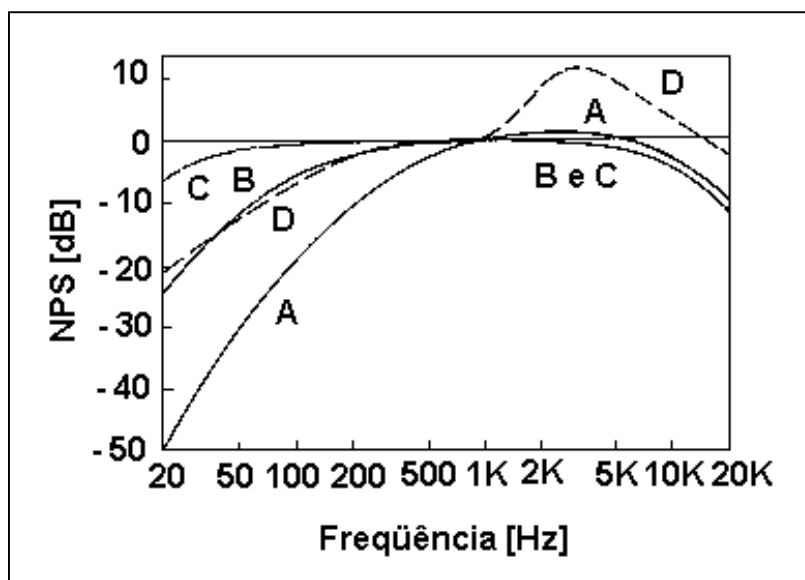


Dos quatros circuitos de compensação, os circuitos **A** e **B** são os mais utilizados. O **dB** é a unidade usada e representa o somatório de toda a energia sonora na faixa audível captada pelo microfone.

O circuito de compensação **A** foi desenvolvido para avaliar os níveis de ruído detectado pelo ouvido humano. O ouvido, devido a sua anatomia e fisiologia, não é igualmente sensível a todas as freqüências, apresentando maior sensibilidade para a faixa de 3 kHz e 5 kHz, e menos sensibilidade para freqüências extremamente baixas ou altas.

A figura 3.8 mostra os circuitos de compensação **A**, **B**, **C** e **D**. Pode-se observar que no circuito **A**, que simula a audição humana, o ouvido atenua até a freqüência de 1 kHz, amplifica nas freqüências superiores a 1 kHz até 5 kHz, voltando a atenuar nas freqüências superiores a 5 kHz.

Figura 3.8: Circuitos de compensação **A**, **B**, **C** e **D** [29]



### 3.1.3 Sensibilidade do Ouvido Humano

Analisando o ouvido humano do ponto de vista físico, quando uma onda sonora propaga-se pelo meato auditivo até atingir o tímpano, o comprimento de onda acústica representado pela letra  $\lambda$  ( $\lambda = c/f$ ) é correspondente a  $\frac{1}{4}$  do comprimento normal, ou seja, a distância entre um ventre e o nó. Neste sentido, temos:

$\lambda = 4 L$ , sendo “L” o comprimento do meato auditivo e adotando-se “L” médio como de 2,5 cm (0,025 m), logo:

$$\lambda = 4 L = 4 \times 0,025 \quad \Rightarrow \quad \lambda = 0,1 \text{ m}$$

$$f = c/\lambda = 343/0,1 \quad \Rightarrow \quad f = 3.430 \text{ Hz.}$$

Adotando-se um comprimento do meato auditivo de 2 cm, tem-se a frequência de ressonância de 4.287 Hz. Como se pode observar, fisicamente, o ouvido humano é mais sensível nas altas frequências de 3000 Hz a 5000 Hz.

Por esse motivo que, sendo o ouvido humano um órgão sensível e frágil, a escolha de equipamentos de proteção auditiva deve, necessariamente, obedecer a critérios técnicos confiáveis para apresentar os efeitos desejados na conservação da audição.

## 3.2 Perda Auditiva

O Comitê Nacional de Ruído e Conservação Auditiva definiu a Perda Auditiva Induzida pelo Ruído (PAIR) com uma “diminuição gradual da acuidade auditiva, decorrente da exposição continuada a níveis elevados de ruído” [7], tendo como características principais:

1. A PAIR é sempre neurosensorial, em razão do dano causado às células do órgão de Corti.
2. Uma vez instalada, a PAIR é irreversível e quase sempre similar e bilateral.
3. Raramente leva à perda auditiva profunda, pois geralmente não ultrapassa os 40 dB(A) nas baixas frequências e os 75 dB(A) nas frequências altas.
4. Manifesta-se, primeiramente e predomina, nas frequências de 6000, 4000 ou 3000 Hz e, com o agravamento da lesão, estende-se às frequências de 8000, 2000, 1000, 500, 250 Hz, as quais levam mais tempo para serem comprometidas.
5. Tratando-se de uma patologia coclear, pode apresentar intolerância a sons intensos e zumbidos, comprometendo a inteligibilidade da fala com prejuízo do processo de comunicação.
6. Não haverá progressão da PAIR, uma vez cessada a exposição ao ruído intenso.
7. A instalação da PAIR é, principalmente, influenciada pelos seguintes fatores: características físicas do som (tipo, espectro e nível de pressão sonora), tempo de exposição e susceptibilidade individual.

8. A PAIR não torna a audição mais sensível a futuras exposições a ruídos intensos. À medida que os limiares auditivos aumentam, a progressão da perda torna-se mais lenta.
9. A PAIR geralmente atinge o seu nível máximo nas frequências de 3000, 4000 e 6000 Hz durante os primeiros 10 a 15 anos de exposição sob condições estáveis de ruído.

Segundo Glorig, *apud* Mendes [31], “a perda auditiva atinge sua maior proporção dos cinco aos sete anos de exposição, reduzindo o índice de progressão até os 15 anos, quando tende a se estabilizar, desde que mantidas as condições de exposição e na ausência de outros fatores casuais”.

Para Phaneuf & Héту, *apud* Mendes [31], “Cabe lembrar, ainda, que o ruído não é o único fator determinante da perda auditiva. A presença de outros fatores ocupacionais e não ocupacionais deve ser sempre levada em conta na apreciação individual de cada caso”.

A “Presbiacusia” é um desses fatores, definida como a perda progressiva da audição causada por alterações patológicas devido à idade. Outros fatores como predisposição genética, condições clínicas como diabete, altos níveis de lipídios no sangue, alterações cardiovasculares, hipertensão, contribuem para a perda auditiva que surge com o avanço da idade. A figura 3.9 mostra valores típicos da perda de audição em várias frequências, em função somente da idade, para homens e mulheres. O nível zero dB representa audição plena.



## **4 PROTETORES AUDITIVOS E ATENUAÇÃO OFERECIDA**

### **4.1 Tipos de Protetores Auditivos**

O objetivo principal dos Protetores Auditivos (PAs) é reduzir a um nível aceitável os ruídos excessivos, aos quais o usuário está exposto [29].

Dentro de um Programa de Conservação Auditiva (PCA), o primeiro procedimento é adotar medidas de controle de ruído na fonte; o segundo, no meio de transmissão; e em terceiro, com a utilização de equipamentos de proteção auditiva. Os PAs devem ser usados somente enquanto as medidas de controle de ruído na fonte ou no meio de transmissão estão sendo implementadas e estes dispositivos fornecem uma boa atenuação, desde que bem selecionados e usados por trabalhadores treinados.

Existem, no mercado nacional e no internacional, vários tipos, marcas e modelos de PAs, cuja escolha para utilização deverá seguir uma avaliação criteriosa, visando à melhor atenuação e proteção.

Os Protetores Auditivos são classificados em:

- a) Protetor de Inserção Auto-Moldáveis.
- b) Protetor de Inserção do Tipo Pré-Moldado.
- c) Protetor do Tipo Capa de Canal.
- d) Protetor de Inserção do Tipo Personalizado.
- e) Tipos Especiais de Protetores Auditivos.
- f) Protetor Auditivo Tipo Concha.

### 4.1.1 Protetor de Inserção Auto-Moldáveis

Este tipo de protetor é projetado para ser inserido dentro do canal auditivo e diminuir a propagação do som para o ouvido médio pela expansão do material, que rapidamente se adapta às diversas formas de canais auditivos. São conhecidos por “plugs ou tampões” e são fabricados em algodão parafinado, espuma plástica (PVC ou poliuretano) e tipos especiais de fibra de vidro, em formatos diferentes, com ou sem cordão. Estes protetores são de baixo custo, devido aos materiais usados [figura 4.1].

Figura 4.1: Protetores de Inserção Auto-Moldáveis [Foto do autor]



### 4.1.2 Protetor de Inserção do Tipo Pré-Moldado

Os Protetores de Inserção do Tipo Pré-Moldados são normalmente fabricados de materiais de borracha, silicone, termoplástico, entre outros, que rapidamente se adaptam às diversas formas de canais auditivos. O material deve ser não-tóxico, quimicamente estáveis, de superfície lisa e lavável com água e sabão neutro, garantindo que a forma dos protetores não se alterem com o uso durante longos períodos consecutivos, para que não sejam afetados pela cera do ouvido, pelo suor, por cosméticos, etc.

Para ser eficiente, o protetor de inserção deve ser colocado firmemente, o que pode torná-lo desconfortável. As irregularidades apresentadas no canal do ouvido em um grande número de pessoas podem dificultar a fixação adequada dos tampões. Existem alguns problemas relacionados com a higiene e na prática, os tampões podem perder a elasticidade com as lavagens periódicas. A figura 4.2 mostra vários tipos de Protetores de Inserção Pré-Moldados.

Figura 4.2: Protetores de Inserção Pré-Moldados [Foto do autor]



### 4.1.3 Protetor do Tipo Capa de Canal

Estes protetores são muito usados no mercado europeu e americano, cujas principais indicações de uso são para casos em que há necessidade de se colocar e retirá-lo várias vezes durante a jornada de trabalho, e em locais onde o uso de Protetores Tipo Concha podem ser desconfortáveis por causa de altas temperaturas e umidade do ambiente. No caso desses protetores, a vedação ocorre na entrada do canal auditivo e não dentro do canal (como no caso dos de inserção) ou ao redor do pavilhão auditivo (como no caso dos Protetores Tipo Concha).



Existem vários tipos de protetores disponíveis no mercado mundial e uma das características que se deve observar quando da escolha deste protetor, além da atenuação, é a pressão exercida pelas hastes. Em geral, o seu uso é atrás do pescoço ou sob o queixo [figura 4.3].

Figura 4.3: Protetor Capa de Canal [Foto do autor]



#### 4.1.4 Protetor de Inserção do Tipo Personalizado

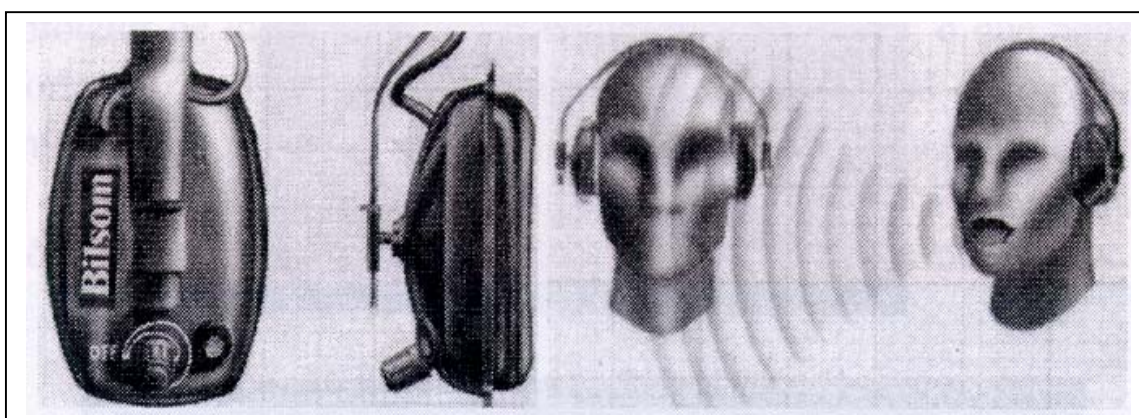
São geralmente fabricados com tipos de borracha de silicone e sua forma final é moldada no próprio canal do ouvido. A atenuação deste tipo de protetor depende bastante da experiência do usuário. Estes tampões, quando bem colocados, apresentam atenuações comparáveis à dos Protetores Tipo Concha. Este protetor é especialmente recomendado em indústrias alimentícias e similares, cujas condições desfavoráveis de calor e umidade inviabilizam o uso do Protetor Tipo Concha.

### 4.1.5 Tipos Especiais de Protetores Auditivos

Existem tipos especiais de protetores, projetados para situações específicas de trabalho, em que se deve ter melhores condições na comunicação e nos casos de níveis altos de ruído de trânsito.

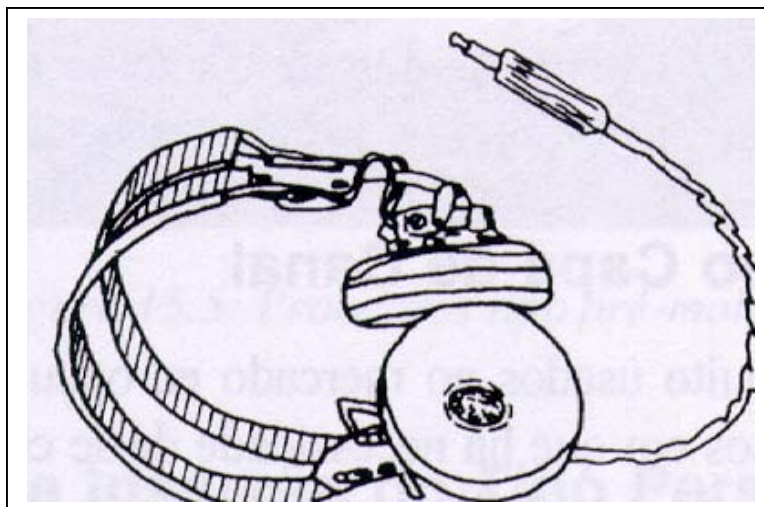
Esses dispositivos não lineares possuem sistemas de filtros acústicos (orifício ou filtro eletrônico, do Tipo Passa-Baixos), que garantem menor atenuação nas frequências inferiores a 2000 Hz, aproximadamente, permitindo assim a passagem da voz humana, conforme figura 4.4.

Figura 4.4: Protetores Tipo Filtro Passa-Baixo [29]



Existem tipos de Protetores Auditivos com circuitos eletrônicos para emitir música ou mensagens de comunicação. Evidentemente, esses tipos especiais são bem mais caros do que os convencionais [Figura 4.5].

Figura 4.5: Protetor Auditivo com audiofone [29].



Outro tipo de Protetor Auditivo especial é o protetor com controle ativo de ruído. Seu funcionamento é baseado na técnica de cancelamento, isto é, geração de campo sonoro dentro da concha idêntico ao campo original existente, mas com fase invertida, cuja soma do campo sonoro original com o campo gerado é quase nulo. O sistema é composto de um minimicrofone de 2 mm de diâmetro, aproximadamente, para captar o campo sonoro original na concha. O sinal do microfone é então convertido em forma digital e amplificado para alimentação de um minialto-falante. O campo sonoro gerado pode fornecer atenuação do ruído em certa banda de frequência deixando passar a banda relativa à voz humana. A figura 4.6 mostra um protetor com controle ativo de ruído, e a figura 4.7, os níveis de pressão sonora na cabine de avião a jato medidos sem protetor, com protetor típico e com protetor ativo.

Figura 4.6: Protetor Auditivo ativo fabricado por “Noise Cancellation Technologies – NCT” dos EUA [29].

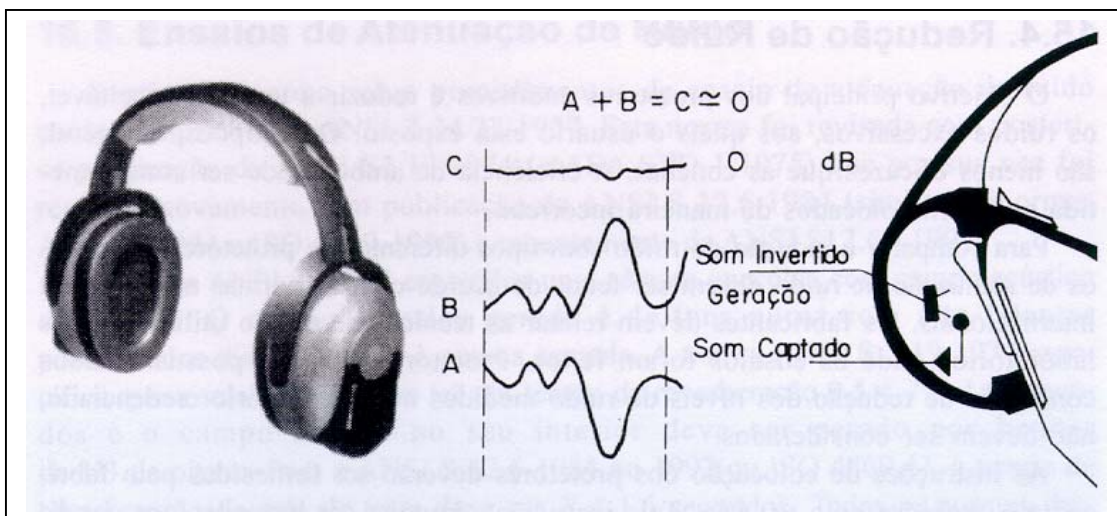
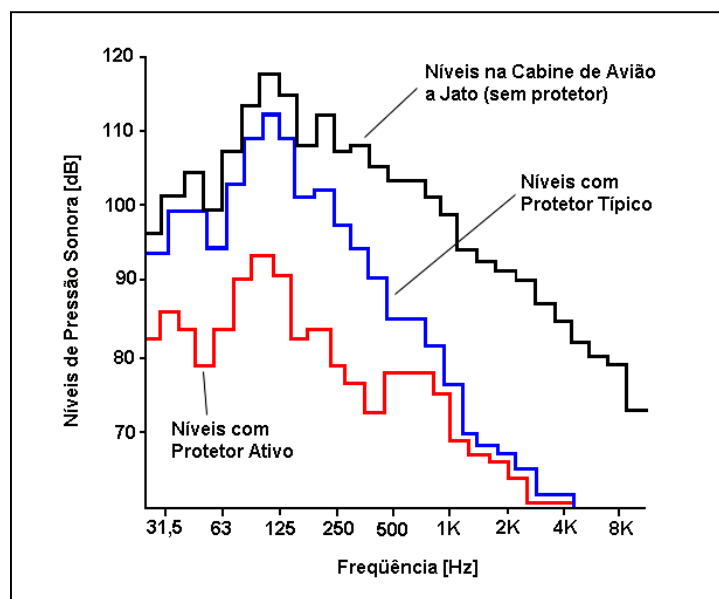


Figura 4.7: Níveis de pressão sonora na cabine de avião a jato medidos sem protetor, com protetor típico e com protetor ativo [29].



#### 4.1.6 Protetor Auditivo Tipo Concha

Este tipo de protetor é fabricado com material rígido, revestido normalmente de espuma, projetado para cobrir completamente a orelha. A atenuação obtida com esse tipo de protetor está relacionada, em parte, à pressão que o protetor exerce sobre os dois lados da cabeça. Por outro lado, o conforto alcançado depende da distribuição dessa pressão. Uma grande vantagem deste tipo de protetor, comparado aos protetores de inserção, é a sua maior proteção, além de fácil adaptação a diversas formas anatômicas das orelhas. São fáceis de colocar, retirar e são higiênicos, sendo recomendados para uso em áreas não limpas e nos casos em que o usuário circule alternadamente por zonas ruidosas e zonas silenciosas, nas quais os protetores podem ser removidos [Figura 4.8].

Figura 4.8: Protetores Auditivos Tipo Concha [Foto do autor]



## 4.2 Índices de Atenuação de Ruído

### 4.2.1 Níveis de Redução de Ruído - NRR

O Nível de Redução de Ruído (NRR) é baseado nas recomendações da NIOSH (1975) e calculado para dados dos ensaios segundo as normas ANSI S3.19/1974 e S12.6/1984, considerando um ambiente de padrão, chamado “ruído rosa” com 100 dB em cada banda de frequência e subtraindo dois desvios-padrão das atenuações médias do Protetor Auditivo para cada banda de frequência de 1/1 de oitava de 125 a 8000 Hz, e ainda subtraindo 3 dB no valor final como fator de segurança.

Os valores da atenuação média e desvio-padrão do Protetor Auditivo na frequência de 4000 Hz corresponde à média aritmética dos dados de 3150 e 4000 Hz, e para a frequência de 8000 Hz, à média aritmética dos dados de 6300 e 8000 Hz.

O NRR calculado com o grau de proteção de dois desvios-padrão, representa 98% de confiança, significando que, se uma população exposta é corretamente representada pelos indivíduos em teste, e se os expostos usarem protetores da mesma maneira que os submetidos a testes no laboratório, então 98% da população terão a mesma proteção.

A tabela 4.1 mostra os seguintes passos para cálculo do NRR.

1. Ruído Padrão (Ruído Rosa), com 100 dB por banda de 1/1 oitava.
2. Correção Ponderação **A**.
3. Níveis de Ruído em banda de 1/1 de oitava em dB(A).
4. Atenuação média do protetor auditivo.

5. Desvio Padrão (DP) do Protetor Auditivo.
6. Duas vezes o Desvio Padrão (DP).
7. Níveis em dB(A) com o uso do Protetor Auditivo [(Pto 3 – Pto 4) + Pto 6].
8.  $NRR = 107,9 - (\text{soma global calculado (pto 7)}) - 3 \text{ dB}$ .

**Nota:** Os dados dos pontos 4 e 5 são obtidos em laboratório.

Tabela 4.1: Cálculo da atenuação de um Protetor Auditivo Tipo Concha pelo NRR [29]

Pto	Descrição	Frequência [Hz]							Total
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	NPS dB	100	100	100	100	100	100	100	<b>108,4</b>
2	Cor. Ponderação A	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1	
3	NPS em dB(A)	83,9	91,4	96,8	100	101,2	101,0	98,9	<b>107,9</b>
4	Atenuação do EPI	13	13	18	27	30	41,5	38,5	
5	Desvio Padrão (DP)	2,4	1,8	3	3,4	3	4,5	7,3	
6	2 DP	4,8	3,6	6	6,8	6	9	14,6	
7	NPS Proteção dB(A)	<b>75,7</b>	<b>82,0</b>	<b>84,8</b>	<b>79,8</b>	<b>77,2</b>	<b>68,5</b>	<b>75,0</b>	<b>88,3</b>
8	<b><math>NRR = (107,9 - 88,3) - 3 = 16,6 = 17 \text{ dB}</math></b>								

#### 4.2.2 Nível de Redução de Ruído Corrigido – NRRc

Gerges [29], em 1998 a NIOSH recomendava que os valores de NRR fornecidos pelos fabricantes de Proteção Auditiva, medidos no laboratório com a norma ANSI S3.19-1974 (colocação por supervisor de ensaio) deveriam ser reduzidos conforme os seguintes fatores: I – Protetor Tipo Concha, multiplicar o NRR por 0,75 (75%); II – Protetor Tipo “Plug” com materiais expandidos, multiplicar o NRR por fator 0,5 (50%) e III – Outros Protetores Tipo “Plug”, multiplicar o NRR por 0,3 (30%).

Então:  $NRRc = NRR \times \text{fator}$

Para Protetores Tipo Concha:  **$NRRc = NRR \times 0,75$**

O **NRRc** é usado para cálculo do Nível de Pressão Sonora protegido  $NPS_c$  dB(A) com o uso do Protetor Auditivo submetido a  $NPS_s$  dB(C) ou  $NPS_s$  dB(A) no ambiente conforme as seguintes equações:

$$NPS_c \text{ dB(A)} = NPS_s \text{ dB(C)} - NRRc, \text{ ou}$$

$$NPS_c \text{ dB(A)} = NPS_s \text{ dB(A)} - (NRRc - 7)$$

Para estimar a atenuação de um Protetor Auditivo Tipo Concha, em medições feitas na escala dB(A), então:

$$NPS_s \text{ dB(A)} - NPS_c \text{ dB(A)} = NRRc - 7$$

$$\text{Atenuação} = (NRR \times 0,75) - 7$$

O fator 7 na equação acima é a diferença entre a escala dB(A) e dB(C), além de outros fatores.



### 4.2.3 Método Longo

O cálculo da atenuação oferecida por um Protetor Auditivo pelo “Método Longo” é similar ao do NRR, com exceção de três parâmetros. O primeiro é que a análise espectral do ambiente de trabalho não é ruído rosa. É a análise espectral de ruído representativa do ambiente de trabalho gerada e emitida pela(s) fonte(s) sonora(s). O segundo não tem a redução de 3 dB no valor final como fator de segurança. O terceiro considera as bandas de 1/1 de oitava com freqüências centrais também para as freqüências de 4000 e 8000 Hz. No NRR se considera a média aritmética dos dados de 3150 e 4000 Hz para 4000 Hz, e 6300 e 8000 Hz para 8000 Hz.

A tabela 4.2 mostra o procedimento para o cálculo da atenuação de um Protetor Auditivo Tipo Concha (NRR de 25 dB) para uma análise espectral de ruído representativa de uma Usina Hidrelétrica.

Tabela 4.2: Cálculo da atenuação de um Protetor Auditivo Tipo Concha pelo “Método Longo”

Pto	Descrição	Freqüência [Hz]							Total
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1.	NPS (dB)	100,8	94,5	93,5	87,8	81,3	76,7	69,0	102,5
2.	Cor. Ponderação A	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1	
3.	NPS em dB(A)	84,7	85,9	90,3	87,8	82,5	77,7	67,9	<b>94,2</b>
4.	Atenuação do EPI	15,5	21,5	29,1	37,3	36,7	34,5	33,2	
5.	Desvio Padrão (DP)	2,4	1,6	1,7	2,9	2,9	3,6	3,5	
6.	2 DP	4,8	3,2	3,4	5,8	5,8	7,2	7	
7.	NPS Proteção dB(A)	<b>74,0</b>	<b>67,6</b>	<b>64,6</b>	<b>56,3</b>	<b>51,6</b>	<b>50,4</b>	<b>41,7</b>	<b>75,4</b>
8.	<b>Atenuação = 94,2 - 75,4 = 18,8 dB(A)</b>								

#### 4.2.4 Método Microphone in Real Ear - MIRE

O método MIRE consiste em avaliar em campo, em tempo real, os Protetores Auditivos do Tipo Concha, medidos através de dosímetros de ruído, com dois aparelhos, um com o microfone instalado dentro da Concha e o outro externamente, no mesmo ouvido (direito ou esquerdo), com leitura simultânea no ambiente de trabalho, sendo a diferença das medições em termos de “Nível Equivalente ( $L_{eq}$ )” de Ruído, a atenuação real do Protetor Tipo Concha.

O  $L_{eq}$  representa a energia média do Nível de Pressão Sonora tomado ao longo do período de medição. Pode ser considerado como sendo o nível estacionário e contínuo, o qual possui a mesma energia acústica que as flutuações reais do ruído registrado durante o período de medição. É definido como sendo:

$$L_{eq} = 10 \log \left[ \frac{1}{T} \int_0^T 10^{L_A / 10} dt \right] \quad (1)$$

Onde:  $t$  é o tempo de exposição

$T$  é o período de amostragem

$L_A$  é o Nível de Pressão Sonora instantânea.

Embora não exista norma especificando os procedimentos de avaliação, diversos pesquisadores, citados no Capítulo 2, mostram que o método MIRE permite avaliar a real atenuação de Protetores do Tipo Concha, oferecendo confiabilidade na escolha dos dispositivos apresentados para Programas de Conservação da Audição.

### 4.3 Atenuação de Protetores Auditivos Tipo Concha

O objetivo principal dos Protetores Auditivos é reduzir a um nível aceitável os ruídos excessivos, aos quais os usuários estão expostos num ambiente de trabalho.

Segundo Gerges [29], os tampões, em geral, são menos eficazes que as conchas. A eficiência de ambos pode ser comprometida se forem colocados de maneira incorreta.

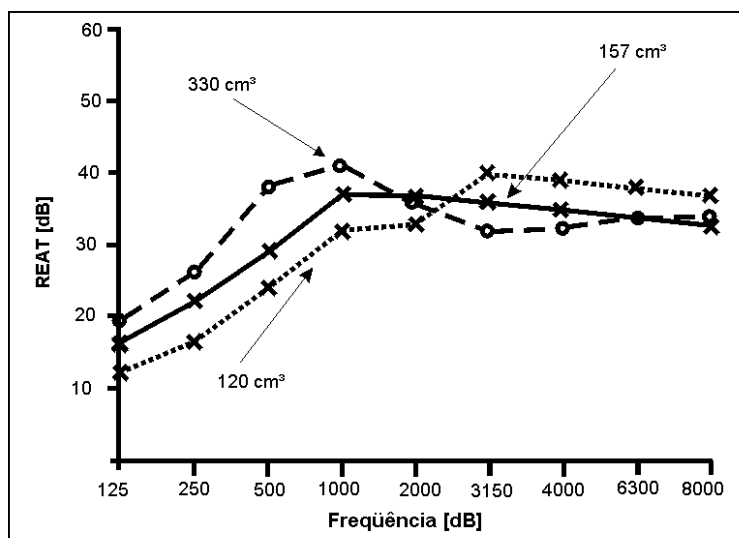
A atenuação dos Protetores Tipo Concha depende de diversos fatores, tais como: concepção do projeto, do material que é construído, a força do arco, o volume e a massa da concha.

Para usuários que usam óculos, o Protetor Tipo Concha não é recomendado, pois pressiona a haste contra o lado da cabeça, reduzindo a vedação da almofada ao redor da orelha, diminuindo a atenuação de 3 a 7 dB, podendo oscilar mais em função da sua colocação e da dimensão da haste do óculos usado.

Nepomuceno [32], descreve que:

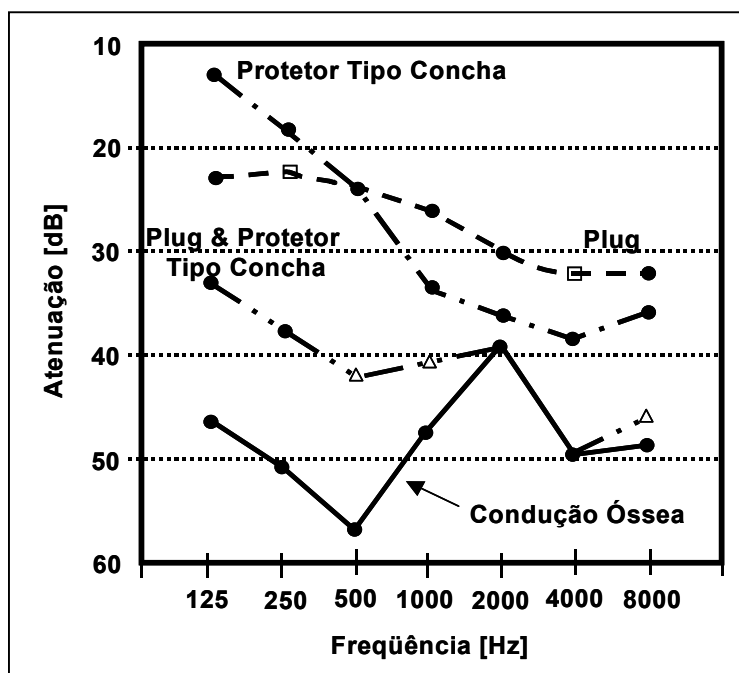
*“Em grande parte da literatura sobre conservação auditiva, os Protetores Auditivos Tipo Conchas são codificadas por “pequeno volume” (menor que 120 cm<sup>3</sup>), “médio volume” (entre 120 e 220 cm<sup>3</sup>) e “volume grande” (acima de 220 cm<sup>3</sup>). Conchas de grande volume apresentam maior atenuação entre 125 e 1000 Hz, quando comparadas com as de pequeno volume. No entanto, as conchas de volume médio e pequeno apresentam atenuações superiores em frequências acima de 2000 Hz [Figura 4.9].*

Figura 4.9: Comparação entre a atenuação apresentada por conchas com três volumes diferentes [32].



Quando a exposição em determinada situação de trabalho for acima de 100 dB(A), é recomendado o uso simultâneo de um “plug” e um Protetor Tipo Concha. Embora a atenuação seja maior, não é igual à soma das atenuações de cada um tipo isoladamente, conforme mostra a figura 4.10.

Figura 4.10: Atenuação promovida por “plug”, um Protetor Tipo Concha e combinação de dois tipos de Protetores Auditivos [33].



Analisando o ganho de atenuação por frequências, há variação de aproximadamente 0 a 15 dB, acima do maior valor apresentado individualmente, havendo ganho de poucos decibéis em 2000 Hz.

A escolha do Protetor Tipo “Plug” é crítica na atenuação abaixo de 2000 Hz, quando os dois tipos são usados simultaneamente, porque, especialmente acima dos 2000 Hz, a combinação destes apresentam atenuação próxima ao limite da condução óssea, que é de 40 a 50 dB, dependendo da frequência.

Neste sentido, todo Protetor Auditivo Tipo Concha apresenta limitações com relação ao seu efeito de atenuação de ruído. Uma destas limitações é a passagem do som via óssea, atingindo diretamente o ouvido interno. Mesmo com esta limitação, os Protetores Tipo Concha oferecem uma boa atenuação, e o desenvolvimento de novas tecnologia e produtos utilizados na sua fabricação, vem oferecendo no mercado tipos e modelos mais específicos que reduzem as perdas auditivas dos seus usuários.

## 5 AVALIAÇÃO DE PROTETORES AUDITIVOS EM CAMPO

### 5.1 Metodologia

#### 5.1.1 Instrumental Utilizado

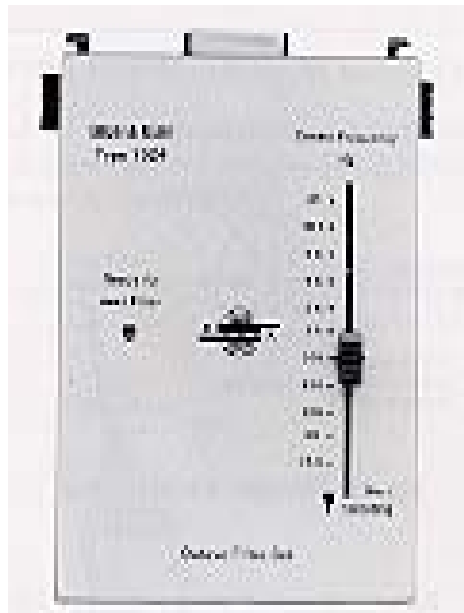
As medições foram realizadas com um medidor de Nível de Pressão Sonora, tipo 2233, marca Brüel & Kjaer, com filtro de banda de 1/1 de oitava, tipo 1624, microfone 1/2" tipo 4155 (Figuras 5.1 e 5.2).

O equipamento foi aferido com “calibrador tipo 4230” em 94 dB +/- 0,3 dB (ref.  $20 \times 10^{-6}$  Pa) e verificada sua calibragem após as medições, não havendo alteração do valor de referência.

Figura 5.1: Sound Level Meter 2233 [Foto do autor].



Figura 5.2: Octave Filter Set Type Type 1654 [Foto do autor].



As medições de ruído utilizando dois microfones em campo foram realizadas com Dosímetros de ruído, Marca Simpson, Modelo 897, calibrados em 94 dB, para a escala de 50 a 100 dB e 114 dB, para a escala de 80 a 130 dB, com variação de  $\pm 0,3$  dB (Figura 5.5).

### 5.1.2 Normas Utilizadas

Norma Regulamentadora (NR) 15, ANEXO – 1, da Portaria 3.214/78, de 08 de junho de 1978, do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) [1].

Norma da Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho - FUNDACENTRO, NHT – 06 R / E, Avaliação da Exposição Ocupacional ao Ruído Contínuo ou Intermitente [35].

### 5.1.3 Características dos Ambientes de Trabalho Avaliados

As medições foram realizadas em três Usinas Hidrelétricas, chamadas de **A**, **B** e **C**, uma Usina Termelétrica, chamada **D** e uma Estação Conversora de Frequência de energia de 50 para 60 Hz, denominada **E**.

A Usina Hidrelétrica **A** está situada no Paraná, possui quatro geradores, com potência total de 1.332 MW, com níveis de ruído médio na casa de máquinas de **92,8** dB(A) (Anexo “A” - Tabela A1).

A Usina Hidrelétrica **B**, também situada no Paraná, possui seis unidades geradoras, com potência total de 1.050 MW, com níveis de ruído médio na casa de máquinas de **92,9** dB(A) (Anexo **A** - Tabela A2).

A Usina Hidrelétrica **C**, situada no Rio Grande do Sul, possui duas unidades geradoras, com potência total instalada de 220 MW, com níveis de ruído médio na casa de máquinas de **95,2** dB(A) (Anexo “A” - Tabela A3).

A Usina Termelétrica **D**, também localizada no Rio Grande do Sul, movida a carvão mineral, possui quatro grupos geradores, com capacidade instalada de 72 MW, com níveis de ruído médio na casa de máquinas **92,5** dB(A) (Anexo “A” - Tabela A4).

A Estação Conversora de Frequência de energia de 50 para 60 Hz **E** está localizada em Santa Catarina, possuindo dois compensadores síncronos, com níveis de ruído médio de **90,3** dB(A) (Anexo “A” - Tabela A5).

Todos os ambientes de trabalho são reverberantes, com estruturas vibrantes e com componentes espectrais de ruído variáveis de um piso para outro, caracterizando um ambiente diversificado e de situação real.



## 5.2 Métodos

### 5.2.1 Níveis de Redução de Ruído (NRR)

Primeiramente foi definido a atenuação que os Protetores Auditivos deveriam oferecer, de modo a obter, dentro da concha, níveis iguais ou inferiores a 85 dB(A), que é o limite de tolerância para uma jornada de 8 horas. Preferencialmente, procurou-se trabalhar com limite igual ou inferior a 80 dB(A), uma vez que valores acima de 80 dB(A) podem ser nocivos à capacidade auditiva, dependendo da suscetibilidade individual.

Desta forma foi estabelecido que os Protetores Tipo Concha deveriam atenuar níveis de ruído de 10 a 15 dB(A), sendo os seguintes avaliados:

- a) Marca REAL, modelo **X**, de NRR 17 dB.
- b) Marca MSA, modelo **Y**, NRR de 25 dB.
- c) Marca DURÁVEIS, modelo **Z**, NRR de 25 dB.

Considerando os NRRs dos três Protetores Tipo Concha, a princípio, todos ofereciam proteção aos usuários, tendo eles a opção de escolher e usar o modelo que lhe fosse mais confortável, tornando maior a proteção do usuário durante a jornada de trabalho. Protetores desconfortáveis são rejeitados e não serão utilizados continuamente, interferindo na atenuação do protetor. A tabela 5.1 mostra as três marcas e modelos dos Protetores Tipo Concha utilizados, com as respectivas atenuações ( $\Delta P$ ) por faixa de frequência e correspondente desvios-padrão ( $\delta$ ).

Tabela 5.1: Atenuação dos Protetores Auditivos e desvios-padrão (dados dos fabricantes)

Protetores Auditivos	NRR (dB)	Atenuação	Frequência [Hz]						
			125	250	500	1 K	2 K	4 K	8 K
REAL Modelo X	17	$\Delta P$ (dB)	1,0	16,0	22,0	26,0	42,0	39,0	42,0
		$\delta$ (dB)	1,7	1,5	2,3	2,3	3,1	1,7	1,7
MSA Modelo Y	25	$\Delta P$ (dB)	15,5	21,5	29,1	37,3	36,7	34,5	33,2
		$\delta$ (dB)	2,4	1,6	1,7	2,9	2,9	3,6	3,5
DURÁVEIS Modelo Z	25	$\Delta P$ (dB)	15,4	20,3	36,6	46,4	48,0	32,5	35,3
		$\delta$ (dB)	2,2	0,6	1,1	2,3	3,7	2,2	1,7

**Nota:** Atenuação e Desvio-Padrão do Protetor Auditivo X da REAL, de acordo com o Laudo da Fundacentro, Relatório de Ensaio nº 331/95-A.

Atenuação e Desvios-Padrão dos Protetores Auditivos Y, da MSA e Z, da DURÁVEIS, de acordo com informações de catálogos dos fabricantes.

### 5.2.2 Nível de Redução de Ruído Corrigido – NRRc

O segundo passo foi verificar a atenuação oferecida pelos Protetores Tipo Concha, seguindo as recomendações da NIOSH, uma vez que a situação em campo é diferente da situação de laboratório. Assim, os NRR foram corrigidos, conforme metodologia apresentada no Capítulo 4 (4.2.2).

Aplicando os índices de correção, seguindo orientações da NIOSH, temos as seguintes valores de atenuação:

$$\text{Atenuação (dB(A))} = (\text{NRR} \times 0,75) - 7$$

**a) Modelo X, da REAL - NRR de 17 dB**

$$\text{Atenuação} = (\text{NRR} \times 0,75) - 7$$

$$\text{Atenuação} = (17 \times 0,75) - 7$$

$$\text{Atenuação} = \mathbf{6 \text{ dB(A)}}$$

**b) Modelo Y, da MSA - NRR de 25 dB**

$$\text{Atenuação} = (\text{NRR} \times 0,75) - 7$$

$$\text{Atenuação} = (25 \times 0,75) - 7$$

$$\text{Atenuação} = \mathbf{12 \text{ dB(A)}}$$

**c) Modelo Z, da DURÁVEIS - NRR de 25 dB**

$$\text{Atenuação} = (\text{Rc} \times 0,75) - 7$$

$$\text{Atenuação} = (25 \times 0,75) - 7$$

$$\text{Atenuação} = \mathbf{12 \text{ dB(A)}}$$

Analisando os valores dos NRRc, fica a dúvida se realmente os Protetores Auditivos protegem os usuários quando em atividades nos diversos ambientes ruidosos.

### 5.2.3 Aplicação do Método Longo

O primeiro passo para estimar a atenuação oferecida por este método, explicado no Capítulo 4 (4.2.3), foi realizado um levantamento de níveis de ruído por faixa de frequência de todos os ambientes onde os empregados trabalham. O número de avaliações ficou condicionado à homogeneidade dos ambientes. O anexo **A** mostra este levantamento, com o cálculo da análise espectral média, com valores em dB e dB(A), assim configurado:

- a) Tabela A1: Usina Hidrelétrica **A**
- b) Tabela A2: Usina Hidrelétrica **B**
- c) Tabela A3: Usina Hidrelétrica **C**
- d) Tabela A4: Usina Termelétrica **D**
- e) Tabela A5: Conversora de Frequência de 50/60 Hz **E**

Com a análise espectral média de cada ambiente de trabalho, mais as informações das atenuações fornecidas pelos fabricantes (tabela 5.1), foi calculada a atenuação esperada dos Protetores Auditivos pelo “Método Longo”. As tabelas B1 a B15, no ANEXO **B**, mostram o desenvolvimento dos cálculos. A tabela 5.2, abaixo, encontram-se os resultados da aplicação deste método.

TABELA 5.2: Atenuação dos Protetores Auditivos estimado pelo “Método Longo”

Ambiente Avaliado	Protetores Auditivos Tipo Concha		
	REAL Modelo X	MSA Modelo Y	DURÁVEIS Modelo Z
Usina <b>A</b>	11,3	22,3	23,7
Usina <b>B</b>	9,3	20,8	21,9
Usina <b>C</b>	15,4	24,2	26,2
Usina <b>D</b>	19,1	27,4	31,7
Conversora <b>E</b>	15,5	23,5	25,6
<b>Valor médio (dB)</b>	<b>15</b>	<b>24</b>	<b>27</b>

Pelos valores obtidos pelo “Método Longo”, levando em consideração a análise espectral dos ambientes de trabalho, o valor final pode resultar até acima do NRR. A análise dos dados leva à conclusão de que esse método é mais confiável do que se empregar diretamente o NRR como valor único e absoluto de proteção auditiva.

#### 5.2.4 Aplicação do Método “Microphone in Real-Ear – MIRE”

As medições em campo, em tempo real, foram realizadas com dois dosímetros de ruído, sendo um microfone posicionado dentro da concha e outro externamente, no mesmo ouvido (direito ou esquerdo), com ligação simultânea. As figuras 5.3, 5.4, 5.5 e 5.6, mostram a instalação dos dosímetros no trabalhador e a posição do microfone dentro e fora da concha.

Foram realizadas 70 medições, correspondendo 100% dos empregados que utilizavam Protetores Tipo Concha, com idade média de 40 anos, sendo todos do sexo masculino.

Para levantamento dos dados, foram adotados os seguintes procedimentos:

- a) Ligação simultânea dos dosímetros somente a partir de níveis de ruído acima de 85 dB(A) no ambiente.
- b) O tempo de medição correspondeu ao tempo que o trabalhador levava para completar um ciclo de trabalho, ou seja, passar por todos os ambientes de trabalho onde foram realizadas as medições espectrais de ruído, conforme tabelas de A1 a A5, no ANEXO A. O tempo de medição por empregado variou de 15 a 30 minutos.
- c) Os empregados foram orientados na colocação do uso do Protetor Auditivo, em atendimento à legislação trabalhista. Todos os empregados tiveram palestras sobre Conservação Auditiva com duração de duas horas.
- d) A medição foi supervisionada e mantendo-se a conversa com os empregados, simulando uma situação mais próxima da real. Durante as

atividades, os empregados normalmente conversam e as movimentações dos maxilares podem influenciar na atenuação do protetor auditivo.

Figura 5.3: Instalação dos Dosímetros [Foto do autor].



Figura 5.4: Posição dos Microfones [Foto do autor].



Figura 5.5: Dosímetros da Simpson [Foto do autor].



Figura 5.6: Posição do Microfone [Foto do autor].



Todos os valores medidos em situação real em campo foram organizados por local de trabalho e estão apresentados nas tabelas de C1 a C5, ANEXO C.

Para haver a possibilidade de comparar os resultados de um mesmo número de amostras, foram selecionadas 10 amostras de cada modelo de Protetor Auditivo, conforme mostrado na tabela D1, do ANEXO D, e calculado o valor médio, obtendo-se os seguintes resultados:

- a) REAL, Modelo X, : **12 dB(A)**
- b) MSA, Modelo Y: **21 dB(A)**
- c) DURÁVEIS, Modelo Z: **18 dB(A)**

Observa-se que diferença das atenuações dos Protetores Tipo Concha da MSA e DURÁVEIS foram de 3 dB(A). Berger [33], após analisar resultados obtidos com Protetores Auditivos em 8 laboratórios norte-americanos, concluiu que diferentes até 3 dB não representam indicativo confiável de escolha. Neste sentido, as atenuações oferecidas pelas marcas acima citadas são praticamente iguais, sendo um motivo de escolha o conforto oferecido ao usuário.

### 5.3 Resultados

Após análise de todos os dados e tratamento das informações, a comparação entre os níveis de atenuação dos três modelos de Protetores Auditivos Tipo Concha está representada na tabela 5.3, constando o NRR de cada protetor fornecido pelo fabricante, o NRRc seguindo as recomendações na NIOSH, a atenuação dos protetores estimada pelo “Método Longo” e a avaliação em situação real em campo pelo “Método MIRE”.

Tabela 5.3: Dados dos níveis de atenuação Protetores Auditivos para diferentes métodos

Protetores Auditivos	COMPARAÇÃO ENTRE NÍVEIS DE ATENUAÇÃO			
	NRR	NRRc	Método Longo	Método MIRE
REAL Modelo X	17	6	15	12
MSA Modelo Y	25	12	24	21
DURÁVEIS Modelo Z	25	12	27	18



## 6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

### 6.1 Conclusão

Analisando as informações da tabela 5.3, o NRR não deve ser considerado como um número único e absoluto de atenuação de Protetores Auditivos, uma vez que os componentes espectrais de ruído dos ambientes de trabalho, dependendo do processo industrial, são diferentes dos utilizados (ruído rosa) no cálculo do NRR.

Se, por um lado, o NRR superestima o valor de atenuação, o NRRc (NRR corrigido pelo fator da NIOSH) o subestima. O Protetor Auditivo Tipo Concha Modelo **X**, da REAL, possui um NRR de 17 dB e o NRRc de 6 dB. Os Modelos **Z**, da DURÁVEIS, e **Y**, da MSA, possuem NRR e NRRc, respectivamente, de 25 dB e 12 dB(A).

Neste sentido, o NRRc deverá ser utilizado com cautela, pois um trabalhador que esteja exposto durante 8 horas a um nível de ruído de 90 dB(A), usando o **Z**, da DURÁVEIS, ou **Y**, da MSA, estaria protegido (NPS com protetor =  $90 - 12 = 78$  dB(A)). No entanto, se estiver exposto a 98 dB(A), a situação é diferente e estará exposto a 86 dB(A), estando acima do limite, que é de 85 dB(A).

As atenuações estimadas, quando calculadas pelo “Método Longo”, embora se aproximem dos NRRs, não devem ser consideradas como superestimadas. Uma variação para mais poderá ocorrer devido aos componentes espectrais de ruído dos ambientes de trabalho. A atenuação estimada por esse método é mais confiável e pode ser utilizada para seleção de Protetores Auditivos, uma

vez que contempla as peculiaridades de cada ambiente de trabalho e as características do protetor utilizado pelo usuário.

Com relação às atenuações avaliadas pelo “Método MIRE”, os Protetores Auditivos Tipo Concha apresentaram os seguintes resultados: modelo **X**, da REAL: 12 dB(A); modelo **Y**, da MSA: 21 dB(A) e modelo **Z**, da DURÁVEIS: 18 dB(A).

Calculando-se a exposição média, sem proteção auditiva, dos trabalhadores das cinco áreas operacionais em 97 dB(A) (Leq externo - Tabelas C1 a C5, do ANEXO C), e sendo as exposições iguais ou maiores a 95 dB(A) consideradas de risco alto [32], a seleção de Protetores Auditivos deve ser feita com restrições. Para os três tipos de protetores avaliados, desde que ajustados, o modelo **X**, da REAL, reduziria os níveis de ruído para de 85 dB(A) (NPS com protetor =  $97 - 12 = 85$  dB(A)); o modelo **Y**, da MSA, para 76 dB(A) e o modelo **Z**, da DURÁVEIS, para 79 dB(A).

Considerando que níveis de ruído acima de 80 dB(A), dependendo da suscetibilidade individual, poderá prejudicar à audição, dos três modelos avaliados, os modelos **Y** e **Z** seriam os recomendados, sendo o modelo **X** para situações específicas em ambientes com níveis de ruído de até 90 dB(A).

Observa-se que dentre os níveis de atenuação usados para prever a proteção dos usuários de equipamentos de proteção auditiva, o “Método Longo” e o “MIRE” são os que apresentam mais confiabilidade na área de conservação auditiva. Entende-se que, caso fique comprovado por exames audiométricos a não ocorrência de Perda Auditiva Induzida pelo Ruído (PAIR) ou agravamento, os Protetores Auditivos Tipo Concha são considerados adequados para proteção da audição.

Descreve-se, abaixo, alguns passos que devem ser observados para adequação de Protetores Auditivos, visando atender à legislação vigente em matéria de Segurança e Higiene do Trabalho:

- a) Realizar mapeamento dos níveis de ruído dos diversos ambientes de trabalho, com análise espectral em banda de 1/1 de oitava, de todas as áreas ruidosas e calculando a análise espectral média representativa da área operacional.
- b) Levantamento das exposições, em termos de “Leq”, dos trabalhadores de forma individual ou por grupo homogêneo de exposição, separando-os por intervalos de classes e grau de risco [32], conforme abaixo:
  - b.1) **Risco Mínimo:** nível de exposição abaixo de 80 dB(A). Protetores Auditivos requeridos, sem restrição de escolha.
  - b.2) **Risco Baixo:** nível de exposição entre 80 a 85 dB(A). Protetores Auditivos requeridos sem restrição de escolha, porém recomendados.
  - b.3) **Risco Moderado:** nível de exposição entre 86 a 90 dB(A). Protetores Auditivos requeridos com alguma restrição de escolha. Monitoramento individual e ações de controle de ruído são recomendados.
  - b.4) **Risco Elevado:** nível de exposição entre 91 a 95 dB(A). Protetores Auditivos requeridos com escolha limitada. Monitoramento individual e ações de controle de níveis de ruído são obrigatórios.
  - b.5) **Risco Alto:** nível de exposição acima de 95 dB(A). Protetores Auditivos requeridos com escolha bastante limitada e rigorosa para exposição acima

de 100 dB(A). Monitoramento individual e ações de controle de ruído são obrigatórios e imediatos. Uso de dupla proteção (Protetor Tipo Concha e “Plug”) para exposições continuada acima de 100 dB(A), podendo ser necessária a diminuição do tempo de exposição, mesmo com protetor.

- c) Embora a legislação estabeleça exames audiométricos aos empregados expostos a níveis de ruído acima de 85 dB(A), recomenda-se acima de 80 dB(A).
- d) Estabelecer uma redução acústica mínima dos protetores a serem selecionados, para atenuar os níveis de ruído a valores abaixo de 85 dB(A) e, preferencialmente, abaixo de 80 dB(A).
- e) Realizar uma seleção preliminar de, no mínimo, três a cinco Protetores Auditivos pelo NRR, verificando a eficiência de atenuação dos protetores pelo “Método Longo”.
- f) Se a redução for necessária para proteção do trabalhador, este deverá escolher um dos modelos que ofereça mais conforto durante o uso, devendo ser instruídos individualmente ou em grupo sobre a importância do Protetor Auditivo na conservação da audição, bem como sua manutenção e conservação.
- g) Para os trabalhadores expostos a níveis de ruído acima de 95 dB(A), em termos de “Leq”, deve-se verificar a atenuação do Protetor Auditivo pelo “Método MIRE”. Se a atenuação reduzir os níveis de ruído aos valores especificados, o protetor estará adequado e atende a legislação vigente.

---

Caso contrário, deverá ser escolhido um outro modelo e refazer novamente o processo.

- h) Realizar semestralmente ou anualmente, exames audiométricos dos trabalhadores expostos. Caso fique comprovada a conservação da capacidade auditiva, descontando-se a perda por “Presbiacusia” e por motivos não relacionados ao trabalho, conclui-se que as medidas preventivas estão corretas e adequadas.

## 6.2 Recomendações para Trabalhos Futuros

Sugere-se que, em trabalhos futuros, os seguintes itens sejam pesquisados:

- a) A atenuação avaliada pelos Métodos Longo e MIRE deve ser comparada com o NRRsf, calculada para dados obtidos de ensaios com a norma ANSI S 12.6/1997, método B. O NRRsf é um valor mais indicado e representativo da situação real, pois nos ensaios de laboratórios, o critério de colocação do Protetor Auditivo é feito pelo indivíduo ensaiado sem interferência, sem orientação do supervisor e a colocação do protetor seguindo somente as instruções do fabricante.
  
- b) Estudar e comparar a atenuação de Protetores Auditivos Tipo Concha pelo “Método MIRE” em campo e laboratório, utilizando equipamentos que medem por faixa de frequência de 1/1 de oitava, visando melhor comparação com os dados de atenuação fornecidos pelos fabricantes de equipamentos de proteção auditiva.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BRASIL. Consolidação das Leis do Trabalho. **Segurança e Medicina do Trabalho**. 47 ed. São Paulo: Atlas, 2000. 665 p.
- [2] BRASIL. Tribunal Superior do Trabalho. O simples fornecimento do aparelho de proteção pelo empregador não o exime do pagamento do adicional de insalubridade, cabendo-lhe tomar as medidas que conduzam à diminuição ou eliminação da nocividade, dentre as quais as relativas ao uso efetivo do equipamento pelo empregado. (Res. 22/1988 DJ 24-03-1988). CLT, arts. 8º, 9º, 157, 191 e 192 - CPC, arts. 476 a 479 RI-TST, art. 179 - IUJ-RR nº 4016/86, DJ08-05-1987.
- [3] MARTINS, Sergio Pinto. **Legislação Previdenciária**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 1999. 273 p.
- [4] BRASIL. Ministério da Previdência e Assistência Social. **Instrução Normativa Nº 49**, maio 2001. Diário Oficial da União, 14 de maio de 2001, p.186.
- [5] COSTA, E.A. & KITAMURA, S. Patologia do Trabalho Segundo Aparelho ou Sistema: órgãos dos sentidos: audição. In: MENDES, R.(Org). **Patologia do Trabalho**. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Atheneu, 1995.
- [6] OSHA (1983). "**Occupational Noise Exposure**; Hearing Conservation Amendment; Final Rule," Occupational Safety and Health Administration, 29CFR1910.95 Fed. Regist. 48(46), 9738-9785.
- [7] CASALI, John G. MAUNEY, Daniel W., BURKS, J. Alton. Physical vs. Psychophysical Measurement of Hearing Protector Attenuation – a k. a MIRE vs. REAT. **Sound and Vibration**, USA, july 1995, p.20-27.
- [8] CASALI, John G., LAM, Siu T. Effects of User Instructions on Earmuff/Earcap Sound Attenuation. **Sound and Vibration**, USA, may 1986, p.22-28.
- [9] GOFF, Richard J., BLANCK William J. A Field Evaluation of MUFF Type Hearing Protection Devices. **Sound and Vibration**, USA, October 1984, p.16-22.
- [10] CASALI, John G., PARK, Min-Yong. Laboratory versus Field Attenuation of Selected Hearing Protectors. **Sound and Vibration**, USA, october 1991, p. 28-38.
- [11] PARK, Min-Yong; CASALI, John.G. A controlled investigation of in-field attenuation performance of selected insert, earmuff and canal cap hearing protectors. **Human Factors**, USA, 1991, p. 693-714.
- [12] LEMPert, Barry L. Compedium of Hearing Protection Devices. **Sound and Vibration**, USA, may 1984, p.26-39.

- [13] BERGER, Elliott H.; Nixon, Charles W. **Hearing Protection Devices**. In: CYRIL M. HARRIS. **Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control USA**: Acoustical Society of America, 1998, p. 21.1-21.14.
- [14] JONES, Dylan M., BROADBENT, Donald E. Human Performance and Noise. In: CYRIL M. HARRIS. **Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control USA**: Acoustical Society of America, 1998, p.24.1-24.23.
- [15] Acústica e Vibração. **Revista da Sociedade Brasileira de Acústica**, Florianópolis, v.13, n.13, p. 26-60, julho 1994.
- [16] BERGER, Elliott H. **E.A.Rlog1**, The Threshold Shift Method of Measuring Hearing Protector Attenuation.
- \_\_\_\_\_. **E.A.Rlog2**, Single Number Measures of Hering Protector Noise Reduction.
- \_\_\_\_\_. **E.A.Rlog8,9,10**, Perguntas e Queixas referentes à Audição e Protetores Auriculares.
- \_\_\_\_\_. **E.A.Rlog17**, Infecção Auditiva e o uso do Protetor. Revista da SOBRAC nº 12, junho 1993.
- [17] CASALI, John G. **Curso Internacional sobre Proteção Auditiva**. São Paulo, 1996, 165 p.
- [18] BERGER, Elliott H. Motivando os Trabalhadores a Usar Dispositivos de Proteção Auditiva. **Revista da Sociedade Brasileira de Acústica**, nº 11, Out. 1992, p.02-08.
- [19] CASALI, John G., BERGER, Elliott H. Technology Advancements in Hearing Protection circa 1995: Active Noise Reduction, Frequency/Amplitude-Sensibility, and Uniform Attenuation. **American Ind. Hygiene Assoc. Journal**, USA, 1996, p.175-185.
- [20] BAUMAN, Kathleen., MARSTON, Larry E. Effects of Hearing Protection on Speech Intelligibility in Noise. **Sound and Vibration**, USA, october 1986, p.12-14.
- [21] ROYSTER, Larry H. Recommendations for the Labeling of Hearing Protectors. **Sound and Vibration**, USA, july 1995, p. 16-19.
- [22] CASALI John G., GRESELL James F. Noise-Attenuating Earmuff Comfort: A Brief Review and Investigation of Band-Force, Cushion, and Wearing-Time Effects. **Applied Acoustics**, USA, 1990, p.117-138.
- [23] CASALI, john G., PARK, Min-Yong. Effects of Work condicions simulated in a Laboratory environment and wearer fit on attenuation of slow-recovery foam earplugs. **Journal of Sound and Vibration**, USA, january 1990, p.153-165.



- [24] CASALI, John G., PARK, Min-Yong. Attenuation Performance of Four Hearing Protectors under Dynamic Movement and Different User Fitting Conditions. **Human Factors**, USA, february 1990, p.9-25.
- [25] Guerra ao Ruído. **Revista Proteção**, São Paulo, v. 8, n. 33, p. 16-22, set.1994.
- [26] Análise de EPIs. **Revista Proteção**, São Paulo, v. 8, n. 33, p. 24-25, set.1994.
- [27] BERGER, Elliott H. E-A-Rlog20, **The Naked Truth About NRRs, E.A.R/Hearing Protection Products**, Indianápolis - IN, 1993.
- [28] SEMINÁRIO INTERNACIONAL. 2001, São Paulo. **Protetores Auditivos**, Centro de Convenções Rebouças, 159 p.
- [29] GERGES, Samir N.Y. **Ruído Fundamentos e controle**. 2. ed. Florianópolis: NR, 2000. 696 p.
- [30] GUYTON, Arthur C. **Fisiologia Humana**. 6. ed. Rio de Janeiro: Afiliada, 1988. 564 p.
- [31] RENÉ, Mendes. **Patologia do Trabalho**. 1.ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 1995. 643 p.
- [32] NEPOMUCENO, José Augusto. **Protetores Auditivos Individuais**. 2.ed. São Paulo: Acústica & Sônica, 1996. 114 p.
- [33] BERGER, Elliott H, et al. **The Noise Manual**. 5. ed. USA: AIHA Press, 2000. 796 p.
- [34] RIFFEL, Germano. Desenvolvimento de um sistema para medição e avaliação da atenuação dos protetores auditivos: Estudo de caso comparativo em laboratório e em campo. Tese (Doutorado) - Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 217 p, 2001.
- [35] FUNDACENTRO. **Avaliação da Exposição Ocupacional ao Ruído: NHT – 06 R/E**. São Paulo, 1984. 17p.

Tabela A1: Análises espectrais de ruído em banda de 1/1 de oitava em vários ambientes trabalho da Usina Hidrelétrica "A" e valor médio.

Ponto Medição	NPS	Frequência [Hz]										Total
		31,5	63	125	250	500	1 K	2 K	4 K	8 K	16 K	
1	dB	85,5	81,1	84,2	76,4	70,4	65,7	61,0	54,0	51,2	0,0	89,1
2		89,4	88,6	86,2	81,3	78,6	74,8	69,7	64,4	49,6	0,0	93,5
3		78,2	83,9	84,4	82,4	75,7	71,7	70,7	66,4	58,8	43,2	89,2
4		84,4	86,8	90,7	88,2	84,2	80,2	77,1	69,2	59,8	47,4	94,8
5		88,0	93,4	98,8	95,4	93,9	90,7	85,4	80,7	68,7	54,4	102,5
6		95,6	97,5	99,5	96,8	98,2	94,4	90,1	84,1	74,1	60,7	105,3
7		87,5	90,5	91,8	90,8	86,6	84,1	83,0	76,2	66,5	49,7	97,3
8		89,2	91,0	93,0	89,2	85,9	85,3	86,5	80,9	75,2	67,4	98,0
Valor Médio	dB	89,6	91,7	94,4	91,5	91,1	87,7	84,2	78,4	69,6	59,5	99,4
	dB(A)	50,2	65,5	78,3	82,6	87,9	87,7	85,4	79,4	68,5	52,9	<b>92,8</b>

Tabela A2: Análises espectrais de ruído em banda de 1/1 de oitava em vários ambientes de trabalho da Usina Hidrelétrica "B" e valor médio.

Ponto Medição	NPS	Frequência [Hz]										Total
		31,5	63	125	250	500	1 K	2 K	4 K	8 K	16 K	
1	dB	88,6	83,0	82,0	74,8	63,1	54,0	46,2	39,1	33,0	0,0	89,6
2		90,4	94,2	95,4	85,7	81,2	77,4	73,2	65,1	53,0	0,0	98,6
3		90,8	91,0	91,6	86,6	84,6	82,1	75,2	66,0	52,7	0,0	97,7
4		86,3	90,6	94,0	89,6	86,4	82,8	78,2	72,0	63,0	53,3	99,4
5		88,2	91,4	95,8	98,4	99,6	94,8	88,9	85,0	77,4	68,4	105,4
6		91,0	98,3	103,0	96,0	92,2	85,1	77,1	70,0	59,8	0,0	105,4
7		83,0	88,6	89,8	84,2	77,0	69,0	61,7	53,3	41,8	0,0	93,6
Valor Médio	dB	89,0	93,0	96,6	92,7	92,2	87,3	81,3	77,0	69,2	60,1	100,7
	dB(A)	49,6	66,8	80,5	83,8	89,0	87,3	82,5	78,0	68,1	53,5	<b>92,9</b>

Tabela A3: Análises espectrais de ruído em banda de 1/1 de oitava em vários ambientes de trabalho da Usina Hidrelétrica "C" e valor médio.

Ponto Medição	NPS	Frequência [Hz]										Total
		31,5	63	125	250	500	1 K	2 K	4 K	8 K	16 K	
1	dB	88,5	87,8	88,0	90,8	85,8	81,4	76,2	69,8	60,1	46,3	95,5
2		87,4	85,0	92,6	94,6	85,5	86,0	81,6	76,6	64,6	48,5	98,7
3		81,6	83,1	87,6	90,4	86,4	84,4	83,0	78,1	73,4	60,1	94,8
4		89,2	87,8	93,0	97,3	95,7	92,1	86,8	79,3	71,0	58,4	101,6
5		87,8	91,6	94,2	99,8	100,2	97,4	94,0	87,6	79,8	69,6	105,1
6		79,8	81,5	85,6	88,9	85,1	82,4	80,3	71,4	65,5	52,4	93,8
7		82,2	84,0	87,8	89,4	86,7	85,9	86,2	82,4	79,7	69,0	95,2
8		77,6	78,6	89,7	92,2	88,4	83,3	80,6	74,6	66,4	55,1	96,9
Valor Médio	dB	86,0	86,6	90,8	94,7	93,2	90,4	87,0	81,0	74,7	63,8	99,5
	dB(A)	46,6	60,4	74,7	85,8	90,0	90,4	88,2	82,0	73,6	57,2	<b>95,2</b>

Tabela A4: Análises espectrais de ruído em banda de 1/1 de oitava em vários ambientes de trabalho da Usina Termelétrica "D" e valor médio.

Ponto Medição	NPS	Frequência [Hz]										Total
		31,5	63	125	250	500	1 K	2 K	4 K	8 K	16 K	
1	dB	77,8	85,0	76,0	73,4	77,7	71,1	72,6	67,8	63,6	54,1	89,5
2		77,1	85,6	76,5	72,7	77,4	70,1	71,3	67,0	62,5	53,0	88,2
3		82,8	90,8	83,1	85,7	93,6	88,3	89,8	80,6	78,1	70,8	96,8
4		83,8	87,9	85,2	87,6	87,0	85,0	83,2	81,4	75,3	64,8	95,5
5		82,6	90,1	81,4	82,5	89,5	88,0	86,2	80,2	76,5	71,6	95,8
6		81,7	90,6	83,2	84,9	93,1	92,4	89,3	83,5	76,4	74,4	97,7

Valor Médio	dB	81,6	88,9	82,1	83,9	89,9	87,5	86,1	79,9	75,0	69,8	95,1
	dB(A)	42,2	62,7	66,0	75,0	86,7	87,5	87,3	80,9	73,9	63,2	92,5

Tabela A5: Análises espectrais de ruído em banda de 1/1 de oitava em vários ambientes de trabalho da Conversora de Frequência "E" e valor médio.

Ponto Medição	NPS	Frequência [Hz]										Total
		31,5	63	125	250	500	1 K	2 K	4 K	8 K	16 K	
1	dB	70,1	90,8	62,8	66,2	63,6	58,6	48,6	44,2	35,9	27,2	79,5
2		72,3	61,5	68,6	66,8	64,4	61,6	57,1	52,4	44,8	32,7	83,3
3		70,6	60,5	68,6	70,5	71,6	60,8	57,4	57,5	53,0	43,6	83,0
4		73,6	80,2	88,3	97,2	95,8	84,8	83,1	81,9	80,1	75,2	99,2
5		82,0	83,4	86,5	91,6	91,0	89,1	81,3	74,6	66,1	54,5	98,0
6		88,4	87,0	87,3	90,4	86,9	87,4	83,6	75,0	62,3	50,9	97,2

Valor Médio	dB	81,8	85,3	84,5	91,1	89,7	84,4	79,8	75,6	72,6	67,5	95,3
	dB(A)	42,4	59,1	68,4	82,2	86,5	84,4	81,0	76,6	71,5	60,9	90,3

Tabela B1: Estimativa da atenuação esperada pelo "Método Longo" do Protetor Auditivo, Marca REAL, Modelo "X", NRR de 17 dB, na Usina Hidrelétrica "A"

Ponto	Descrição	Frequência [Hz]							Total
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	NPS dB LIN	94,4	91,5	91,1	87,7	84,2	78,4	69,6	98,1
2	Correção Ponderação A	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0	-1,1	
3	NPS em dB(A)	78,3	82,9	87,9	87,7	85,4	79,4	68,5	<b>92,8</b>
4	Atenuação do EPI	1,0	16,0	22,0	26,0	42,0	39,0	42,0	
5	Desvio Padrão (DP)	1,7	1,5	2,3	2,3	3,1	1,7	1,7	
6	DP com 98% de confiança	3,4	3	4,6	4,6	6,2	3,4	3,4	
7	NPS de Proteção dB(A)	<b>80,7</b>	<b>69,9</b>	<b>70,5</b>	<b>66,3</b>	<b>49,6</b>	<b>43,8</b>	<b>29,9</b>	<b>81,5</b>
8	Atenuação Esperada do EPI =							<b>11,3</b>	dB(A)

Tabela B2: Estimativa da atenuação esperada pelo "Método Longo" do Protetor Auditivo, Marca MSA, Modelo "Y", NRR de 25 dB, na Usina Hidrelétrica "A"

Ponto	Descrição	Frequência [Hz]							Total
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	NPS dB LIN	94,4	91,5	91,1	87,7	84,2	78,4	69,6	98,1
2	Correção Ponderação A	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0	-1,1	
3	NPS em dB(A)	78,3	82,9	87,9	87,7	85,4	79,4	68,5	<b>92,8</b>
4	Atenuação do EPI	15,5	21,5	29,1	37,3	36,7	34,5	33,2	
5	Desvio Padrão (DP)	2,4	1,6	1,7	2,9	2,9	3,6	3,5	
6	DP com 98% de confiança	4,8	3,2	3,4	5,8	5,8	7,2	7	
7	NPS de Proteção dB(A)	<b>67,6</b>	<b>64,6</b>	<b>62,2</b>	<b>56,2</b>	<b>54,5</b>	<b>52,1</b>	<b>42,3</b>	<b>70,5</b>
8	Atenuação Esperada do EPI =							<b>22,3</b>	dB(A)

Tabela B3: Estimativa da atenuação esperada pelo "Método Longo" do Protetor Auditivo, Marca DURÁVEIS, Modelo "Z", NRR de 25 dB, na Usina Hidrelétrica "A"

Ponto	Descrição	Frequência [Hz]							Total
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	NPS dB LIN	94,4	91,5	91,1	87,7	84,2	78,4	69,6	98,1
2	Correção Ponderação A	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0	-1,1	
3	NPS em dB(A)	78,3	82,9	87,9	87,7	85,4	79,4	68,5	<b>92,8</b>
4	Atenuação do EPI	15,4	20,3	36,6	46,4	48,0	32,5	35,3	
5	Desvio Padrão (DP)	2,2	0,6	1,1	2,3	3,7	2,2	1,7	
6	DP com 98% de confiança	4,4	1,2	2,2	4,6	7,4	4,4	3,4	
7	NPS de Proteção dB(A)	<b>67,3</b>	<b>63,8</b>	<b>53,5</b>	<b>45,9</b>	<b>44,8</b>	<b>51,3</b>	<b>36,6</b>	<b>69,1</b>
8	Atenuação Esperada do EPI =							<b>23,7</b>	dB(A)

Tabela B4: Estimativa da atenuação esperada pelo "Método Longo" do Protetor Auditivo, Marca REAL, Modelo "X", NRR de 17 dB, na Usina Hidrelétrica "B"

Ponto	Descrição	Frequência [Hz]							Total
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	NPS dB LIN	96,6	92,7	92,2	87,3	81,3	77,0	69,2	99,5
2	Correção Ponderação A	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0	-1,1	
3	NPS em dB(A)	80,5	84,1	89,0	87,3	82,5	78,0	68,1	<b>92,9</b>
4	Atenuação do EPI	1,0	16,0	22,0	26,0	42,0	39,0	42,0	
5	Desvio Padrão (DP)	1,7	1,5	2,3	2,3	3,1	1,7	1,7	
6	DP com 98% de confiança	3,4	3	4,6	4,6	6,2	3,4	3,4	
7	NPS de Proteção dB(A)	<b>82,9</b>	<b>71,1</b>	<b>71,6</b>	<b>65,9</b>	<b>46,7</b>	<b>42,4</b>	<b>29,5</b>	<b>83,5</b>
8	Atenuação Esperada do EPI =							<b>9,3</b>	dB(A)

Tabela B5: Estimativa da atenuação esperada pelo "Método Longo" do Protetor Auditivo, Marca MSA, Modelo "Y", NRR de 25 dB, na Usina Hidrelétrica "B"

Ponto	Descrição	Frequência [Hz]							Total
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	NPS dB LIN	96,6	92,7	92,2	87,3	81,3	77,0	69,2	99,5
2	Correção Ponderação A	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0	-1,1	
3	NPS em dB(A)	80,5	84,1	89,0	87,3	82,5	78,0	68,1	<b>92,9</b>
4	Atenuação do EPI	15,5	21,5	29,1	37,3	36,7	34,5	33,2	
5	Desvio Padrão (DP)	2,40	1,60	1,70	2,90	2,90	3,60	3,50	
6	DP com 98% de confiança	4,8	3,2	3,4	5,8	5,8	7,2	7	
7	NPS de Proteção dB(A)	<b>69,8</b>	<b>65,8</b>	<b>63,3</b>	<b>55,8</b>	<b>51,6</b>	<b>50,7</b>	<b>41,9</b>	<b>72,1</b>
8	Atenuação Esperada do EPI =							<b>20,8</b>	dB(A)

Tabela B6: Estimativa da atenuação esperada pelo "Método Longo" do Protetor Auditivo, Marca DURÁVEIS, Modelo "Z", NRR de 25 dB, na Usina Hidrelétrica "B"

Ponto	Descrição	Frequência [Hz]							Total
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	NPS dB LIN	96,6	92,7	92,2	87,3	81,3	77,0	69,2	99,5
2	Correção Ponderação A	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0	-1,1	
3	NPS em dB(A)	80,5	84,1	89,0	87,3	82,5	78,0	68,1	<b>92,9</b>
4	Atenuação do EPI	15,4	20,3	36,6	46,4	48,0	32,5	35,3	
5	Desvio Padrão (DP)	2,2	0,6	1,1	2,3	3,7	2,2	1,7	
6	DP com 98% de confiança	4,4	1,2	2,2	4,6	7,4	4,4	3,4	
7	NPS de Proteção dB(A)	<b>69,5</b>	<b>65,0</b>	<b>54,6</b>	<b>45,5</b>	<b>41,9</b>	<b>49,9</b>	<b>36,2</b>	<b>71,0</b>
8	Atenuação Esperada do EPI =							<b>21,9</b>	dB(A)

Tabela B7: Estimativa da atenuação esperada pelo "Método Longo" do Protetor Auditivo, Marca REAL, Modelo "X", NRR de 17 dB, na Usina Hidrelétrica "C"

Ponto	Descrição	Frequência [Hz]							Total
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	NPS dB LIN	90,8	94,7	93,2	90,4	87,0	81,0	74,7	99,0
2	Correção Ponderação A	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0	-1,1	
3	NPS em dB(A)	74,7	86,1	90,0	90,4	88,2	82,0	73,6	<b>95,3</b>
4	Atenuação do EPI	1,0	16,0	22,0	26,0	42,0	39,0	42,0	
5	Desvio Padrão (DP)	1,7	1,5	2,3	2,3	3,1	1,7	1,7	
6	DP com 98% de confiança	3,4	3	4,6	4,6	6,2	3,4	3,4	
7	NPS de Proteção dB(A)	<b>77,1</b>	<b>73,1</b>	<b>72,6</b>	<b>69,0</b>	<b>52,4</b>	<b>46,4</b>	<b>35,0</b>	<b>79,9</b>
8	Atenuação Esperada do EPI =							<b>15,4</b>	dB(A)

Tabela B8: Estimativa da atenuação esperada pelo "Método Longo" do Protetor Auditivo, Marca MSA, Modelo "Y", NRR de 25 dB, na Usina Hidrelétrica "C"

Ponto	Descrição	Frequência [Hz]							Total
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	NPS dB LIN	90,8	94,7	93,2	90,4	87,0	81,0	74,7	99,0
2	Correção Ponderação A	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0	-1,1	
3	NPS em dB(A)	74,7	86,1	90,0	90,4	88,2	82,0	73,6	<b>95,3</b>
4	Atenuação do EPI	15,5	21,5	29,1	37,3	36,7	34,5	33,2	
5	Desvio Padrão (DP)	2,4	1,6	1,7	2,9	2,9	3,6	3,5	
6	DP com 98% de confiança	4,8	3,2	3,4	5,8	5,8	7,2	7	
7	NPS de Proteção dB(A)	<b>64,0</b>	<b>67,8</b>	<b>64,3</b>	<b>58,9</b>	<b>57,3</b>	<b>54,7</b>	<b>47,4</b>	<b>71,1</b>
8	Atenuação Esperada do EPI =							<b>24,2</b>	dB(A)

Tabela B9: Estimativa da atenuação esperada pelo "Método Longo" do Protetor Auditivo, Marca DURÁVEIS, Modelo "Z", NRR de 25 dB, na Usina Hidrelétrica "C"

Ponto	Descrição	Frequência [Hz]							Total
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	NPS dB LIN	90,8	94,7	93,2	90,4	87,0	81,0	74,7	99,0
2	Correção Ponderação A	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0	-1,1	
3	NPS em dB(A)	74,7	86,1	90,0	90,4	88,2	82,0	73,6	<b>95,3</b>
4	Atenuação do EPI	15,4	20,3	36,6	46,4	48,0	32,5	35,3	
5	Desvio Padrão (DP)	2,2	0,6	1,1	2,3	3,7	2,2	1,7	
6	DP com 98% de confiança	4,4	1,2	2,2	4,6	7,4	4,4	3,4	
7	NPS de Proteção dB(A)	<b>63,7</b>	<b>67,0</b>	<b>55,6</b>	<b>48,6</b>	<b>47,6</b>	<b>53,9</b>	<b>41,7</b>	<b>69,1</b>
8	Atenuação Esperada do EPI =							<b>26,2</b>	dB(A)

Tabela B10: Estimativa da atenuação esperada pelo "Método Longo" do Protetor Auditivo, Marca REAL, Modelo "X", NRR de 17 dB, na Usina Termelétrica "D"

Ponto	Descrição	Frequência [Hz]							Total
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	NPS dB LIN	82,1	83,9	89,9	87,5	86,1	79,9	75,0	94,0
2	Correção Ponderação A	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0	-1,1	
3	NPS em dB(A)	66,0	75,3	86,7	87,5	87,3	80,9	73,9	<b>92,4</b>
4	Atenuação do EPI	1,0	16,0	22,0	26,0	42,0	39,0	42,0	
5	Desvio Padrão (DP)	1,7	1,5	2,3	2,3	3,1	1,7	1,7	
6	DP com 98% de confiança	3,4	3	4,6	4,6	6,2	3,4	3,4	
7	NPS de Proteção dB(A)	<b>68,4</b>	<b>62,3</b>	<b>69,3</b>	<b>66,1</b>	<b>51,5</b>	<b>45,3</b>	<b>35,3</b>	<b>73,3</b>
8	Atenuação Esperada do EPI =				<b>19,1</b> dB(A)				

Tabela B11: Estimativa da atenuação esperada pelo "Método Longo" do Protetor Auditivo, Marca MSA, Modelo "Y", NRR de 25 dB, na Usina Termelétrica "D"

Ponto	Descrição	Frequência [Hz]							Total
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	NPS dB LIN	82,1	83,9	89,9	87,5	86,1	79,9	75,0	94,0
2	Correção Ponderação A	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0	-1,1	
3	NPS em dB(A)	66,0	75,3	86,7	87,5	87,3	80,9	73,9	<b>92,4</b>
4	Atenuação do EPI	15,5	21,5	29,1	37,3	36,7	34,5	33,2	
5	Desvio Padrão (DP)	2,4	1,6	1,7	2,9	2,9	3,6	3,5	
6	DP com 98% de confiança	4,8	3,2	3,4	5,8	5,8	7,2	7,0	
7	NPS de Proteção dB(A)	<b>55,3</b>	<b>57,0</b>	<b>61,0</b>	<b>56,0</b>	<b>56,4</b>	<b>53,6</b>	<b>47,7</b>	<b>65,1</b>
8	Atenuação Esperada do EPI =				<b>27,4</b> dB(A)				

Tabela B12: Estimativa da atenuação esperada pelo "Método Longo" do Protetor Auditivo, Marca DURÁVEIS, Modelo "Z", NRR de 25 dB, na Usina Termelétrica "D"

Ponto	Descrição	Frequência [Hz]							Total
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	NPS dB LIN	82,1	83,9	89,9	87,5	86,1	79,9	75,0	94,0
2	Correção Ponderação A	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0	-1,1	
3	NPS em dB(A)	66,0	75,3	86,7	87,5	87,3	80,9	73,9	<b>92,4</b>
4	Atenuação do EPI	15,4	20,3	36,6	46,4	48,0	32,5	35,3	
5	Desvio Padrão (DP)	2,2	0,6	1,1	2,3	3,7	2,2	1,7	
6	DP com 98% de confiança	4,4	1,2	2,2	4,6	7,4	4,4	3,4	
7	NPS de Proteção dB(A)	<b>55,0</b>	<b>56,2</b>	<b>52,3</b>	<b>45,7</b>	<b>46,7</b>	<b>52,8</b>	<b>42,0</b>	<b>60,8</b>
8	Atenuação Esperada do EPI =				<b>31,7</b> dB(A)				

Tabela B13: Estimativa da atenuação esperada pelo "Método Longo" do Protetor Auditivo, Marca REAL, Modelo "X", NRR de 17 dB, na Conversora de Frequência "E"

Ponto	Descrição	Frequência [Hz]							Total
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	NPS dB LIN	84,5	91,1	89,7	84,4	79,8	75,6	72,6	94,7
2	Correção Ponderação A	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0	-1,1	
3	NPS em dB(A)	68,4	82,5	86,5	84,4	81,0	76,6	71,5	<b>90,4</b>
4	Atenuação do EPI	1,0	16,0	22,0	26,0	42,0	39,0	42,0	
5	Desvio Padrão (DP)	1,7	1,5	2,3	2,3	3,1	1,7	1,7	
6	DP com 98% de confiança	3,4	3	4,6	4,6	6,2	3,4	3,4	
7	NPS de Proteção dB(A)	<b>70,8</b>	<b>69,5</b>	<b>69,1</b>	<b>63,0</b>	<b>45,2</b>	<b>41,0</b>	<b>32,9</b>	<b>74,9</b>
8	Atenuação Esperada do EPI =		<b>15,5</b> dB(A)						

Tabela B14: Estimativa da atenuação esperada pelo "Método Longo" do Protetor Auditivo, Marca MSA, Modelo "Y", NRR de 25 dB, na Conversora de Frequência "E"

Ponto	Descrição	Frequência [Hz]							Total
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	NPS dB LIN	84,5	91,1	89,7	84,4	79,8	75,6	72,6	94,7
2	Correção Ponderação A	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0	-1,1	
3	NPS em dB(A)	68,4	82,5	86,5	84,4	81,0	76,6	71,5	<b>90,4</b>
4	Atenuação do EPI	15,5	21,5	29,1	37,3	36,7	34,5	33,2	
5	Desvio Padrão (DP)	2,40	1,60	1,70	2,90	2,90	3,60	3,50	
6	DP com 98% de confiança	4,8	3,2	3,4	5,8	5,8	7,2	7	
7	NPS de Proteção dB(A)	<b>57,7</b>	<b>64,2</b>	<b>60,8</b>	<b>52,9</b>	<b>50,1</b>	<b>49,3</b>	<b>45,3</b>	<b>66,8</b>
8	Atenuação Esperada do EPI =		<b>23,5</b> dB(A)						

Tabela B15: Estimativa da atenuação esperada pelo "Método Longo" do Protetor Auditivo, Marca DURÁVEIS, Modelo "Z", NRR de 25 dB, na Conversora de Frequência "E"

Ponto	Descrição	Frequência [Hz]							Total
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	NPS dB LIN	84,5	91,1	89,7	84,4	79,8	75,6	72,6	94,7
2	Correção Ponderação A	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0	-1,1	
3	NPS em dB(A)	68,4	82,5	86,5	84,4	81,0	76,6	71,5	<b>90,4</b>
4	Atenuação do EPI	15,4	20,3	36,6	46,4	48,0	32,5	35,3	
5	Desvio Padrão (DP)	2,2	0,6	1,1	2,3	3,7	2,2	1,7	
6	DP com 98% de confiança	4,4	1,2	2,2	4,6	7,4	4,4	3,4	
7	NPS de Proteção dB(A)	<b>57,4</b>	<b>63,4</b>	<b>52,1</b>	<b>42,6</b>	<b>40,4</b>	<b>48,5</b>	<b>39,6</b>	<b>64,8</b>
8	Atenuação Esperada do EPI =		<b>25,6</b> dB(A)						



Tabela C1: Resultados das medições pelo "Método MIRE" na Usina Hidrelétrica "A"

Medições	Função	Protetor Auditivo usado pelo empregado	LEQ externo em dB(A)	LEQ interno em dB(A)
1	Op. Subchefe de Turno de Us. He	DURÁVEIS Modelo "Z"	98,9	79,8
2	Téc. de Seg. do Trabalho		92,3	73,9
3	Mecânico de Manutenção de Us. He.		101,0	83,5
4	Op. Casa de Máq./SE de Us. He.		101,4	82,6
5	Op. Casa de Máq./SE de Us. He.		102,7	86,4
6	Op. Casa de Máq./SE de Us. He.		102,7	84,2
7	Op. Casa de Máq./SE de Us. He.		94,8	83,2
8	Op. Casa de Máq./SE de Us. He.		100,0	81,7
9	Téc. Manutenção Elétrica de Us. He.	MSA Modelo "Y"	93,0	74,6
10	Op. Chefe de Turno de Usina He		92,9	75,5
11	Op. Subchefe de Turno de Us. He		90,9	75,9
12	Op. Casa de Máq./SE de Us. He.		100,7	78,2
13	Op. Casa de Máq./SE de Us. He.		97,7	79,9
14	Op. Casa de Máq./SE de Us. He.		94,9	77,0
15	Op. Casa de Máq./SE de Us. He.		93,5	77,2
16	Enc. de Apoio Adm. de Usina		91,6	72,2

Tabela C2: Resultados das medições pelo "Método MIRE" na Usina Hidrelétrica "B"

Medições	Função	Protetor Auditivo usado pelo empregado	LEQ externo em dB(A)	LEQ interno em dB(A)
17	Mecânico de Manutenção de Us. He.	REAL Modelo "X"	92,6	84,0
18	Op. Casa de Máquinas / SE Us. He.		94,5	83,9
19	Mecânico de Manutenção de Us. He.		96,0	83,2
20	Técnico de Segurança do Trabalho		90,1	78,2
21	Mecânico de Manutenção de Us. He.		95,0	87,6
22	Op. Casa de Máquinas / SE Us. He.		91,4	79,3
23	Op. Subchefe de Turno de Us. He.		95,2	85,4
24	Op. Casa de Máquinas / SE Us. He.		94,4	82,4
25	Mecânico de Manutenção de Us. He.	DURÁVEIS Modelo "Z"	97,1	82,4
26	Chefe Equipe Man. Elétrica Us. He.		97,3	80,9
27	Mecânico de Manutenção de Us. He.		92,8	72,3
28	Op. Casa de Máquinas / SE Us. He.		98,8	80,2
29	Op. Casa de Máquinas / SE Us. He.		95,8	79,6
30	Op. Subchefe de Turno de Us. He.		93,6	78,9
31	Op. Subchefe de Turno de Us. He.	MSA, Modelo "Y"	95,2	76,7
32	Técnico de Segurança do Trabalho		94,4	74,5
33	Op. Casa de Máquinas / SE Us. He.		98,2	76,4

Tabela C3: Resultados das medições pelo "Método MIRE" na Usina Hidrelétrica "C"

Medições	Função	Protetor Auditivo usado pelo empregado	LEQ externo em dB(A)	LEQ interno em dB(A)
34	Operador Casa de Controle	MSA Modelo "Y"	97,3	75,5
35	Operador Casa de Controle		96,9	69,9
36	Subchefe de Turno Op. de Us.		99,6	74,4
37	Operador Casa de Controle		97,2	78,1
38	Chefe de Turno Op. de Us.		97,4	72,5
39	Téc. programação de Usina		97,7	74,7
40	Operador Casa de Controle		97,8	72,4
41	Operador Casa de Controle		101,0	75,8
42	Subchefe de Turno Op. de Us.		98,5	77,2
43	Op. Casa de Máquina/SE		96,8	71,0
44	Operador Casa de Controle		99,4	76,2
45	Chefe de Turno Op. de Us.		99,8	85,0

Tabela C4: Resultados das medições pelo "Método MIRE" na Usina Termelétrica "D"

Medições	Função	Protetor Auditivo usado pelo empregado	LEQ externo em dB(A)	LEQ interno em dB(A)
46	Op. Ciclo Térmico	DURÁVEIS Modelo "Z"	95,0	72,8
47	Op. Ciclo Térmico		94,0	68,7
48	Turbineiro	MSA Modelo "Y"	97,3	73,4
49	Téc. Man. Us. Te.		94,0	77,4
50	Turbineiro		95,3	70,9
51	Op. Ciclo Térmico		94,2	73,3
52	Instrumentista		98,0	79,7
53	Operador		94,3	67,9
54	Op. Ciclo Térmico		97,6	75,3
55	Op. Ciclo Térmico		92,5	72,1

Tabela C5: Resultados das medições pelo "Método MIRE"  
na Conversora de Frequência "E" de 50/60 Hz

Medições	Função	Protetor Auditivo usado pelo empregado	LEQ externo em dB(A)	LEQ interno em dB(A)
56	Op. Chefe de Turno	REAL, Modelo "X"	96,8	84,1
57	Op. Auxiliar de Turno		96,9	81,1
58	Op. Chefe de Turno		95,5	84,1
59	Op. Chefe de Turno	DURÁVEIS Modelo "Z"	96,9	82,7
60	Op. Auxiliar de Turno		99,6	81,3
61	Op. Chefe de Turno	MSA Modelo "Y"	97,3	77,9
62	Op. Chefe de Turno		96,9	83,2
63	Op. Chefe de Turno		96,2	72,2
64	Op. Auxiliar de Turno		96,2	82,4
65	Op. Chefe de Turno		96,9	70,6
66	Op. Auxiliar de Turno		95,7	72,1
67	Op. Auxiliar de Turno		98,1	80,5
68	Op. Chefe de Turno		100,1	81,3
69	Op. Auxiliar de Turno		96,5	78,1
70	Op. Auxiliar de Turno		96,4	84,1

Tabela D1: Valor médio das medições pelo "Método MIRE" para os três modelos de Protetores Auditivos Tipo Concha, com 10 amostras por protetor

Medições	Função	Protetor Auditivo usado pelo empregado	LEQ externo em dB(A)	LEQ interno em dB(A)	Atenuação Real do Protetor Auditivo
1	Mecânico de Manutenção de Us. He.	REAL Modelo "X"	92,6	84,0	12
2	Op. Casa de Máquinas / SE Us. He.		94,5	83,9	
3	Mecânico de Manutenção de Us. He.		96,0	83,2	
4	Técnico de Segurança do Trabalho		90,1	78,2	
5	Op. Casa de Máquinas / SE Us. He.		91,4	79,3	
6	Op. Subchefe de Turno de Us. He.		95,2	85,4	
7	Op. Casa de Máquinas / SE Us. He.		94,4	82,4	
8	Op. Chefe de Turno		96,8	84,1	
9	Op. Auxiliar de Turno		96,9	81,1	
10	Op. Chefe de Turno		95,5	84,1	
<b>Valor médio dB(A)</b>			<b>94,6</b>	<b>82,9</b>	
11	Op. Subchefe de Turno de Us. He	DURÁVEIS Modelo "Z"	98,9	79,8	18
12	Téc. de Seg. do Trabalho		92,3	73,9	
13	Op. Casa de Máquinas / SE Us. He.		95,8	79,6	
14	Op. Subchefe de Turno de Us. He.		93,6	78,9	
15	Op. Ciclo Térmico		95,0	72,8	
16	Op. Ciclo Térmico		94,0	68,7	
17	Op. Auxiliar de Turno		99,6	81,3	
18	Op. Casa de Máq./SE de Us. He.		100,0	81,7	
19	Op. Casa de Máq./SE de Us. He.		101,4	82,6	
20	Mecânico de Manutenção de Us. He.		101,0	83,5	
<b>Valor médio dB(A)</b>			<b>98,2</b>	<b>80,0</b>	
21	Op. Casa de Máq./SE de Us. He.	MSA Modelo "Y"	100,7	78,2	21
22	Op. Auxiliar de Turno		96,5	78,1	
23	Op. Casa de Máq./SE de Us. He.		94,9	77,0	
24	Técnico de Segurança do Trabalho		94,4	74,5	
25	Op. Casa de Máquinas / SE Us. He.		98,2	76,4	
26	Operador Casa de Controle		97,3	75,5	
27	Operador Casa de Controle		101,0	75,8	
28	Op. Ciclo Térmico		94,2	67,9	
29	Op. Ciclo Térmico		97,6	75,3	
30	Op. Chefe de Turno		100,1	81,3	
<b>Valor médio dB(A)</b>			<b>98,1</b>	<b>77,0</b>	