

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**ESTIMATIVA DE EXPOSIÇÕES NÃO CONTÍNUAS A RUÍDO:
Desenvolvimento de um método e validação na Construção Civil**

Paulo Alves Maia

Campinas - SP
2001

UNICAMP

**UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS (UNICAMP)
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

ESTIMATIVA DE EXPOSIÇÕES NÃO CONTÍNUAS A RUÍDO:
Desenvolvimento de um método e validação na Construção Civil

Paulo Alves Maia

Orientador: Profa. Dra. Stelamaris Rolla Bertoli

Tese de Doutorado apresentada à Comissão de pós graduação da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil, na área de concentração de Saneamento

Campinas - SP
2001

Atesto que esta é a versão definitiva da dissertação/tese.	
Prof. Dr.	<i>Stelamaris Rolla Bertoli</i>
Matrícula:	<i>21588-L</i>

19/12/01

UNIDADE	80
Nº CHAMADA	T/UNICAMP
	M28e
V	EV
TOMPO	48076
PREÇO	16.837102
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	11/04/02
Nº CPD	

CM00165775-3

3 ID 235904

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

M28e

Maia, Paulo Alves

Estimativa de exposições não contínuas a ruído:
desenvolvimento de um método e validação na
construção civil. / Paulo Alves Maia.--Campinas, SP:
[s.n.], 2001.

Orientadora: Stelamaris Rolla Bertoli

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil.

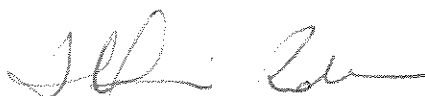
1. Ruído industrial. 2. Surdez provocada por ruído.
3. Higiene industrial. 4. Trabalhadores da construção. I.
Bertoli, Stelamaris Rolla. II. Universidade Estadual de
Campinas. Faculdade de Engenharia Civil. III. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS (UNICAMP)
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**ESTIMATIVA DE EXPOSIÇÕES NÃO CONTÍNUAS A RUÍDO:
Desenvolvimento de um método e validação na Construção Civil**

Paulo Alves Maia

Defesa de Doutorado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



**Prof. Dra. Stelamaris Rolla Bertoli
Presidenta e Orientadora/UNICAMP**



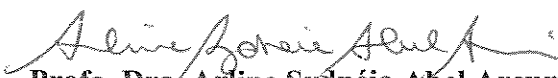
**Prof. Dra. Aparecida Mari Iguti
UNICAMP**



**Prof. Dra. Lucila Chebel Labaki
UNICAMP**



**Prof. Dra. Maria Lucia Galves
UNICAMP**



**Prof. Dra. Arline Sydnéia Abel Arcuri
FUNDACENTRO**

Campinas, 05 de novembro de 2001

2002/11/02/3

Este trabalho eu dedico à minha esposa Sandra e a vocês, Nycholas e Sara Christina, por tornarem a vida de seu pai uma eterna aventura feliz.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, meu SENHOR e meu melhor amigo, pela inspiração do dia-a-dia.

À minha mãe, Alaíde, a quem devo minha educação.

À professora Stelamaris, pela confiança e orientação.

Ao engenheiro Álvaro Cesar Ruas, pelo frutífero debate técnico diário.

À estagiária Tatiana Chrispim Gouvêa, pelo apoio na elaboração do documento de tese, especialmente, pelos gráficos e tabelas nele apresentados.

À FUNDACENTRO, pela oportunidade ímpar que me ofereceu ao permitir e viabilizar esta pesquisa, que visa o bem-estar de meus semelhantes.

“O temor a DEUS é o princípio da sabedoria.” (Pv. 1,7)

Bíblia Sagrada

SUMÁRIO

SUMÁRIO	VII
LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE TABELAS	XI
NOMENCLATURA	XIII
RESUMO	XV
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS	1
2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA	5
3 REVISÃO DE LITERATURA	7
3.1 A CONSTRUÇÃO CIVIL	7
3.1.1 Peculiaridades	7
3.1.2 Mão-de-obra	8
3.1.3 Importância social	10
3.1.4 Importância econômica	11
3.1.5 Condições de trabalho	12
3.2 O SOM	15
3.2.1 Propriedades do som	15
3.2.2 Classificação dos sons	16
3.2.3 Propagação do som	17
3.2.4 Intensidade sonora	19
3.2.5 Pressão sonora	20
3.2.5.1 Pressão sonora eficaz	20
3.2.5.2 Níveis de pressão sonora	21
3.2.5.3 Nível sonoro global (NG)	22
3.2.6 Exposição sonora (EA,T)	23
3.2.6.1 Dose de exposição ao ruído ocupacional	24
3.2.6.2 Nível de exposição equivalente e nível de exposição normalizado	26
3.2.7 Outros modelos derivados de exposição sonora	28
3.2.8 Medidores de ruído	30
3.2.9 Limites de exposição ou de tolerância ao ruído	34
3.3 O OUVIDO: CARACTERÍSTICAS E FUNCIONAMENTO	38
3.3.1 O ouvido interno	40
3.3.2 Mecanismo de transdução do ouvido	41
3.3.3 Analisador de frequência do ouvido interno	42

3.3.3.1 Teoria da onda viajante	42
3.3.3.2 Teoria da cóclea ativa	43
3.3.4 Nível de audibilidade	44
3.3.5 Suscetibilidade individual e outros fatores de variabilidade	45
3.3.6 Medida da audição	48
3.3.6.1 O zero audiométrico	49
3.3.6.2 Interpretação do teste	50
3.4 PERDAS AUDITIVAS INDUZIDAS PELO RUÍDO	51
4 BASES PARA A ADOÇÃO DE UM NÍVEL DE EXPOSIÇÃO-PADRÃO	53
4.1 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE RISCO	54
4.1.1 Avaliação de risco segundo a NIOSH (1972)	55
4.1.2 Avaliação de risco segundo a NIOSH (1997)	56
4.2 INCREMENTO DE DUPLICAÇÃO DE DOSE	59
4.3 VALOR TETO	63
4.4 RUÍDO IMPULSIVO	63
4.4.1 Evidências de que os efeitos do ruído impulsivo não obedecem à regra de igual energia	64
4.4.2 Evidências de que os efeitos do ruído impulsivo obedecem à regra de igual energia	68
4.4.3 Exposições simultâneas a ruídos impulsivos e contínuos	70
4.5 RELAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE O RUÍDO E A PAIR	71
4.6 MÉTODO ISO PARA ESTIMATIVA DA PAIR	72
4.6.1 Distribuição estatística das perdas auditivas induzidas pelo ruído	77
4.6.2 Método ISO para estimativa das perdas auditivas associadas à idade	79
5 O MÉTODO PROPOSTO	83
5.1 PRESSUPOSTOS DO MÉTODO PROPOSTO	84
5.2 ETAPAS DO MÉTODO PROPOSTO	86
5.2.1 Coleta e tratamento dos dados audiométricos	86
5.2.2 Estimativa das perdas auditivas medianas associadas à idade	89
5.2.3 Cálculo do nível de exposição normalizado	90
5.2.4 Distribuição das perdas auditivas induzidas pelo ruído	91
5.2.5 Ajustes das curvas geradas pelos dados audiométricos	91
5.2.6 Análise do método proposto	94
6 VALIDAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO	96
6.1 COLETA DOS DADOS AUDIOMÉTRICOS	96
6.2 LOCAL DOS TESTES AUDIOMÉTRICOS	97
6.3 TRATAMENTO DOS DADOS AUDIOMÉTRICOS	98
a) Seleção	99
b) Classificação	100
c) Análise	100
6.4 RESULTADOS DA APLICAÇÃO	103
6.4.1 Determinação do nível de exposição normalizado	107
6.4.2 Análise da aplicação do método proposto	113
a) Ajudantes gerais	114
b) Carpinteiros	115
6.5 MEDIÇÕES DA EXPOSIÇÃO AO RUÍDO NOS AMBIENTES DE TRABALHO	115
6.5.1 Resultados das medições nos canteiros de obras	117
6.5.2 Interpretação dos resultados das medidas realizadas nos locais de trabalho	120
6.5.3 Análise das medidas realizadas nos canteiros de obras	121
a) Ajudantes gerais	122
b) Carpinteiros	124
7 CONTROLE DA EXPOSIÇÃO AO RUÍDO EM CANTEIROS DE OBRAS	125
7.1 CONTROLE NA ESFERA DA ENGENHARIA	125
7.1.1 Medidas prévias de controle de ruído para instalação do canteiro de obras	126

7.1.2 Medidas gerais de controle de ruído para canteiros de obras implantados	127
7.1.3 Medidas específicas de controle de ruído em canteiros de obras	129
7.2 CONTROLE NA ESFERA ADMINISTRATIVA	142
7.3 CONTROLE NA ESFERA MÉDICA	143
7.4 PROGRAMA DE CONSERVAÇÃO AUDITIVA	146
7.4.1 Benefícios da conservação da audição	147
7.4.2 Fases de um PCA	147
7.4.2.1 Determinação da exposição ao ruído	148
7.4.2.2 Controles técnicos e administrativos do ruído	148
7.4.2.3 Formação e motivação	149
7.4.2.4 Proteção auditiva	149
7.4.2.5 Avaliações audiométricas	150
7.4.3 Manutenção de registros	150
7.4.4 Características dos programas de conservação auditiva eficazes	151
7.4.4.1 Um líder	151
7.4.4.2 Funções e comunicações	152
7.4.4.3 Os protetores auditivos: eficazes e de utilização obrigatória	152
7.4.4.4 Limitações das influências externas sobre PCA	152
7.4.4.5 Avaliação objetiva dos dados audiométricos	153
8 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES	155
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	159
ANEXOS	165
ANEXO A. RELAÇÃO ENTRE O INCREMENTO DE DUPLICAÇÃO DE DOSE E A ENERGIA	166
ANEXO B. DADOS E RESULTADOS DOS AUDIOGRAMAS	167
B1. Perdas auditivas referenciais	167
B2. Limiares auditivos dos ajudantes gerais	169
B2.1 Demonstrativo de cálculo das PAIRs dos ajudantes gerais	171
B3. Limiares auditivos dos carpinteiros	173
B3.1 Demonstrativo de cálculos das PAIRs de carpinteiros	180
B4 Perdas auditivas associadas à idade de ajudantes gerais	182
B4.1 Ajudantes gerais de idade média igual a 21,6 anos	182
B4.2 Ajudantes gerais de idade média igual a 26,0 anos	182
B4.3 Ajudantes gerais de idade média igual a 32,7 anos	182
B5 Perdas auditivas associadas à idade dos Carpinteiros	183
B5.1 Carpinteiros de idade média de 26,0 anos	183
B5.2 Carpinteiros de idade média de 34,4 anos	183
B5.3 Carpinteiros de idade média de 44,1 anos	183
B5.4 Carpinteiros de idade média de 54,3 anos	184
B6 Distribuição de Perdas auditivas induzidas pelo ruído (PAIR)	185
B6.1 Grupo de ajudantes gerais expostos ao NEN = 81 dB(A)	185
B6.2 Grupo de carpinteiros exposto ao NEN = 86 dB(A)	187
ABSTRACT	189
GLOSSÁRIO	191

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Representação da onda senoidal em determinado ponto do espaço.</i>	16
<i>Figura 2. Representação da propagação do som no ar.</i>	18
<i>Figura 3. Formas de propagação do som incidente em um obstáculo.</i>	20
<i>Figura 4. Tempo de exposição permissível versus níveis sonoros em dB(A).</i>	30
<i>Figura 5. Curvas de resposta do ouvido em relação à frequência.</i>	31
<i>Figura 6. Estrutura de um medidor de níveis sonoros.</i>	32
<i>Figura 7. Medidor de NPS com mostrador analógico.</i>	32
<i>Figura 8. Medidor integrador de níveis sonoros (a) e dosímetro de ruído (b).</i>	33
<i>Figura 9. Calibradores para medidores integradores de níveis sonoros e dosímetros.</i>	34
<i>Figura 10. Corte esquemático do ouvido.</i>	39
<i>Figura 12. O órgão de Corti – Ouvido interno.</i>	40
<i>Figura 13. A hidráulica do ouvido interno.</i>	41
<i>Figura 14. Curvas isoaudíveis.</i>	45
<i>Figura 15. Audiograma.</i>	49
<i>Figura 16. Níveis auditivos associados a idade para indivíduos não expostos a ruído ocupacional em uma sociedade industrializada (a) homens; b) mulheres).</i>	53
<i>Figura 17. Evolução das PAIRs em relação ao período de exposição.</i>	74
<i>Figura 18. Distribuição de perdas auditivas induzidas pelo ruído em uma população.</i>	78
<i>Figura 19. Distribuição de perdas auditivas associadas à idade de populações otologicamente normais.</i>	81
<i>Figura 20. Limiares auditivos de percentis populacionais de ajudantes gerais.</i>	103
<i>Figura 21. Limiares auditivos de percentis populacionais de carpinteiros.</i>	104
<i>Figura 22. Perdas auditivas associadas à idade de ajudantes gerais.</i>	105
<i>Figura 23. Perdas auditivas associadas à idade dos carpinteiros.</i>	106
<i>Figura 24. Ilustração do procedimento de cálculo do NEN e PAIRs medianas de ajudantes gerais.</i>	108
<i>Figura 25. Ilustração do procedimento de cálculo do NEN e PAIRs medianas de carpinteiros.</i>	109
<i>Figura 26. Perfis das PAIRs para o grupo de ajudantes gerais.</i>	110
<i>Figura 27. Perfis das PAIRs para o grupo de carpinteiros.</i>	111
<i>Figura 28. Controle do ruído via trajetória.</i>	129
<i>Figura 29. Lâmina de serra com sistema para evitar a ressonância.</i>	131
<i>Figura 30. Lixadeira manual pneumática.</i>	133
<i>Figura 31. Compressores com tratamento acústico.</i>	139
<i>Figura 32. Croqui de um martelo pneumático silencioso.</i>	140
<i>Figura 33. Estimativa do risco derivado da exposição ao ruído em diferentes populações</i>	146

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1. Origem dos trabalhadores da Construção Civil por região metropolitana e Distrito Federal.</i>	9
<i>Tabela 2. Participação da Construção Civil no PIB, comparativamente a outros setores.</i>	11
<i>Tabela 3. Exemplos de ocorrência de NPSs correspondentes à pressão sonora.</i>	22
<i>Tabela 4. Duração máxima diária de exposição permissível em função do nível de ruído.</i>	25
<i>Tabela 5. Exposições sonoras ponderadas pelo circuito A e correspondentes NENs.</i>	27
<i>Tabela 6. Valores dos limiares auditivos em dB para calibração de audiômetros</i>	50
<i>Tabela 7. Níveis de pressão sonora máximos permissíveis, medidos em faixa 1/3 de oitava, para os ambientes de teste audiométrico.</i>	50
<i>Tabela 8. Estimativas do risco excessivo de desvios auditivos reais em função da exposição média diária ao ruído em 40 anos de exposição.</i>	55
<i>Tabela 9. Estimativa de risco excessivo de desvio auditivo real, por idade e duração da exposição.</i>	57
<i>Tabela 10. Modelos de estimativa de risco excessivo de desvios auditivos reais para trabalhadores com 60 anos e exposição ocupacional ao ruído de 40 anos, por definição de desvio auditivo real.</i>	58
<i>Tabela 11. Combinações de níveis de exposição a ruído em dB(A) e durações admissíveis.</i>	59
<i>Tabela 12. PAIR calculada conforme a ISO 1999 (1990).</i>	73
<i>Tabela 13. Valores de u, v e L0 usados para determinar as perdas medianas induzidas pelo ruído, N0,50.</i>	77
<i>Tabela 14. Valores Xu, Yu, Xi e Yi usados na determinação dos parâmetros du e di.</i>	79
<i>Tabela 15. Valores do coeficiente a.</i>	81
<i>Tabela 16. Valores de bu e bi usados para determinar, respectivamente, as partes acima e abaixo de HQ da distribuição estatística.</i>	81
<i>Tabela 17. Valores do multiplicador K.</i>	82
<i>Tabela 18. Neq de tarefas executadas por ajudantes gerais.</i>	84
<i>Tabela 19. Valores de níveis sonoros, em dB, para calibração de audiômetros.</i>	87
<i>Tabela 20. Níveis de pressão máximos admissíveis, em dB, estabelecidos pela norma ANSI S3.1 (1977) para cabines audiométricas e níveis medidos na sala onde foi instalada.</i>	87
<i>Tabela 21. Perdas auditivas induzidas pelo ruído, por percentil populacional, após 5,5 anos de exposição contínua ao ruído de 82, 85 e 90 dB(A).</i>	94
<i>Tabela 22. Número de audiogramas por categoria profissional da Construção Civil.</i>	97
<i>Tabela 23. Níveis de pressão máximos admissíveis estabelecidos pela norma ANSI S3.1 (1977) para cabine audiométrica e níveis medidos na sala onde foi instalada.</i>	98
<i>Tabela 24. Número de audiogramas coletados e classificados para analisados.</i>	100
<i>Tabela 25. Valores de níveis sonoros, em dB, para calibração de audiômetros.</i>	101
<i>Tabela 26. Divisão dos grupos estudados em faixa etária.</i>	102
<i>Tabela 27. Interpretação e ação recomendadas relativas aos NENs.</i>	113
<i>Tabela 28. Níveis equivalentes (Neqs) de tarefas executadas por ajudantes gerais.</i>	117
<i>Tabela 29. Níveis equivalentes (Neqs) de tarefas executadas e níveis de pressão sonora de impacto (NPSs) de martelos utilizados por carpinteiros.</i>	118
<i>Tabela 30. Espectro sonoro de serra mármore.</i>	118
<i>Tabela 31. Espectro sonoro de esmerilhadeira.</i>	119
<i>Tabela 32. Espectro sonoro de serra circular de bancada.</i>	119
<i>Tabela 33. Espectro sonoro de betoneira.</i>	119
<i>Tabela 34. Espectro sonoro de policorte.</i>	119

<i>Tabela 35. Espectro sonoro de guincho.</i>	119
<i>Tabela 36. Espectro sonoro de britadeira.</i>	119
<i>Tabela 37. Espectro sonoro de compactador.</i>	120
<i>Tabela 38. Espectro sonoro de furadeira de impacto.</i>	120

NOMENCLATURA

Letras Latinas

H	Perda auditiva associada a idade	[dB]
H'	Perda auditiva total	[dB]
L	Nível de pressão sonora	[dB]
N	Perda auditiva induzida pelo ruído	[dB]
Q	Percentil populacional	
h	Horas	

Letras Gregas

θ	Período de exposição	[ano]
θ_0	Período de exposição de um ano	[ano]

Abreviaturas

dB	Decibel(éis)
Fed. Reg.	Federal Register
Hz	Hertz
kHz	Quilohertz
min	Minuto(s)
ms	Milissegundo(s)

Siglas

AAO-HNS	American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery
ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
AIHA	American Industrial Hygiene Association
AMA	American Medical Association
ANAMT	Associação Nacional de Medicina do Trabalho
ANSI	American National Standards Institute
AOMA	American Occupational Medical Association
ASA	American Standards Association
ASHA	American Speech-Language-Hearing Association
CAOHC	Council for Accreditation in Occupational Hearing Conservation
CHABA	Committee on Hearing, Bioacoustics, and Biomechanics

CLT	Consolidação das Leis do Trabalho
dB(A)	Decibel(éis) ponderado(s) na curva A
EM	Exposição média
EPA	U.S. Environmental Protection Agency
FE	Faixa etária
HLPP	Hearing loss prevention program
IEC	International Electrotechnical Commission
IM	Idade média
INSS	Instituto Nacional de Seguridade Social
IRF	Índice de reconhecimento da fala
ISO	International Standards Organization
LEP	Limite de exposição permissível
MSHA	Mine Safety and Health Administration
NHANES	National Health and Nutrition Examination Survey
NHCA	National Hearing Conservation Association
NIHL	Noise-induced hearing loss
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
NLA	Nível limiar de audibilidade
NLAI	Nível limiar de audição associado à idade
NOES	National Occupational Exposure Survey
NOHSM	National Occupational Health Survey of Mining
NPS	Nível de pressão sonora
NR	Norma regulamentadora
NRR	Nível de redução de ruído
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONHS	Occupational Noise and Hearing Survey
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
PAIR	Perda auditiva induzida pelo ruído
LERe	Limite de exposição recomendado
SBFA	Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia
SECONCI	Serviço Social da Indústria da Construção e do Mobiliário
SESI	Serviço Social da Indústria
SIC	Standard Industrial Classification
SINDUSCON	Sindicato da Indústria da Construção
SBO	Sociedade Brasileira de Otologia
SOBORL	Sociedade Brasileira de Otorrinolaringologia
SOBRAC	Sociedade Brasileira de Acústica
SP	São Paulo
SRT	Limiar de recepção da fala
STS	Standard threshold shift
TTS	Perda temporária de audição
TTS ₂	Temporary threshold shift 2 min after a period of noise exposure
USA	United States of America
USP	Universidade de São Paulo
WCBO	Workers Compensation Board

RESUMO

Maia, Paulo Alves. Estimativa de exposições não contínuas a ruído: desenvolvimento de um método e validação na Construção Civil. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2001. 209 p. Tese de Doutorado.

O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver um método de estimativa de exposições não contínuas ao ruído. A aplicação desse método resulta em um índice representativo da real exposição ao ruído ocupacional de trabalhadores cujas atividades apresentam uma grande variação dos níveis médios de ruído quando computados diariamente. Esse índice, denominado **nível normalizado de exposição não contínua**, possibilitará a implantação de medidas mais efetivas na prevenção de danos auditivos associados ao ruído e um tratamento mais acertado que o atual em relação aos benefícios legais para certas categorias profissionais, como carpinteiros, armadores, pedreiros etc.

O método proposto baseou-se no princípio de igual energia. Segundo esse princípio, a energia sonora é a única responsável pelo desenvolvimento das perdas auditivas induzidas pelo ruído (PAIRs) em uma população exposta ao ruído. Esse pressuposto, já adotado pela norma internacional ISO 1999 (1990), permitiu o estabelecimento de uma relação estatística entre a **exposição contínua** e as perdas auditivas induzidas pelo ruído. Neste trabalho, utilizando-se de outros pressupostos, estende-se o princípio de igual energia para **exposições não contínuas**, possibilitando as estimativas de perdas auditivas induzidas também em ambientes com grande variação dos níveis sonoros. Os resultados do método proposto estão relacionados pela efetividade de causar dano auditivo, isto é, as perdas induzidas pelo ruído oriundas de **exposição não contínua** são expressas, aqui, por um nível de exposição normalizado (NEN) de **exposição contínua**.

Neste trabalho o método proposto é aplicado sobre dois grupos de profissionais da Construção Civil: ajudantes gerais e carpinteiros. Os resultados do método foram confrontados com as condições reais de trabalho nos canteiros de obras, visando estudar a coerência entre os resultados do método proposto e os resultados de campo.

No final são apresentados várias medidas técnicas de controle de ruído para fontes específicas da Construção Civil.

Palavras Chave: ruído, perda auditiva, Construção Civil

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações gerais

O estudo das perdas auditivas induzidas pelo ruído (PAIRs) não é recente. Já no início do século XVIII, na obra “*De morbis artificum diatriba*” [As doenças dos trabalhadores], RAMAZZINI analisa as enfermidades de 54 tipos de profissionais da época, às quais sugere como medida preventiva o menor tempo possível de exposição aos agentes agressivos. Uma dessas doenças era a surdez ocupacional desenvolvida na atividade dos bronzistas, descrita da seguinte forma:

Observamos esses artífices, todos sentados sobre pequenos colchões postos no chão, trabalhando constantemente encurvados, usando martelos a princípio de madeira, depois de ferro, e batendo o bronze novo, para dar-lhe a ductilidade desejada. Primeiramente, pois, o contínuo ruído danifica o ouvido, e depois toda a cabeça, tornando-se um pouco surdo e, se envelhecem no mister, ficam completamente surdos...
(RAMAZZINI, 1700)

Entretanto, a exposição ao ruído excessivo é, apenas, uma das causas conhecidas de perdas auditivas. LACERDA (1976) cita causas de perdas auditivas intra-uterinas destacando os efeitos da rubéola e da sífilis, embora se diga que até mesmo a gripe e o sarampo possam influenciar a audição do ser em formação. ROBINSON (1988) mostra mudanças dos limiares auditivos associadas ao envelhecimento para homens e mulheres, enquanto MORATA et al. (1997) descrevem os efeitos das drogas ototóxicas e dos solventes encontrados nos ambientes de trabalho, como dissulfeto de carbono, tolueno, estireno, tricloroetileno e misturas de outros solventes. Sabe-se que mudanças abruptas de pressão geradas a partir de explosões de bombas, granadas, minas, cargas de dinamite etc. podem romper o tímpano ou desarticular a cadeia de ossículos do ouvido. Também é notório que as exposições prolongadas a vibrações de corpo inteiro influenciam na capacidade auditiva.

Atualmente, a relação entre as **exposições contínuas ao ruído** e as perdas auditivas está estabelecida, porém pouco se sabe sobre **exposições não contínuas**. Ao contrário das primeiras, as exposições não contínuas não apresentam um mesmo nível médio diário ou semanal representativo da vida laboral dos trabalhadores. WARD (1986) relatou que os estudos das perdas auditivas, até então, basearam-se em muitos anos de exposição de oito horas diárias ao ruído constante, por isso seus resultados têm pouco uso para avaliação dos riscos associados com **exposições não contínuas**. O uso de tais resultados só seria possível se um novo método fosse elaborado pelo qual uma exposição específica, não importa de que complexidade, pudesse ser expressa, em termos de **exposição contínua**. Para tanto, seria necessário encontrar um fator comum entre esses dois tipos de exposição que tornasse possível uma relação de efetividade como sugeriu WARD (1986). Neste trabalho assumiu-se que esse fator seriam as perdas auditivas induzidas pelo ruído (PAIRs); portanto, pressumisse que determinada exposição não contínua tenha a mesma efetividade para causar danos auditivos que certa exposição contínua.

Exemplos de exposição não contínua são encontrados na Construção Civil, razão pela qual, utilizaram-se aqui dados de exposição de carpinteiros e ajudantes gerais na aplicação da metodologia elaborada.

Na Construção Civil, mesmo nos países em desenvolvimento, o uso de máquinas cada vez mais velozes operadas em ritmo acentuado de trabalho tem tornado as tarefas mais ruidosas e, em consequência, gerado perdas auditivas e outros efeitos em um número cada vez maior de trabalhadores. Esses danos não são hoje adequadamente avaliados pelas empresas e instituições governamentais, havendo fatores econômicos, sociais e técnicos que dificultam tal avaliação. Os trabalhadores que desenvolvem a perda auditiva induzida pelo ruído (PAIR) são prejudicados na sua capacidade de conversação e limitados na sua habilidade de perceber sinais audíveis nos ambientes de trabalho, geralmente sofrendo de outros problemas de saúde, como insônia, estresse, irritação etc. Além disso, por falta de metodologia adequada para estimar um nível único representativo da exposição diária desses trabalhadores, eles são prejudicados nos seus direitos trabalhistas e previdenciários, pois não conseguem provar a insalubridade das atividades executadas nos canteiros de obras nem têm reconhecidos os benefícios previdenciários decorrentes das perdas auditivas.

Um dos mais importantes institutos responsáveis pela pesquisa da saúde ocupacional e pela divulgação de limites de tolerância para agentes ambientais nos Estados Unidos, a *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) (1998) estabeleceu critérios de avaliação de riscos auditivos. Na elaboração desses critérios foram excluídos os dados de trabalhadores, cujas exposições não puderam ser caracterizadas por um nível médio diário de ruído representativo de suas vidas laborais, ou seja, excluíram os dados de exposições não contínuas. A *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA), órgão fiscalizador das condições de higiene e segurança do trabalho, criou normas diferenciadas de cálculo de exposição ao ruído para as indústrias em geral e para Construção Civil, Mineração, Perfuração de poços e outros, apresentando incremento de duplicação de dose¹ e limites de exposição diferentes. A norma utilizada na Construção Civil não leva em conta os tipos e as fases da obra, os métodos construtivos e a variabilidade das tarefas executadas pelo profissional. Portanto, embora possam ser utilizados para avaliar a exposição diária do trabalhador, os resultados dessa norma não podem ser estendidos para toda a sua vida laboral, já que a exposição varia a cada dia.

SEIXAS et al. (1998) relatam que em alguns países 16 a 50% dos trabalhadores da Construção Civil são portadores de perdas auditivas induzidas pelo ruído; em certas faixas etárias essa porcentagem chega, pelo menos, a 75%. As pesquisas existentes sobre exposição ao ruído em obras revelam níveis sonoros de 75 a 113 dB(A) nos pontos de operação das máquinas e níveis de ruído entre 65 e 91 dB(A) nos ambientes de trabalho. Na maioria dessas pesquisas utilizaram-se equipamentos de medições instantâneas em vez de medidores integradores de níveis sonoros, de modo que existem poucos dados de exposição média ao ruído dos trabalhadores da Construção. Apenas no estudo de SEIXAS et al. (1998) foram encontrados dados sobre o efeito de diferentes incrementos duplicativos de dose e de níveis de exposição normalizados para as condições de exposição ao ruído em ambientes da Construção Civil. Porém, os resultados mostraram que os níveis de exposição normalizados mudam conforme a fase da obra, os métodos construtivos e as tarefas realizadas. Assim, somente em um amplo estudo estatístico das reais condições de exposição dos trabalhadores nos canteiros de obras, que contemplasse o tipo e a fase da obra, os diferentes métodos construtivos e todas as tarefas exercidas em cada categoria

¹ Incremento em decibéis que, quando adicionado a determinado nível, implica a duplicação da dose ou a redução pela metade do tempo máximo permitido.

profissional, é que se poderia estimar a exposição diária média dos trabalhadores dessa área. Isso, porém, seria muito oneroso e demandaria um grande trabalho de campo, motivo pelo qual tal avaliação, até hoje, não foi desenvolvida.

MAIA (1999), em sua dissertação de Mestrado, cita as características gerais da indústria da Construção Civil e da sua mão-de-obra. Analisa o risco de perdas auditivas induzidas pelo ruído em quatro categorias profissionais: carpinteiros, pedreiros, armadores e ajudantes gerais. Identifica as fontes de ruído e as tarefas executadas por cada categoria, além de mostrar os respectivos níveis sonoros e de exposição. Conclui que todos os trabalhadores realizam, alternativamente, tarefas não ruidosas (< 82 dB(A)), moderadamente ruidosas (entre 82 e 85 dB(A)) e ruidosas (> 85 dB(A)), havendo apenas na categoria de carpinteiros riscos significativos.

Novos estudos que relacionam a exposição ao ruído ocupacional em obras com a PAIR devem ampliar o conhecimento da exposição não contínua. Esses estudos, entre outros temas, têm de abranger a recuperação auditiva após exposições não contínuas, os efeitos auditivos dessas exposições na presença de ruído de impacto e o desenvolvimento de duas bases de dados: uma com os limiares auditivos dos indivíduos otologicamente normais da população brasileira, outra relacionando tarefas ruidosas com níveis normalizados de exposição ao ruído.

2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

O objetivo deste trabalho é desenvolver um método de estimativa de exposição não contínua ao ruído. A aplicação desse método resultará em um índice representativo da real exposição ao ruído ocupacional de trabalhadores cujas atividades apresentam uma grande variação dos níveis médios de ruído quando computados diariamente. Esse índice, denominado nível normalizado de exposição não contínua, possibilitará um controle mais efetivo na prevenção de danos auditivos associados ao ruído e um tratamento mais acertado em relação aos benefícios legais para trabalhadores que estiveram ou estarão expostos ao ruído por muitos anos.

Esse nível de exposição normalizado (NEN), desenvolvido com fundamento numa norma preexistente, representa uma nova ferramenta para solução e direcionamento de vários problemas práticos relativos à saúde do trabalhador, à legislação trabalhista e previdenciária. Quanto à saúde do trabalhador, servirá como um índice de comparação de risco entre categorias profissionais, podendo a empresa priorizar as medidas de controle e eliminação de riscos. Em nível governamental, orientará a elaboração das normas referentes à proteção auditiva do trabalhador. Em nível institucional, será um fator de decisão na elaboração de programas e pesquisa sobre proteção auditiva. No âmbito legal, será um rico subsídio na caracterização de atividades com grande potencial insalubre, possibilitando que o empregado requeira indenizações e adicionais de direito relativos a exposições nocivas ao ruído em ambientes de trabalho, e orientando a lei trabalhista e previdenciária na concessão de benefícios. Os sindicatos, por sua vez, calcados em resultados científicos, poderão exigir ambientes menos ruidosos em contratos e acordos coletivos de trabalho. O NEN poderá ainda ajudar médicos e engenheiros na prevenção das perdas auditivas induzidas pelo ruído e de outros efeitos decorrentes da exposição habitual ao ruído.

Este trabalho também apresenta uma aplicação prática do método proposto sobre dois grupos de duas categorias de trabalhadores da Construção Civil. Os resultados dessa aplicação

são confrontados com avaliações quantitativas realizadas nos canteiros de obras visando estudar a coerência entre os resultados do método proposto e os resultados de campo.

Como última forma de contribuição à literatura propõe-se a apresentar sistematicamente algumas soluções práticas para a redução dos níveis de ruído nos canteiros de obra, sendo duas delas inovadoras.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Esta revisão foi dividida em quatro partes. A primeira dá uma visão geral da Construção Civil, pois ela foi o pano de fundo de todo o trabalho desenvolvido. A segunda visa mostrar o objeto do estudo: o ruído. Apresenta os conceitos necessários, os parâmetros fundamentais para o entendimento do método proposto de avaliação da exposição ao ruído e especifica medidas gerais de controle. A terceira parte trata do ouvido, órgão no qual se dá o efeito principal do ruído excessivo: as perdas auditivas. Mostra o sistema auditivo revelando o processo de transmissão do som no seu interior, o mecanismo pelo qual o ruído lesa as células responsáveis pela audição e as dificuldades para quantificar as perdas auditivas induzidas pelo ruído. A quarta e última parte cuida do histórico e dos parâmetros necessários ao desenvolvimento do método de estimativa de perdas auditivas a partir do nível médio de **exposição contínua** ao ruído ocupacional.

O estado da arte para a relação entre o ruído ocupacional e a PAIR culmina, no ano de 1990, com a elaboração da 2ª edição da norma ISO 1999 (1990). Esta apresenta um método de estimativa da PAIR e de determinação de risco auditivo ocupacional em certa população, porém ainda limitada às **exposições contínuas**.

A contribuição deste trabalho para o estado da arte é a elaboração de um método de estimativa da PAIR em condições de **exposição não contínua** ao ruído em ambientes de trabalho.

3.1 A Construção Civil

3.1.1 Peculiaridades

Uma estimativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2000) em seis regiões metropolitanas do Brasil apurou que o setor da Construção Civil absorve 6,8% da mão-de-obra nacional. Por sua capacidade de gerar empregos diretos e indiretos, constitui uma das

mais importantes atividades industriais em nosso país. Trata-se de um ramo da indústria que em muitos aspectos difere das outras atividades industriais, apresentando peculiaridades que refletem uma estrutura dinâmica e complexa.

Uma de suas principais características é a descentralização das atividades produtivas. Esta pode ser observada pelo caráter nômade do setor, em que os produtos gerados pelas empresas são únicos, o que leva à execução de projetos singulares, com especificidades técnicas diferenciadas para cada empreendimento a ser realizado.

Outro traço peculiar da Construção Civil é a descontinuidade das atividades produtivas. Esse processo se define pela intensa fragmentação da produção em etapas e fases predominantemente sucessivas que se faz presente em todos os seus subsetores e contrasta com os processos contínuos da indústria de transformação.

É função da Construção Civil desenvolver atividades de planejamento, projeto, execução de obras e serviços relativos a edificações, sistemas de transporte, sistemas de abastecimento de água e saneamento, canais, drenagem, pontes e estruturas. Do ponto de vista econômico, destaca-se pela quantidade de atividades que intervêm em seu ciclo de produção, gerando consumo de bens e serviços em outros setores; do ponto de vista social, pela capacidade de absorção de mão-de-obra.

3.1.2 Mão-de-obra

Segundo dados estatísticos obtidos no “Diagnóstico da Mão-de-Obra do Setor da Construção Civil” do SESI (1991a), cujo levantamento se refere a uma amostra de 2.014 operários da Construção Civil em regiões metropolitanas e no Distrito Federal, a mão-de-obra empregada no setor compõe-se, na sua grande maioria, de pessoas do sexo masculino (98,6%) concentradas na faixa etária de 19 a 35 anos (57,6%). A diminuta concentração de contingente feminino no setor decorre das próprias características do processo produtivo, em que se utiliza, em larga escala, a força física. Entre os operários da Construção Civil predominam os casados ou os que vivem em união consensual estável (60,62%). Observou-se ainda uma média de 3,2 filhos por família. A Tabela 1 mostra que é marcante a participação da força de trabalho migrante. Cerca de 42,3% dos trabalhadores deixaram suas regiões de origem para ingressar no setor; desses, 79,3% são provenientes do Nordeste.

Tabela 1. Origem dos trabalhadores da Construção Civil por região metropolitana e Distrito Federal.

Região Metropolitana	Origem dos Trabalhadores									
	Total	Própria Região	Outras Regiões							
			Total (*)	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro Oeste	Exterior	Branco
Belém	46 100%	44 95,65%	2 4,35%		2 100%					
Fortaleza	61 100%	61 100%								
Recife	99 100%	98 98,99%	1 1,01%							1 100%
Salvador	174 100%	173 99,43%	1 0,57%							1 100%
Belo Horizonte	319 100%	291 91,22%	28 8,78%	1 3,57%	17 60,71%		6 21,43%	1 3,57%		3 10,71%
Rio de Janeiro	338 100%	151 44,67%	187 55,33%	23 12,29%	150 80,21%	3 1,60%	4 2,17%	3 1,60%	1 0,53%	3 1,60%
São Paulo	691 100%	153 22,14%	538 77,86%	35 6,51%	447 83,09%	21 3,90%	16 2,97%	12 2,23%		7 1,30%
Curitiba	150 100%	119 79,33%	31 20,67%	1 3,23%	4 12,90%	20 64,52%		5 16,13%		1 3,22%
Porto Alegre	68 100%	65 95,59%	2 2,94%		1 50%				1 50%	
Distrito Federal	68 100%	7 10,29%	61 89,70%	1 1,64%	54 88,52%	6 9,84%				
Total	2.014 100%	1.162 57,70%	851 42,25%	61 7,17%	675 79,32%	50 5,88%	26 3,06%	21 2,46%	2 0,23%	16 0,05%

Fonte: SESI (1991a).

Outra característica predominante entre os trabalhadores da Construção Civil é o baixo grau de escolaridade. De acordo com o SESI (1991a), 63,9% tem o 1º grau incompleto, apenas 3% o 2º grau e 0,2% o grau superior. A ausência quase completa de escolarização, entre outros fatores, deve-se ao número elevado de atividades que empregam a força física. O ingresso de trabalhadores e a mobilidade ocupacional interna não se realizam, prioritariamente, com base no nível de instrução, mas na experiência adquirida pelo operário em sua trajetória no mercado de trabalho.

A reduzida qualificação profissional contribui para gerar na Construção Civil um dos piores padrões de remuneração salarial entre os diversos ramos da indústria. Cerca de metade dos operários recebe no máximo 2 (dois) salários mínimos (SMs). Os baixos salários vigentes no setor impõem aos seus operários a necessidade de extensão da jornada de trabalho mediante a realização de horas extras ou a adoção do regime de tarefas. O alongamento compulsório da

jornada de trabalho permite, por um lado, a intensificação do ritmo de produção mas, por outro, aumenta sensivelmente o desgaste físico da mão-de-obra.

Alterações positivas no padrão de remuneração só se verificam em virtude de qualificação adquirida ao longo da trajetória profissional.

As ocupações que detêm os maiores salários médios são as que demandam maior qualificação, ou seja, encarregados (5,6 SMs), mestre-de-obras (8,3 SMs), engenheiro (9,9 SMs) e topógrafo (12,1 SMs). Os serventes e ajudantes apresentam médias salariais bem inferiores, 1,6 e 1,9 SM, respectivamente.

Entre os problemas sociais importantes para o setor, destaca-se o alcoolismo, visto que 19% dos trabalhadores entrevistados ingerem bebidas de forma abusiva e 4,4% são dependentes do álcool.

Finalmente, constata-se um baixo grau de sindicalização, englobando apenas 27,8% dos operários, num quadro que reflete as barreiras impostas pelas duras condições de trabalho e a escassa penetração dos sindicatos no universo da Construção Civil, constituindo um entrave a mais para a melhoria das suas condições de vida e de trabalho.

3.1.3 Importância social

A importância social da Construção Civil deve-se, em parte, à sua grande absorção da mão-de-obra e ao desenvolvimento econômico que proporciona ao país por meio de obras de infra-estrutura, como rodovias, ferrovias, hidroelétricas, linhas de transmissão etc. A absorção da mão-de-obra desse setor da economia contribui de forma significativa para a diminuição do índice de desemprego no país e para uma considerável melhoria na qualidade de vida dos seus trabalhadores.

A infra-estrutura criada pela indústria de Construção permite escoar a produção de matérias-primas e de bens finais a menores custos e, como essa infra-estrutura antecede o crescimento industrial, possibilita a canalização dos benefícios decorrentes da industrialização para a sociedade como um todo, pela maior oferta de escolas, hospitais, moradias, redes de água e esgoto etc. A maior oferta de bens e serviços públicos acompanha e incentiva o crescimento populacional das áreas urbanas. Essa transferência de população para as cidades representa, portanto, um estímulo adicional para a indústria da Construção, que não só se encarrega da oferta

dos bens relacionados como, evidentemente, deve suprir moradias e instalações comerciais nos centros em expansão.

3.1.4 Importância econômica

A importância econômica da Construção Civil é representada pela sua participação no Produto Interno Bruto (PIB). Conforme se pode observar na Tabela 2, a participação do setor industrial no PIB brasileiro, no período de 1970 a 1990, variou entre 34,3% e 40,7% do total, concorrendo a Construção Civil com variações no mesmo período entre 5,4% e 6,9%, o que corresponde a 15,1% e 20,3%, respectivamente, no total das indústrias.

Tabela 2. Participação da Construção Civil no PIB, comparativamente a outros setores.

Setores	1970	1975	1980	1985	1990
Agropecuária	11,6	10,7	10,2	10,2	9,1
Industrial	35,8	40,4	40,7	40,2	34,3
- Extrativa mineral	0,8	0,8	1,0	2,9	1,5
- Transformação	27,4	31,3	31,1	30,0	23,3
- Construção	5,4	6,2	6,7	5,3	6,9
- Serviços utilidade pública	2,2	2,0	1,8	2,1	2,6
Serviços	52,6	48,9	49,1	49,5	56,7
Subtotal	100	100	100	100	100
Participação da Construção na Indústria (%)	15,1	15,4	16,6	13,3	20,3

Fonte: Anuário RAIS 1990 e 1991 (dados de 1970 a 1990).

Em 1990, a indústria em geral reduziu sua participação no PIB para 34,3%, subindo a participação da Construção Civil para 6,9%. Dessa forma, sua participação no total das indústrias chegou a 20,3%. Isso resultou, em termos relativos, em um crescimento mais acentuado nesse setor do que na indústria de transformação. O setor também participa expressivamente na Formação Bruta de Capital Fixo, pois é responsável pela construção de edificações, indústrias, centros comerciais, escolas e hospitais e da população economicamente ativa (PEA). De acordo com FRANCO (1995), em 1980, a Construção foi responsável pela absorção de 7,3% dos trabalhadores ativos quando nesse mesmo período o total das indústrias absorvia 24,9%. Já em 1986, a sua representação caiu para 6,5% da PEA.

Atualmente, a Construção Civil é considerada por alguns autores o “pulmão da economia,” pois é um dos setores mais sensíveis às mudanças econômicas, sendo sua participação

decrecente nos períodos recessivos, enquanto seu crescimento é maior que a média do país em épocas de expansão.

Embora esses indicadores apontem as vantagens desse setor da Economia para a população em geral, os trabalhadores da Construção Civil estão a margem dos benefícios dela decorrentes, sendo que cerca de 25% deles vivem em alojamentos precários fornecidos pela própria empresa, conforme SESI (1990).

3.1.5 Condições de trabalho

As condições de trabalho na Construção Civil revelam uma realidade preocupante em relação ao campo da Saúde Ocupacional. Uma parte expressiva das atividades é realizada manualmente com utilização de ferramentas rudimentares. O ritmo da obra depende das condições financeiras da construtora e do mercado, o que dificulta as decisões de controle dos danos à saúde e influencia no número de acidentes e doenças profissionais. A alta rotatividade de sua mão-de-obra, uma de suas principais características, influencia no treinamento e na conscientização eficaz dos trabalhadores quanto à prevenção de acidentes. À medida que a obra avança, mudam-se as atividades e muito dos profissionais que ela emprega. No começo instala-se o canteiro, envolvendo sobretudo carpinteiros e eletricitas; em seguida, vêm as fundações, geralmente feitas por mão-de-obra pouco qualificada e transitória. Na terceira etapa, a de levantamento de estrutura, a permanência do operário é mais longa e a população do canteiro atinge seu pico máximo sendo formada, principalmente, por pedreiros, armadores, carpinteiros, eletricitas e ajudantes em geral. No acabamento, permanecem ou são acrescentados os trabalhadores mais especializados para dar conta dos serviços de revestimento, colocação de azulejos, pintura, impermeabilização e outros.

O trabalho é desenvolvido sob a influência de agentes físicos como: calor, vibrações, ruídos, radiações e agentes químicos na forma de poeiras, gases e vapores líquidos. Os efeitos desses agentes são fatores determinantes da velhice precoce e das doenças profissionais dos operários. Além disso, esse setor industrial apresenta um grande número de acidentes do trabalho relacionados às más condições de segurança dos canteiros de obra, à falta ou uso inadequado de equipamentos de proteção individual (EPIs), à baixa de instrução, à falta de treinamento adequado e ao ritmo de trabalho imposto por pressões mercadológicas.

As instalações elétricas da maioria dos canteiros de obras apresentam inúmeras deficiências, como exposição de partes vivas dos circuitos e dos equipamentos elétricos; falta de disjuntores, chaves magnéticas e dispositivos de bloqueio de acionamento elétrico; fiação em mau estado de conservação, solta e desencapada; falta de aterramento e outros. É frequente encontrar equipamentos de combate a incêndio em número insuficiente, mal distribuídos e não sinalizados corretamente. As proteções contra queda costumam ser precárias. Há falta de guarda-corpos nos acessos a poços de elevadores, andaimes, aberturas de pisos e lajes e nas passarelas de acesso entre estruturas de concreto armado. Contribui para o aumento de quedas a falta ou a má iluminação da obra em corredores, escadas e elevadores dos edifícios em construção. De acordo com o SESI (1994) são poucas as plataformas de proteção (bandejas) e em muitas obras não se faz uso de telas de proteção externa.

Os EPIs mais utilizados são capacetes, luvas e botas de segurança. Contudo, não é eficaz a obrigatoriedade do uso desses e de outros EPIs, como protetores auriculares que visam à proteção auditiva, óculos para prevenir lesões nos olhos e cintos de segurança para evitar quedas. A falta de uma atuação firme da empresa no sentido do uso efetivo desses EPI's não raramente geram sérias lesões e morte no caso de acidente.

As máquinas e os equipamentos de transporte vertical de materiais são, muitas vezes, manejadas por pessoas sem formação adequada, o que costuma resultar em acidentes.

Segundo o SESI (1991b) dermatoses relacionadas com as atividades executadas na obra são freqüentemente diagnosticadas. Destacam-se os eczemas de contato com cimento, luvas e calçados sintéticos, as micoses nos pés pelo uso de calçados apertados ou úmidos e, em menor freqüência, a hiperqueratose palmar. São comuns também problemas musculares e osteoarticulares, predominantemente lombalgias decorrentes da prática usual de levantamento e transporte manual de peso.

A maioria dos canteiros de obras apresenta deficiência na ordem e limpeza devido à falta de *layout*, ao ritmo da obra, ao acúmulo de materiais e entulhos e à insuficiência de dispositivos de acesso.

Outro problema constatado é a deficiência auditiva, em diferentes níveis, adquirida por operários em virtude da exposição ao ruído nos canteiros de obras, o qual será melhor explicado nos capítulos posteriores.

No Brasil, a legislação de segurança e saúde do trabalho na indústria e no campo são aprovadas por meio de portarias pelo Ministério do Trabalho (MTb). O MTb (1978) revisa e publica periodicamente as alterações da Portaria nº 3.214 que abrange as atividades de trabalho em geral. Embora nessa portaria se encontrem 29 normas regulamentadoras (NRs) que estabelecem as condições mínimas de prevenção de acidentes e doenças do trabalho a serem observadas por empregadores e empregados, uma NR específica foi elaborada para a Construção Civil, a NR 18: “Condições e Meio Ambiente do Trabalho na Indústria da Construção”. Ela estabelece, entre outras medidas, que nos estabelecimentos com 20 (vinte) ou mais trabalhadores são obrigatórios a elaboração e o cumprimento do Programa de Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção (PCMAT), que deve conter:

- a) um memorial sobre condições e meio ambiente de trabalho nas atividades e operações, levando-se em consideração riscos de acidentes e de doenças do trabalho e suas respectivas medidas preventivas;
- b) um projeto de execução das proteções coletivas em conformidade com as etapas de execução da obra;
- c) a especificação técnica das proteções coletivas e individuais a serem utilizadas;
- d) o cronograma de implantação das medidas preventivas definidas no PCMAT;
- e) o *layout* inicial do canteiro de obras, com, inclusive, previsão do dimensionamento das áreas de vivência;
- f) o programa educativo que contemple a temática de prevenção de acidentes e doenças do trabalho com sua respectiva carga horária.

Mesmo existindo uma legislação adequada voltada para a saúde e segurança do operário da Construção Civil, são notórios as más condições de trabalho e o alto índice de acidentes do setor. Esses fatores oneram o Estado por meio dos repasses financeiros via Previdência Social, a família mediante a perda parcial ou total de seus recursos financeiros e o trabalhador pelas lesões deixadas pelo acidente do trabalho que o incapacita para o exercício de sua profissão e, muitas vezes, do convívio social.

3.2 O som

Ondas sonoras ou som são definidas como ondas mecânicas longitudinais que podem propagar-se em meio sólido, líquido e gasoso. São mecânicas, porque necessitam de um meio de propagação e longitudinais porque as partículas materiais responsáveis por sua transmissão oscilam paralelamente à direção de propagação.

As ondas sonoras são produzidas por elementos vibrantes como cordas do violino e piano, máquinas rotativas, jato de ar comprimido, placas e painéis vibrantes e outros. As vibrações desses elementos transmitem-se por compressões e rarefações do ar que os rodeia até atingirem o ouvido. O lugar geométrico onde as pressões são máximas é chamado de frentes de onda. Sob o impacto das sucessivas frentes de onda, o tímpano do ouvido vibra na mesma frequência da fonte, sensibilizando o nervo auditivo, que transmite impulsos para o cérebro onde surge então a sensação auditiva.

3.2.1 Propriedades do som

São propriedades básicas das ondas a frequência, o período e o comprimento de onda. A frequência (f) é definida pelo número de oscilações ou ciclos por unidade de tempo e no Sistema Internacional é dada em Hertz (Hz). Período (T) é o tempo necessário para que a onda complete um ciclo ou o tempo necessário para que, em dado ponto, o fenômeno se repita em amplitude e fase. Comprimento de onda (λ) é a distância percorrida pela onda durante um ciclo ou uma oscilação completa. Velocidade de propagação de uma onda (c) é uma grandeza derivada de λ e f e pode ser obtida pela equação:

$$c = \lambda \cdot f \quad < 1 >$$

A **Figura 1** mostra a representação de uma onda sonora realizando um ciclo em um período de 0,01 segundo. Diz-se nesse caso, que a frequência (f) da onda é igual a 100 ciclos/s ou 100 Hz. Podem-se observar, neste exemplo, as variações de pressão (Δp) em torno da pressão atmosférica em determinado ponto do espaço causadas pelas contrações e expansões do ar.

Os sons audíveis estão na faixa de frequência entre 20 e 20.000 Hz. Abaixo de 20 Hz, encontram-se os infra-sons e acima de 20.000 Hz, os ultra-sons. A faixa de frequência audível pode ser subdividida em outras três, que caracterizam os sons graves, médios e agudos. Os sons

graves são compostos por frequências entre 20 e 200 Hz. Os sons médios, por frequências entre 200 e 2.000 Hz e os sons agudos, entre 2000 e 20.000 Hz.

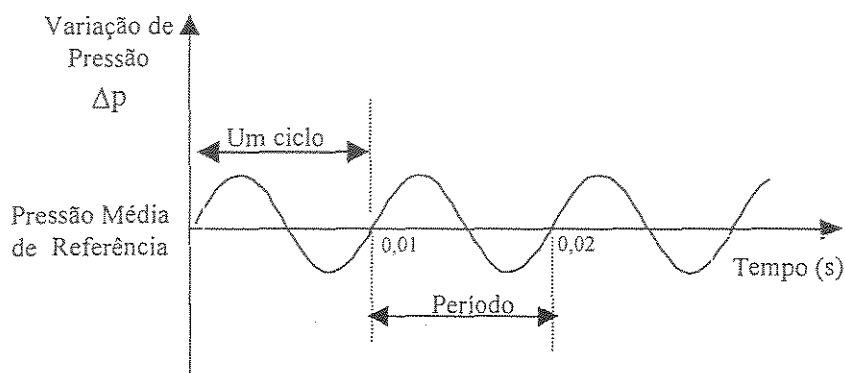


Figura 1. Representação da onda senoidal em determinado ponto do espaço.
Fonte: ASTETE e KITAMURA (1978), p. 8.

3.2.2 Classificação dos sons

Em geral, podemos distinguir entre sons periódicos e aperiódicos. Os periódicos originam-se de vibrações ou ondas regulares no tempo, e os aperiódicos são oriundos de vibrações aleatórias. Para esse tipo de som, é muito difícil e quase impossível prever a forma de onda em determinado instante. Os ruídos gerados por automóveis, cachoeiras e alguns sons da fala, sobretudo os sibilantes, são exemplos de sons aperiódicos.

Chamamos de tom puro o som periódico formado de uma só frequência, como é caso do som gerado por um diapasão. No entanto, na natureza é difícil encontrarmos tons puros; geralmente ouvimos sons complexos. Esses podem ser definidos como ondas sonoras compostas de uma série de senóides simples que podem diferir em amplitude, frequência e fase. A voz humana e o som produzido por instrumentos musicais ou por explosões constituem alguns exemplos de sons complexos.

Neste trabalho, como Gerges (1992), chamaremos ruído o som indesejável como aqueles gerados por máquinas, trânsito, explosões e outros

Uma das classificações de ruído muito utilizada é a descrita na norma ISO 2204 (1979), *Acoustics - Guide to the measurement of airborne acoustical noise and evaluation of its effects on man*. De acordo com essa norma, os ruídos podem ser classificados, em relação ao tempo, como:

1) contínuo: ruído com variações de níveis desprezíveis (± 3 dB) durante o período de observação;

2) não contínuo: ruído cujo nível varia significativamente no período de observação;

3) flutuante: ruído cujo nível varia continuamente de um valor apreciável durante o período de observação;

4) intermitente: ruído cujo nível cai rapidamente ao nível do ambiente várias vezes no período de observação; a duração na qual o nível permanece em valores constantes diferentes do ambiental é da ordem de um segundo ou mais;

5) de impacto ou impulsivo: o que apresenta picos de energia acústica de duração inferior a um segundo em intervalos superiores a um segundo.

Outra classificação mais simplificada é descrita na norma NHO 01 da FUNDACENTRO (1999). Segundo essa norma, os ruídos podem ser:

1) contínuo ou intermitente: todo e qualquer ruído que não se classifique como ruído de impacto ou impulsivo;

2) ruído de impacto ou impulsivo: ruído que apresenta picos de energia acústica de duração inferior a um segundo, a intervalos superiores a um segundo.

3.2.3 Propagação do som

A propagação das ondas sonoras não ocorre sem que elas encontrem em sua trajetória forças friccionais, que fazem com que a amplitude do som produzido diminua com o tempo e com a distância da fonte sonora. Quando não há nenhum obstáculo no caminho da onda sonora que se interponha à sua passagem bloqueando-a, tem-se uma condição denominada transmissão em campo livre.

A propagação do som no ar, em campo livre, é assim explicada por NEPOMUCENO (1977): “Ao aplicar pressão às moléculas próximas ao gerador (fonte sonora), estas se deslocam, transmitindo, por meio de forças elásticas, o seu movimento para as moléculas mais próximas, e voltam à posição de equilíbrio. Então, se admitirmos as moléculas como fixas no espaço, teremos que as mais próximas da fonte executam movimento de vaivém, transmitem tais movimentos para as moléculas seguintes que, por sua vez, os transmitem às seguintes e assim, sucessivamente, até

que o som atinja grandes distâncias, sendo atenuado por absorção e sua transformação em calor”. A **Figura 2** esquematiza o processo.

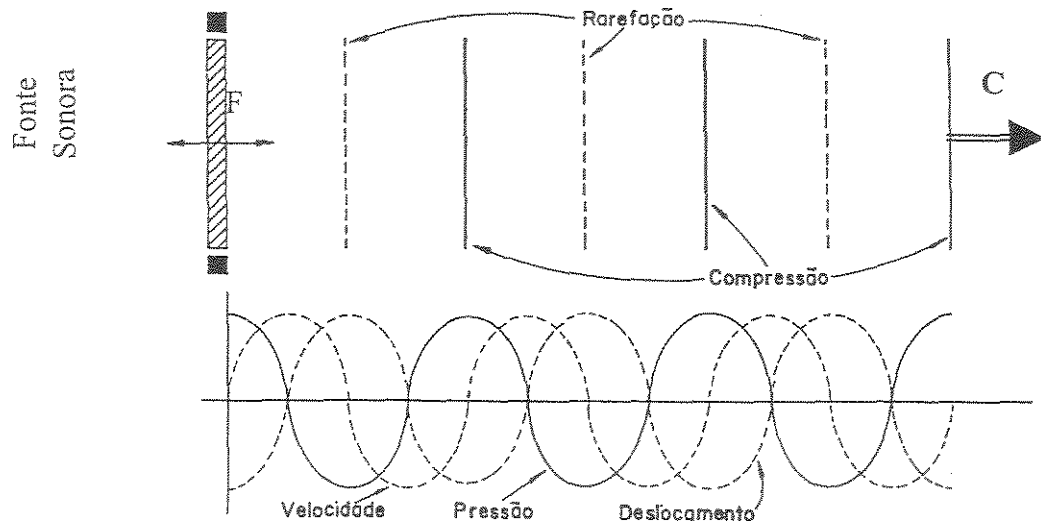


Figura 2. Representação da propagação do som no ar.
Fonte: NEPOMUCENO (1977), p. 26, modificado.

A velocidade de propagação do som no ar depende da pressão e da densidade. Matematicamente pode ser obtida pela expressão:

$$c^2 = 1,4 p_{at} / \rho, \quad (\text{m/s})^2 \quad < 2 >$$

onde:

p_{at} é a pressão atmosférica em N/m^2 ;

ρ é a densidade do ar em kg/m^3 ;

1,4 é a razão do calor específico à pressão constante pelo calor específico a volume constante.

Considerando que o ar se comporta como um gás ideal, é possível mostrar que a velocidade do som depende apenas da temperatura absoluta do ar (T), em Kelvin. Assim temos:

$$c = 20,05 \cdot T^{1/2}, \quad \text{m/s} \quad < 3 >$$

Pelo exposto por NEPOMUCENO (1977), o som também pode ser definido como uma forma de energia transmitida pela colisão das moléculas de ar, umas contra as outras, sucessivamente. Portanto, o som pode ser representado pela energia que possibilita a sua

propagação. Uma forma de representação dessa energia é por meio da grandeza intensidade sonora.

3.2.4 Intensidade sonora

Define-se intensidade sonora (I) como a energia que atravessa a unidade de área, perpendicular à direção de propagação, na unidade de tempo. No Sistema Internacional a unidade para a intensidade é Watt por metro quadrado (W/m^2).

Se considerarmos uma fonte pontual emitindo ondas esféricas omnidirecionais propagando-se em campo livre, a variação de intensidade sonora (I) com a distância (d) pode ser calculada, por:

$$I = W / 4\pi d^2 \quad < 4 >$$

onde: d é a distância entre o ponto a ser considerado e a fonte;

W é a potência sonora da fonte;

I é a intensidade sonora.

Para ondas esféricas, a área da frente de onda aumenta com o quadrado da distância da fonte. Como a produção de energia é constante, a intensidade na direção de propagação decresce na mesma proporção. Essa relação entre intensidade e distância é conhecida como a lei do inverso do quadrado da distância.

Uma vez que haja um objeto na trajetória do som, parte dele será refletido, parte absorvido e o restante transmitido, passando pelo obstáculo ou, até mesmo, contornando-o. Conseqüentemente a energia sonora incidente (I) poderá se refletida (I_r), absorvida (I_a) ou transmitida (I_t) conforme as características físicas do obstáculo, as quais determinam a resistência que ele irá oferecer à passagem das ondas, ou seja, da impedância específica do obstáculo. Nesse processo, apenas uma parte da intensidade absorvida é transmitida, enquanto a outra se transforma em calor. A **Figura 3** representa formas de propagação de uma onda sonora que atinge um obstáculo. Aplicando o conceito de conservação de energia, teremos a seguinte expressão:

$$I = I_a + I_r + I_t \quad < 5 >$$

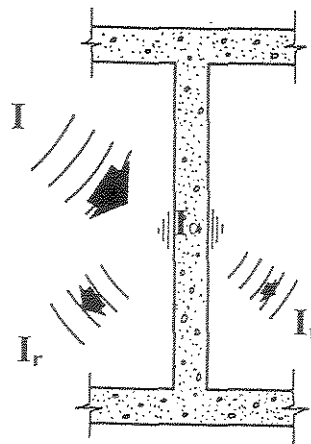


Figura 3. Formas de propagação do som incidente em um obstáculo.

3.2.5 Pressão sonora

A pressão sonora deve ser entendida como a diferença instantânea entre a pressão atmosférica na presença do som e a pressão atmosférica na ausência de som no mesmo ponto do espaço. No Sistema Internacional a unidade de pressão é dada em Newtons por metro quadrado (N/m^2), também conhecida como Pascal (Pa).

3.2.5.1 Pressão sonora eficaz

Ruído é um som complexo que pode ser decomposto em tons de várias frequências. Dessa forma é possível somar tons puros, isto é, ondas sonoras de uma frequência, e obter como resultado outra onda, dita complexa. Assim, a variação de pressão num ponto causada por dois geradores de tom puro pode ser representada por ondas senoidais como as descritas abaixo:

$$p_1(t) = p_1 \cdot \cos(w_1 t + \phi_1) \quad < 6 >$$

$$p_2(t) = p_2 \cdot \cos(w_2 t + \phi_2) \quad < 7 >$$

onde: $p_{1,2}$ são amplitudes de pressões;

$w_{1,2}$ são as frequências angulares;

t é o tempo;

$\phi_{1,2}$ são as fases das ondas.

Logo, a soma das pressões instantâneas será:

$$p(t) = p_1(t) + p_2(t) = p_1 \cdot \cos(w_1 t + \phi_1) + p_2 \cdot \cos(w_2 t + \phi_2) \quad < 8 >$$

BERANEK (1988) desenvolve essa equação, considerando frequências diferentes para cada tom, para chegar ao valor eficaz ou rms (root-mean-square) da pressão sonora, ou seja:

$$p_{rms} = (p_1^2 + p_2^2 + p_3^2 + \dots + p_n^2)^{1/2} \quad < 9 >$$

A relação entre a intensidade e a pressão eficaz é dada pela equação 10. Essa relação é importante, pois é muito mais fácil medir pressão que intensidade, que exige instrumentos e técnicas mais complexas.

$$I = p_{rms}^2 / \rho c \quad < 10 >$$

onde: ρ é a densidade do ar
 c é velocidade do som no ar

Os sensores dos instrumentos de medidas de níveis de pressão sonora (microfones) são excitados pela variação de pressão no meio e medem, na verdade, a pressão p_{rms} . Após a medição, as p_{rms} são utilizadas por outros circuitos para expressá-las em termos de níveis de pressão sonora.

3.2.5.2 Níveis de pressão sonora

A pressão sonora nas proximidades de um motor potente pode atingir valores superiores a 200 N/m², que corresponde a um milhão de vezes a mínima pressão audível. Para facilitar o manuseio dessa grande faixa de valores, utilizam-se os chamados níveis de pressão sonora em vez de pressão sonora. Define-se o nível de pressão sonora L correspondente a uma pressão sonora p pela seguinte relação:

$$L = 10 \cdot \log (p/p_0)^2 = 20 \cdot \log (p/p_0), \text{ dB} \quad < 11 >$$

onde: p_0 é a pressão de referência igual a 0,00002 N/m².

A unidade de nível de pressão sonora é o decibel, escrito abreviadamente dB. Dada uma pressão sonora, dobrá-la equivale a incrementar 6 dB no nível de pressão sonora.

A **Tabela 3** mostra essa relação logarítmica em termos de níveis sonoros e das respectivas fontes ruidosas, em que se pode observar que, em intervalos correspondentes, a pressão varia dez vezes enquanto os níveis de pressão variam de 20 unidades.

Tabela 3. Exemplos de ocorrência de NPSs correspondentes à pressão sonora.

NPS Re 0,00002 (dB)	Pressão Sonora (N/m ²)	Descrição
140	200	<i>Limiar de dor</i>
130		<i>Sirene de alarme público (a 2 m dist.)</i>
120	20	<i>Dinamômetro motores diesel (a 1 m dist.)</i>
110		<i>Serra fita (p/ madeira ou metais a 1 m dist.)</i>
100	2	<i>Prensas excêntricas</i>
90		<i>Caminhão diesel 80 km/h (a 15 m dist.)</i>
80	0,2	<i>Escritório barulhento</i>
70		<i>Carro de passageiros a 80 km/h (a 15 m dist.)</i>
60	0,02	<i>Conversação normal (a 1 m dist.)</i>
50		
40	0,002	<i>Local residencial tranquilo</i>
30		
20	0,0002	<i>Tique-taque do relógio</i>
10		
0	0,00002	<i>Limiar de audibilidade</i>

Fonte: MENDES (1980).

3.2.5.3 Nível sonoro global (N_g)

A energia sonora presente em um ambiente de trabalho é a soma de parcelas emitidas por várias fontes sonoras. Essa energia é captada por certos equipamentos acústicos e transformada em um nível sonoro global. Assim, se duas máquinas geram, em determinado ponto de medição, as pressões p_1 e p_2 , a energia total presente nesse ponto será proporcional à soma dos quadrados das pressões p_1 e p_2 . Em cada ponto do ambiente do trabalho há uma participação de várias fontes na formação do nível sonoro global que pode ser calculado conforme o desenvolvimento matemático a seguir.

Utilizando-se a equação 11 e isolando-se a pressão quadrática, temos:

$$p^2 = p_0^2 \cdot 10^{L/10} \quad <12>$$

Considerando a presença de apenas duas fontes no ambiente, temos que:

$$P_t^2 = p_1^2 + p_2^2 \quad <13>$$

Substituindo a equação 11 em 13, obtemos:

$$P_t^2 = p_0^2 \cdot 10^{L_1/10} + p_0^2 \cdot 10^{L_2/10} \quad <14>$$

ou

$$P_t^2 / p_0^2 = 10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} \quad <15>$$

Então o nível sonoro global total (L_G) é dado por:

$$L_G = 10 \cdot \log P_t^2 / p_0^2 = 10 \cdot \log (10^{L_1/10} + 10^{L_2/10}) \quad <16>$$

ou

$$L_G = 10 \cdot \log (10^{L_1/10} + 10^{L_2/10}) \quad <17>$$

Portanto, para n fontes sonoras, o nível de pressão sonora total pode ser obtido pela expressão:

$$L_G = 10 \cdot \log (10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \dots + 10^{L_{n-1}/10} + 10^{L_n/10}) \quad <18>$$

3.2.6 Exposição sonora ($E_{A,T}$)

O potencial de dano à audição de dado ruído depende da exposição sonora do indivíduo, isto é, dos níveis sonoros e das respectivas durações. Por exemplo, uma exposição de um minuto a 100 dB(A) não é tão prejudicial quanto uma de 60 minutos a 90 dB(A). A norma ISO 1999 (1990) define exposição sonora ponderada A ($E_{A,T}$) como o resultado da integração no tempo das pressões sonoras compensadas no circuito² A, $P_A(t)$, elevadas ao quadrado, em um período de tempo determinado. A $E_{A,T}$ é expressa em Pascal ao quadrado vezes segundo ($\text{Pa}^2 \cdot \text{s}$) e calculada pela seguinte expressão:

$$E_{A,T} = \int_1^2 P_A^2(t) \cdot dt \quad <19>$$

² Circuito de compensação A é um circuito eletrônico montado em equipamento de medições sonoras que visa dar ao equipamento a mesma resposta do ouvido diante do estímulo sonoro. Ver item 2.3.2 deste trabalho.

onde $P_A(t)$ é a pressão do sinal sonoro sonora ponderada no circuito eletrônico A integrado no período T , iniciando em t_1 e terminando em t_2 .

O período (T), medido em segundos, em geral pode cobrir um dia inteiro de exposição ocupacional ao ruído (usualmente oito horas ou 28.800 segundos) ou ainda um longo período determinado, por exemplo, uma semana de trabalho.

Em virtude da impossibilidade de medir a exposição diária do trabalhador por longos períodos como meses e anos, utilizam medidas representativas da vida de exposição do trabalhador. Porém, há situações concretas em que, mesmo utilizando oito horas diárias ou 48 horas semanais de avaliação, não é possível ou viável determinar um nível médio **representativo** da exposição da vida laboral do trabalhador. Isso acontece quando a exposição não é contínua.

Considera-se **exposição contínua** aquela em que é possível determinar um valor médio **representativo** da exposição da vida laboral do trabalhador em um curto período de tempo (oito a 48 horas); e, por exclusão, define-se **exposição não contínua** como aquela em que os níveis médios diários ou semanais **não são representativos** da exposição da vida laboral do trabalhador, pois variam de valores significativos. Esse é o caso da exposição de trabalhadores em atividades diversas, como manutenção, supervisão, e de algumas categorias profissionais da Construção Civil, como ajudantes, armadores e carpinteiros.

Na Construção Civil, a grande variação dos níveis médios diários e/ou semanais ocorre, mesmo considerando esses períodos de avaliação, porque não há uma seqüência diária de tarefas semelhante as da indústria mecânica ou têxtil. Cada profissional executa um número grande de tarefas que podem durar horas ou semanas e apresentam diferentes níveis sonoros dependendo das condições ou da fase da obra.

3.2.6.1 Dose de exposição ao ruído ocupacional

Dose (D) é um parâmetro para caracterização da exposição ocupacional ao ruído expresso em porcentagem de energia sonora. Tem por referência o valor máximo de energia sonora diária permitida e pode ser calculada pela seguinte equação:

$$D = C_1/T_1 + C_2/T_2 + C_3/T_3 + \dots + C_n/T_n \quad < 20 >$$

onde: C_n é o tempo total que o trabalhador fica exposto a um nível de ruído específico;

T_n é a duração máxima da exposição diária permissível a esse nível, conforme a Tabela 4.

Tabela 4. Duração máxima diária de exposição permissível em função do nível de ruído.

Nível de Ruído dB(A)	Tempo Máximo Diário Permissível (minutos)
80	1.524
81	1.210
82	960
83	762
84	605
85	480
86	381
87	302
88	240
89	190
90	150
91	120
92	95
93	75
94	60
95	48
96	38
97	30
98	24
99	19
100	15
105	4,7
110	1,5
115	0,5

Fonte: FUNDACENTRO (1999), modificada.

Se durante a jornada de trabalho ocorrerem dois ou mais períodos de exposição a ruídos de diferentes níveis, devem ser avaliados os seus efeitos combinados, conforme a equação 20, de forma que, se uma ou a soma de duas ou mais frações exceder a unidade, a exposição será considerada acima dos limites permissíveis ou de tolerância.

3.2.6.2 Nível de exposição equivalente e nível de exposição normalizado

Outro parâmetro para caracterização da exposição ocupacional ao ruído é o nível de exposição equivalente (N_{eq}), expresso em dB(A) que é dado pela equação:

$$N_{eq} = 10 \cdot \log 1/T \cdot \int_0^T (p(t) / p_0)^2 dt \quad < 21 >$$

onde: T é o tempo de integração;

p(t) é a pressão acústica instantânea;

p₀ é a pressão acústica de referência ($2 \cdot 10^{-5}$ N/m²).

Pode-se escrever também, utilizando a equação 18, o Neq em termos de níveis de pressão sonora, da seguinte forma:

$$N_{eq} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_0^T 10^{L_A/10} dt \right] \quad < 22 >$$

onde: t é o tempo dado em segundos;

L_A é o nível de pressão sonora instantânea em dB(A).

O nível de exposição normalizado (NEN) corresponde à energia acústica média que tem o mesmo potencial de lesão auditiva que o conjunto de todos os níveis considerados dentro do período de integração.

Geralmente, para comparação com regras técnicas e legais, normaliza-se a jornada de trabalho em um período (T) de oito horas por dia. Assim, é possível comparar as exposições reais dos trabalhadores expressas pelo NEN com os níveis admissíveis conhecidos como **limites de tolerância**. Os níveis de exposição podem ser expressos pela seguinte equação:

$$NEN = N_{eq} + 10 \log(te/to) \quad < 23 >$$

onde: NEN é o nível de exposição normalizado;

te é a duração efetiva do dia de trabalho;

to é a duração de referência (usualmente oito horas).

O NEN relaciona-se com a exposição ponderada A, $E_{A,Te}$, por meio da equação 24. Valores selecionados de $E_{A,Te}$ e correspondentes NENs são apresentados na Tabela 5.

$$NEN = 10 \log [E_{A,Te} / 1,15 \cdot 10^{-5}] \quad < 24 >$$

onde $1,15 \cdot 10^{-5}$ é o nível de exposição normalizado de referência.

No campo da Higiene Ocupacional o NEN é utilizado como parâmetro de controle de saúde auditiva, ou seja, estabelece-se que em ambientes de trabalho a exposição ao ruído, representada pelo NEN, não pode exceder dado valor na jornada diária básica de trabalho (geralmente de oito horas) sob pena de, ao longo dos anos, poder causar danos irreversíveis aos ouvidos dos indivíduos expostos.

Tabela 5. Exposições sonoras ponderadas pelo circuito A e correspondentes NENs.

$E_{A,Te}$ $Pa^2.s (x 10^3)$	NEN dB(A)
0,364	75
0,458	76
0,576	77
0,728	78
0,913	79
1,15	80
1,45	81
1,82	82
2,29	83
2,89	84
3,64	85
4,58	86
5,76	87
7,28	88
9,13	89
11,5	90
14,5	91
18,2	92
22,9	93
28,9	94
36,4	95
45,8	96
57,6	97
72,6	98
91,3	99
115	100

Fonte: ISO 1999 (1990).

A aplicação do NEN como índice de preservação da saúde auditiva implica a adoção do princípio de igual energia. Da aplicação desse princípio decorre que o nível de exposição não se altera quando se dobra a energia sonora e diminui a duração de exposição pela metade. O dobro da energia corresponde a um acréscimo de 3 dB no Neq; a metade da energia corresponde à diminuição de 3 dB. Nesses casos, a duração da exposição são respectivamente a metade e o dobro.

3.2.7 Outros modelos derivados de exposição sonora

A avaliação da exposição sonora depende da escolha de vários parâmetros como incremento de duplicação de dose³ (IDD), nível de corte⁴ (L_0), nível critério⁵ (L_c) e duração critério (T_c) ou duração-padrão de um dia de trabalho. Da escolha desses parâmetros decorrem vários modelos similares de avaliação que envolvem uma interação complexa entre fatores legais, psicológicos, físicos, econômicos e políticos. Os resultados obtidos em cada modelo são diferentes. Uns alcançam um índice de exposição maior, outros menor, o que pode representar às empresas e aos órgãos governamentais uma menor ou maior disposição de recursos humanos e financeiros no controle do ruído.

Na norma ANSI S1.25 (1991) é apresentada uma equação paramétrica geral empregada em vários modelos de avaliação da exposição sonora. Com a escolha apropriada de parâmetros, é possível definir alguns níveis médios com base nos IDD de 3, 4 ou 5 dB. A equação 25, usada pela ANSI S1.25 (1991), é idêntica à utilizada para calcular o Neq (equação 22), exceto pelo coeficiente principal que foi substituído por q , e a resposta do medidor que é explicitamente recomendada para *slow*. Para diferenciar Neq de outras medidas derivadas da equação 25, os profissionais de acústica em geral fazem uso também do termo nível médio sonoro (L_{av}).

$$L_{av}(I_{dd}) = q \log \left[\int_0^T 10^{L_{A'}/q} dt \right] \quad < 25 >$$

onde: I_{dd} é o IDD em dB ;

³ Sobre IDD, ler item 2.4.3 desta tese.

⁴ Sobre L_0 ler a parte final do item 3.2 desta tese.

⁵ É o nível sonoro constante que, se aplicado por oito horas, acumula a dose de 100%.

$$q = I_{dd} / \log 2;$$

L_A é o nível sonoro ponderado no circuito A medido no circuito de resposta *slow*.

Para um IDD de 3 dB, q é igual a 10 dB, para um IDD de 4 dB, é igual a 13,3 e para um IDD de 5 dB q é igual a 16,6.

A OSHA utiliza o nível médio ponderado no tempo TWA (*time weighted average*) em avaliações de exposição, o qual independe da duração da exposição real ao ruído. O período de avaliação para o TWA é sempre oito horas que corresponde à duração-padrão da jornada diária de trabalho. Portanto, para calculá-lo usando a equação 25, o coeficiente $1/T$ deve ser substituído por $1/8$, o tempo tem de ser expresso em horas e o IDD deve ser igual a 5.

Há um fator adicional relacionado com a dose de ruído que tem de ser considerado na medida do TWA. Algumas normas internacionais adotam um nível sonoro limite (ou de corte), L_o . Qualquer som com nível menor do que este é descartado da medida. Portanto:

se $L_A \geq L_o$, L_A não é afetado;

se $L_A < L_o$, L_A deve ser substituído por menos infinito ($-\infty$).

Uma relação importante entre a exposição máxima permitida (T_p), o nível critério (L_c) e o IDD escolhido é apresentada pela equação 26:

$$T_p = T_c / 2^{(L_A - L_c) / I_{dd}} \quad < 26 >$$

onde T_p é a exposição máxima permitida (em horas) a dado nível sonoro (L).

A **Figura 4** apresenta três curvas traçadas conforme a equação 26 baseadas em um tempo critério (T_c) de oito horas. Podem-se observar nessas curvas algumas combinações entre o incremento de duplicação de dose (IDD) e o nível critério (L_c). A curva do IDD de 5 dB e L_c igual a 90 dB é utilizada pela OSHA. A curva de IDD de 4 dB e L_c de 84 dB é adotada pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos e a curva de IDD de 3 dB e L_c de 90 dB é seguida por alguns países europeus. Embora essa seja uma fórmula geral, há limitações para variações entre o tempo de exposição permissível e o nível sonoro. Por exemplo, atualmente a OSHA não permite nenhuma duração de exposição acima de 115 dB(A), exceto para ruídos impulsivos. O

Brasil adotou o IDD de 5 dB e o nível critério de 85 dB(A) em 1974. A adoção desses parâmetros baseou-se nas pesquisas da época da ACGIH e permanece até hoje.

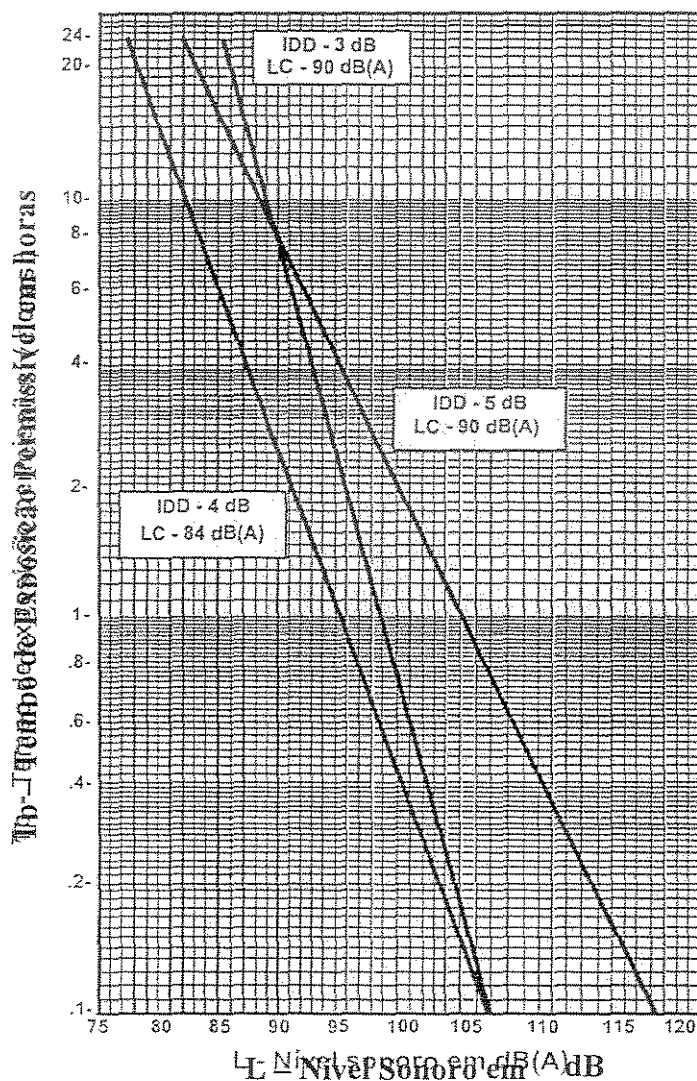


Figura 4. Tempo de exposição permissível *versus* níveis sonoros em dB(A).

Fonte: WARD et al. (1986).

3.2.8 Medidores de ruído

A idéia de tais equipamentos é simular a resposta do ouvido quando excitado pelas ondas sonoras. Essa resposta é não-linear em relação à frequência. Por isso, os equipamentos possuem circuitos de compensação que alteram a resposta linear do microfone, visando compensar tal linearidade de maneira que o instrumento, como um todo, forneça uma leitura próxima da do ouvido. A compensação é feita por meio da atenuação do sinal acústico em

algumas frequências, por meio de circuitos projetados conforme curvas isoaudíveis traçadas com dados colhidos em testes subjetivos. As respostas desses circuitos são apresentadas na **Figura 5**.

Os primeiros três circuitos, A, B e C, foram criados com base em curvas isoaudíveis de níveis de 40, 70 e 100 fons⁶, respectivamente. Hoje, esses circuitos são projetados de acordo com os dados de compensação estabelecidos pela norma IEC 651 (1979), que divergem razoavelmente das primeiras curvas isoaudíveis traçadas por FLECHER-MUNSON (1933) *apud* NEPOMUCENO (1977). Atualmente, para conservação auditiva, adota-se apenas o circuito A em avaliações que envolvem ruído contínuo e/ou intermitente. Para avaliações que envolvem ruído de impacto, utiliza-se o circuito C ou de pico desenvolvido especificamente para esse fim.

Outros circuitos foram desenvolvidos para medições específicas. O circuito linear (Lin) para medir níveis de pressão sonora sem nenhuma compensação (atenuação ou aumento do nível sonoro por frequência) é utilizado em estudo de máquinas e em normalizações específicas, enquanto o circuito D, atualmente, é utilizado apenas em medições do ruído de aeronaves.

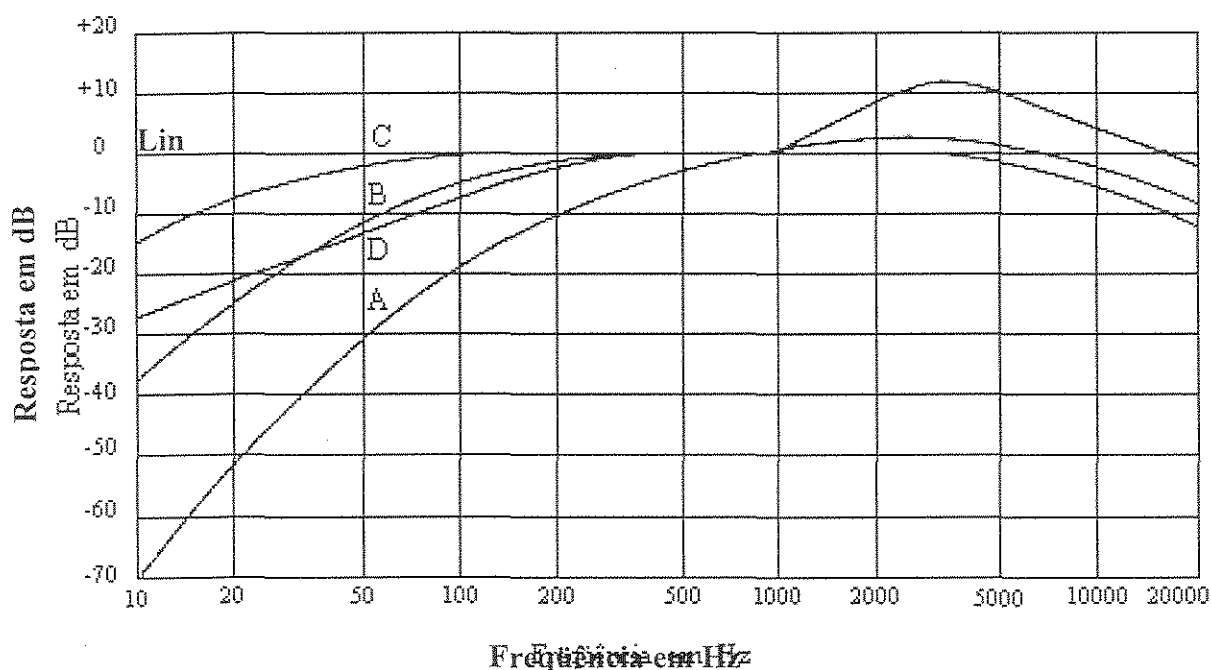


Figura 5. Curvas de resposta do ouvido em relação à frequência.
Fonte: NEPOMUCENO (1977), p. 169.

⁶ Sobre fons, ver item 2.3.4 deste trabalho.

Os medidores de ruído são constituídos basicamente por um transdutor (microfone de precisão ou receptor) que transforma a pressão sonora num sinal elétrico, filtros de ponderação, amplificadores de sinal de alta qualidade, retificadores e um sistema de detecção formado por um galvanômetro e um mostrador que indica o nível de ruído em dB. Esses equipamentos devem ajustar-se às normas estabelecidas internacionalmente como as da *International Organization for Standardization* (ISO) e da *International Electrotechnical Commission* (IEC). Um esquema simplificado desses medidores é apresentado na **Figura 6**.

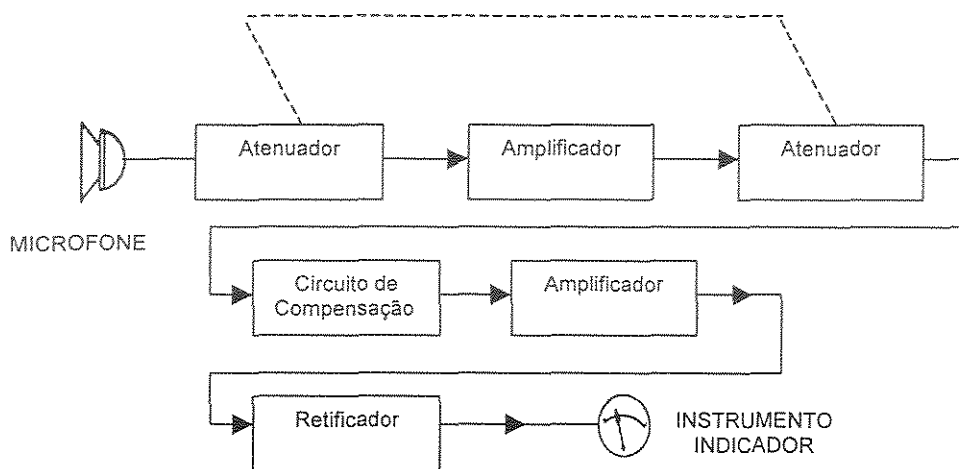


Figura 6. Estrutura de um medidor de níveis sonoros.

Fonte: NEPOMUCENO (1977), p. 103.

Os medidores de ruído geralmente são unidades autônomas miniaturizadas, fáceis de transportar e usar, como mostrado na **Figura 7**.



Figura 7. Medidor de NPS com mostrador analógico.

Fonte: Mine Safety Appliance Company (MSA).

Em conformidade com a norma IEC 651 (1979), esses equipamentos, além dos circuitos de compensação em relação à frequência, devem dispor de circuitos de ponderação em relação ao tempo para resposta rápida (*fast*), lenta (*slow*) de impacto e de pico que são utilizados conforme o ruído a ser medido.

Dada a complexidade com que o ruído se apresenta nos ambientes de trabalho, variando em relação ao nível, à frequência e ao tempo, foram desenvolvidos equipamentos especiais, como os apresentados na FIGURA 8 (a, b), que além de medirem os níveis sonoros compensados já os integram em relação ao tempo. Essa integração resulta em um nível de exposição médio representativo de todo o período avaliado, denominado nível equivalente, Neq .



Figura 8. Medidor integrador de níveis sonoros (a) e dosímetro de ruído (b).

Fonte: QUEST TECHNOLOGIES (1997).

A medida do Neq é utilizada principalmente em trabalhos cujas tarefas são executadas em diversos ambientes de trabalho que apresentam variações de níveis de pressão sonora maiores que ± 3 dB(A).

Em geral, dois tipos de equipamento são utilizados para avaliar o risco de danos auditivos nessas condições: os medidores integradores de níveis sonoros e os dosímetros de ruídos. Os primeiros são carregados pelo avaliador, que segue o trabalhador, medindo a sua exposição em todos os locais de trabalho (Figura 8 a). Os dosímetros são portados pelos trabalhadores durante todo ou uma parte do período de avaliação (Figura 8 b).

Dois exemplos de calibradores dos dosímetros e medidores integradores de níveis sonoros são mostrados na Figura 9.



Figura 9. Calibradores para medidores integradores de níveis sonoros e dosímetros.
Fonte: QUEST TECHNOLOGIES (1997).

3.2.9 Limites de exposição ou de tolerância ao ruído

De acordo com a *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH) (1996), os limites de exposição ou de tolerância “referem-se aos níveis de pressão sonora e aos tempos de exposição que representam condições sob as quais se acredita que a maioria dos trabalhadores possa estar exposta repetidamente sem sofrer efeitos adversos à sua capacidade de ouvir e entender uma conversação normal. critérios de **risco excessivos**⁷ de dano auditivo e devem ser adotados segundo o objetivo desejado, ou seja, prevenção de danos auditivos, Esses

⁷ Risco excessivo segundo NIOSH (1998) é a porcentagem de indivíduos com perdas auditivas em uma população exposta ao ruído ocupacional subtraída da porcentagem de indivíduos que poderiam apresentar perdas geradas por outras causas, mas em uma população não exposta ao ruído.

limites devem ser usados como guia de controle da exposição ao ruído, portanto não são considerados uma linha divisória entre níveis seguros e perigosos devido à influência da suscetibilidade individual”. Os limites de exposição ao ruído são interferência na comunicação ou ainda fadiga, levando em conta a natureza da tarefa realizada. Neste trabalho o foco é o risco auditivo decorrente da exposição ao ruído.

Para prevenir danos auditivos decorrentes do ruído contínuo, a legislação nacional e estrangeira fixa os seguintes valores máximos segundo o grau de proteção desejado:

- a) nível de ação: nível sonoro abaixo do qual há pouco risco de dano auditivo em consequência da exposição de duração de oito horas por dia;
- b) limite de tolerância: nível sonoro acima do qual pode haver dano auditivo e risco de surdez para o ouvido não protegido exposto por oito horas por dia;
- c) limite máximo (ou teto): valor que não deve ser ultrapassado em nenhum período de tempo a menos que se utilize adequada proteção auditiva.

Atualmente, no Brasil está em vigência a Norma Regulamentadora nº 15 (NR 15) da Portaria nº 3.214/78 do Ministério do trabalho, que recomenda os seguintes valores: limite de ação de 82 dB(A), limite de tolerância de 85 dB(A) e nível máximo permissível de 115 dB(A).

No caso de ruído de impacto, no Brasil, adotou-se o nível de tolerância de 130 dB(Lin), medido com circuito de resposta de pico, embora sejam aceitas, na falta de instrumento que possua esse circuito, medidas no circuito de compensação C. Nesse caso, o limite de tolerância será de 120 dB(C). Como valor teto, adotou-se o nível de pico 140 dB(Lin) ou 130 dB(C), medidos no circuito de resposta rápida (*fast*).

Os limites de tolerância não são iguais em todos os países, pelo contrário, há variações em relação aos critérios para ruído contínuo, impacto incremento e duplicação de dose⁸, nível máximo permissível e limiar de integração⁹. No Quadro 1 são apresentados os parâmetros relacionados com os limites de tolerância estabelecidos em vários países.

⁸ Incremento em decibéis que quando adicionado a determinado nível, implica a duplicação da dose de exposição ou a redução pela metade do tempo máximo permitido de exposição ao ruído.

⁹ Valor mínimo de integração do NPS.

QUADRO 1 - Parâmetros nacionais e internacionais para avaliação de ruído.

Agência	Norma de Exposição	Crítério-dB	q -dB	Limiar dB	Resp.	Pond.	Nível Teto
INTERNATIONAL							
International Organization for Standardization	ISO 1999:1990	N/A	3	0	Slow	A	N/A
American							
American National Standards Institute	S3. 44-1996	N/A	3 ou 5	0	Slow	A	N/A
Occupational Safety and Health Administration	Permissible Exposure Limit (29 CFR 1910.95)	90 (noise control) 85 (hearing conseration)	5	80(hearing conservation) 90 (noise control)	Slow	A	115 dB(A)(3) 140 dB(2)
National Institute for Occupational Safety and Health	Recommended exposure limit (DHHS Publication 98-126)	85	3	0	slow	A	140 dB(2)
American Conference of Governmental Industrial	Threshold Limit Value for Noise	85	3	80	slow	A	140 dB(2)
British							
British Health and Safety Executive	Noise at work Regulations, 1989 Daily Personal Exposure to Noise	1st actions level 85 2nd actionn level 90			Slow	A	140 dB(2)
Canadá							
British Columbia, Canada Worker's Compensation Board	Occupational Health and Safety Regulations, general Hazard Tequeriments Part 7, daily Exposure Limit	85	3	At or below 80, ou 0	slow	A	135 dB(A) (2)
New Brunswick, Canada Workplace health Safety and Compensation Commission	General Regulation (N.B. reg. 91-191 as amended) Part V, Section 29	85	5	80	slow	A	140 dB(2)
Nova Scotia, Canada Departamento of Labour	Guidelines Respecting Occupational Exposures to Noise	85	5			A	140 dB(2)
Prince Edward Island, Canada Occupational Health and Safety Agency	Occupational Health and Safety Regulation (EC 180/87) Part 8, Section 8.1	85	3			A	140 dB(2)
Newfoundland, Canada Workplace Health Safety and Compensation Commission	Occupational Health and Safety Regulations (CNR 1165/96) Section 50	85	3			A	
Northwest Territories, Canada Government	General Safety Regulations (RRNWT 1990, c. S-1, R-028-93 as amended) Section 30 and 31	85	5			A	140 dB(2)
Yukon Territories, Canada Worker's Compensation Health and Safety Board	Occupational Health (OIC 1986/164) Section 4	85	3			A	103 dB(3) 140 dB(2)

FONTE: NEITZEL (1999).

QUADRO 1- Parâmetros nacionais e internacionais para avaliação de ruído (continuação)

Austrália							
Agência	Norma de Exposição	Critério-dB	q - dB	Limiar - dB	Resp.	Pond.	Nível Teto
Australia (National) Worksafe	National Standard for Occupational Noise (NOHSC: 1007/1993)	85				A	140 dB ⁽²⁾
Western Australia Worksafe	Occupational Safety and Health Regulations 1996, Part 3, Division 4, 3.45 Action Level	1999:90 ⁽⁶⁾ 1999:85 ⁽⁷⁾			Slow	A	140 dB ⁽²⁾
South Australia WorkCover Corporation	Occupational Health, Safety and Welfare Regulations 1995 Division 2.10 Noise, Equivalent Continuous Level	85 ⁽⁸⁾ 90 ⁽⁹⁾				A	140 dB
Nova Zelândia							
New Zeland Occupational Safety and Health Service	Workplace Exposure Standards 1994	85	3		Slow	A	115 dB(A) ⁽³⁾ 140 dB ⁽²⁾
Brasil							
Ministério do Trabalho	Norma Regulamentadora nº 15, Port. nº 3.214	85	5	85	Slow	A	115 dB(A) ⁽³⁾ 140 dB ⁽²⁾
FUNDACENTRO	Norma de Higiene Ocupacional 01	85	3	80	Slow	A	115 dB(A) ⁽³⁾ 140 dB ⁽²⁾
Argentina							
Argentine Department of Health and Security	General regulation, Industrial, Noise and Vibration Problems	85 (consevation) 90 (control)	3			A	115 dB(A) ⁽³⁾ 135 dB(A) ⁽²⁾
noise control 1. hearing protetion 2. instantaneous 3. slow 4. hearing surveillance 5. sound control measures		6. before sept 1 7. after sept 1 8. designers/manufactures 9. employers 10. 3 draft					

FONTE: NEITZEL (1999).

3.3 O ouvido: características e funcionamento

Ouvido é um órgão de recepção de vibrações sonoras. Essa recepção é importante na medida em que representa para o homem uma maneira de interação com o mundo que o cerca permitindo seu aprendizado, comunicação, lazer e segurança contra os riscos do meio ambiente. É um órgão de grande acuracidade, pois discrimina cerca de 400 mil sons, e de grande sensibilidade, pois responde à faixa de frequências de 20 Hz a 20 mil Hz e variações de pressões de $2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$ a 200 N/m^2 .

Além disso, o ouvido é responsável pelo equilíbrio estático e dinâmico do corpo e facilita a localização das fontes sonoras, funcionando como um importante mecanismo de alerta e defesa. As principais funções do ouvido são:

- a) transmissora, porque dispõe de mecanismos que permitem a adequada transmissão da energia acústica captada de uma parte a outra do ouvido passando por diversos meios: ar, líquido e ósseo;
- b) protetora, pois possui elementos capazes de atenuar intensidades sonoras elevadas, evitando assim danos às células sensoriais do ouvido interno;
- c) transdutora, porque transforma energia mecânica em energia elétrica e vice-versa.

Didaticamente pode-se dividir o ouvido em partes denominadas ouvido externo, ouvido médio e ouvido interno. Sua estrutura é apresentada na **Figura 10**.

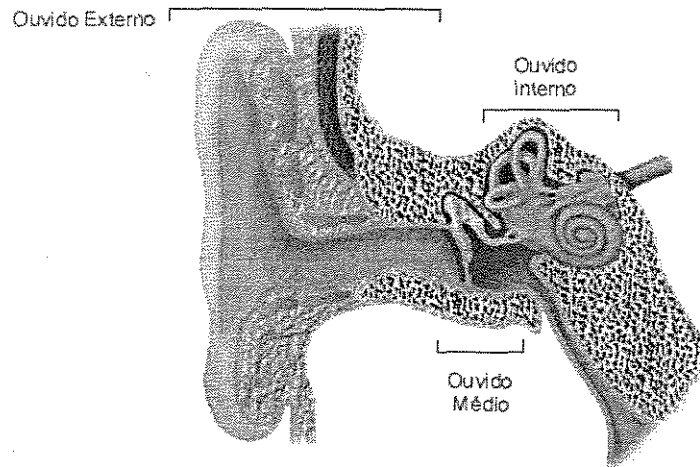


Figura 10. Corte esquemático do ouvido.

Fonte: GLOBO (2001).

O ouvido externo compreende o pavilhão, o conduto auditivo e a membrana timpânica. A função desses elementos é captar e transportar a vibração sonora para dentro do ouvido médio. Após a entrada no pavilhão auditivo, o som atravessa o conduto auditivo e atinge a membrana timpânica. Esta vibra e transfere a energia para a cadeia ossicular do ouvido médio formada pelo martelo, pela bigorna e pelo estribo. O estribo está ligado à janela oval, que é a porta de entrada do som no ouvido interno, como mostra a Figura 11.

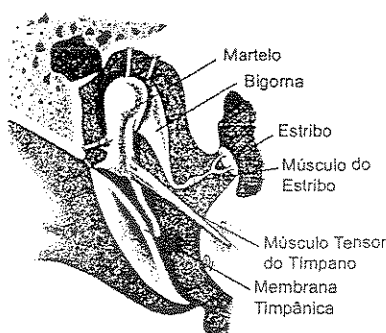


Figura 11. Estrutura do ouvido médio.

Fonte: NEPOMUCENO (1977), p. 86.

A estrutura dessa pequena cadeia ossicular e a diferença de área das membranas timpânica e oval são responsáveis pela amplificação do sinal acústico em cerca de 22 vezes. Esse mecanismo compensa a diferença de impedância sonora entre os meios de transmissão aéreo, ósseo e líquido, fazendo o que se chama de casamento de impedância.

O ouvido possui um sistema de autoproteção contra sons intensos, principalmente de baixa frequência. Na presença de ruído excessivo o músculo tensor do tímpano se contrai, puxando o cabo do martelo junto com a membrana timpânica para dentro da cavidade do ouvido médio. Quando o músculo estapédio se contrai, puxa a platina do estribo para fora da janela oval. As contrações simultâneas restringem a movimentação da cadeia ossicular pelo aumento da rigidez do sistema. Esse efeito é denominado reflexo acústico.

A cavidade do ouvido médio onde se aloja a cadeia ossicular é periodicamente ventilada pela ação da trompa de Eustáquio, que o conecta à nasofaringe. A referida trompa possui um orifício que se abre quando se boceja, tosse ou espirra. Ao abrir-se, ocorre a passagem de ar equilibrando a pressão interna com a externa e dessa forma ventilando o ouvido médio. Esse processo permite a autoproteção do sistema auditivo contra as variações abruptas da pressão

atmosférica causadas nas descidas de serras, nos mergulhos e em decolagem ou aterrissagem de avião.

3.3.1 O ouvido interno

Do ponto de vista anatômico, o ouvido interno é composto de três componentes: o vestíbulo, os canais semicirculares e a cóclea. Esta, por sua vez, é formada por três canais enrolados, denominados escalas vestibular, média ou coclear e timpânica. Suas paredes são ósseas, limitando-se a três tubos enrolados em espiral em torno de um osso chamado modíolo, ao redor do qual dão duas voltas e meia. As escalas vestibular e timpânica comunicam-se por um orifício, o helicotrema, no ápice da cóclea e contêm um líquido rico em sódio chamado perilinfa. O canal coclear apresenta outro líquido denominado endolinfa, rico em potássio. Como pode ser visto na **Figura 12**, a escala vestibular separa-se do canal coclear pela membrana de Reissner e o

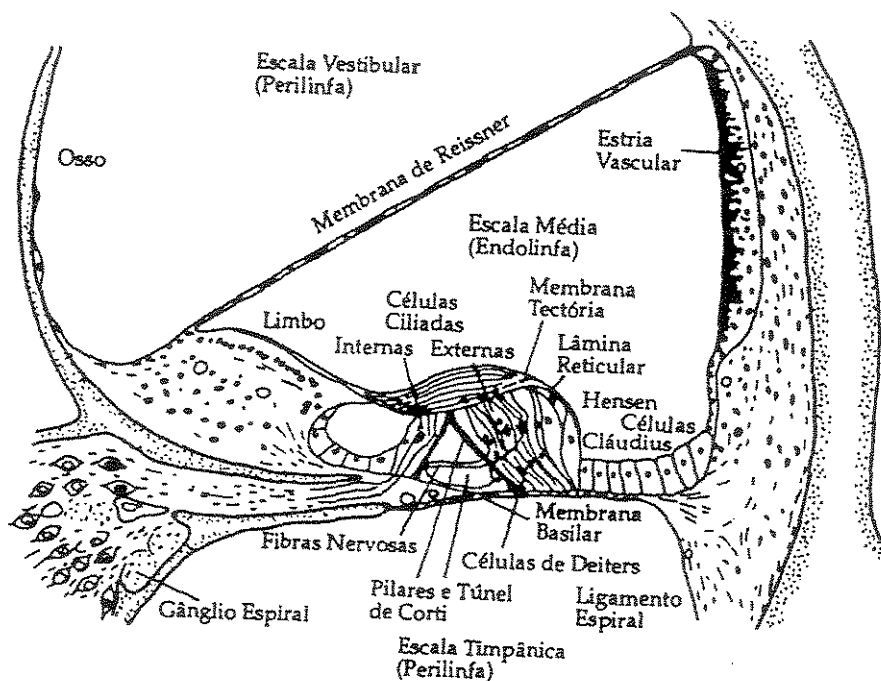


Figura 12. O órgão de Corti – Ouvido interno.

Fonte: RUSSO (1993), p. 163.

canal coclear separa-se da escala timpânica pela membrana basilar, onde está situado o órgão de Corti, o qual é formado por células ciliares e/ou nervosas responsáveis pelo envio dos impulsos eletroquímicos ao cérebro.

De acordo com OLIVEIRA (1997), a membrana basilar alarga-se da sua base (0,04 mm) até o ápice (0,4 mm), aumentando portanto a sua massa. Sobre o órgão de Corti está a membrana tectorial com seu bordo interno fixo no modíolo e seu bordo externo livre.

A cóclea no seu estado natural mede 35 mm quando desenrolada e possui apenas 5 mm do ápice à base. No entanto, é a parte vital do sistema auditivo porque é nela que se realiza a conversão de variações de pressão em sinais elétricos, que enviados ao cérebro são interpretados como sensação auditiva.

3.3.2 Mecanismo de transdução do ouvido

Na cóclea, as vibrações já amplificadas percorrem o ouvido interno, não mais em meio sólido, mas em um meio líquido, a perilinfa. Conforme mostrado na Figura 13 iniciam sua

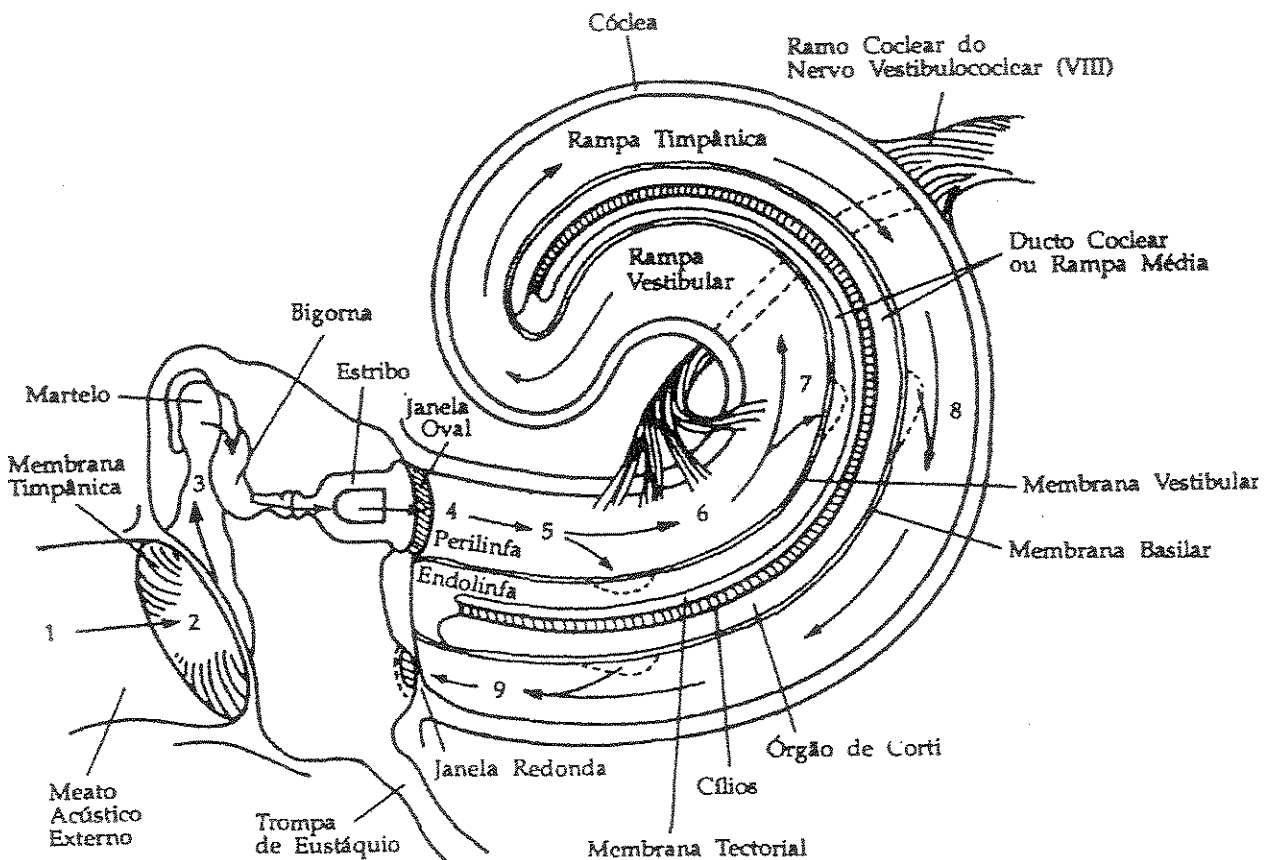


Figura 13. A hidráulica do ouvido interno.

Fonte: RUSSO (1993), p. 162.

trajetória pela janela oval, passando pelas escalas vestibular e timpânica, finalizando o seu trajeto na janela redonda. Ao seguir o seu percurso, as vibrações em meio líquido transferem parte de sua energia às células nervosas localizadas na membrana basilar que se alojam na escala média ou duto coclear.

As pontas superiores dos cílios das células ciliadas localizadas na membrana basilar penetram na superfície de outra membrana gelatinosa, a membrana tectorial. A movimentação oposta das duas membranas, imposta pela inversão de fase na transferência de energia para duas janelas cocleares, faz com que os cílios dobrem e liberem uma substância química que desencadeia o impulso eletrônervoso, que caminha pelas fibras do nervo auditivo até o cérebro. Esse é o mecanismo de transdução desempenhado pelo ouvido interno, transformando a energia mecânica em eletroquímica e nervosa que é transmitida ao cérebro.

2.3.3 Analisador de frequência do ouvido interno

3.3.3.1 Teoria da onda viajante

De acordo com o modelo teórico de BÉKÉSY (1964), citado por OLIVEIRA (1997), embora a membrana basilar possua alguma rigidez, na presença de uma excitação sonora, tem a capacidade de deformar-se e retornar ao seu estado e posição natural. A forma e a estrutura complexa dessa membrana permitem-lhe vibrar em padrões diferentes conforme a frequência de excitação. Essa característica fornece-lhe um grande número de frequências de ressonância que lhe facilita o movimento de grandes amplitudes ao ser estimulada por uma onda sonora. Como a base da cóclea é mais rígida e contém menor massa, entra em ressonância quando excitada por altas frequências. À medida que se prolonga para o ápice, a massa da membrana aumenta de maneira que as células intermediárias respondem às frequências de ressonância média enquanto as do ápice respondem às baixas frequências. Assim, uma onda aumenta sua amplitude quando “viaja” sobre a membrana basilar. Ao atingir determinada porção que tem frequência ressonante igual à frequência do som correspondente, vibra com tamanha facilidade que dissipa toda a sua energia extinguindo-se por completo. Por meio desse processo, quando excitada por determinado som, a cóclea pode emitir ao cérebro sinais específicos conforme a porção de células ciliares que

entra em ressonância garantindo uma ampla discriminação de sons. Nessa teoria a membrana basilar tem um comportamento passivo e vibra apenas quando estimulada pela onda sonora.

3.3.3.2 Teoria da cóclea ativa

Segundo OLIVEIRA (1997), nos últimos dez anos, os conceitos sobre a fisiologia coclear se modificaram muito. Várias pesquisas mostraram que a cóclea, além de receber e analisar os sinais sonoros, funciona como um potente amplificador, o que a torna um órgão ativo no processo de audição.

Fundamentalmente no órgão de Corti existem dois sistemas de células ciliadas: células ciliadas externas e internas. Ao contrário do que previu BÉKÉSY (1964), as células externas não atuam como receptor coclear e portanto não codificam a mensagem sonora.

As células **ciliadas externas** realizam dois tipos de contração: rápida e lenta. Por meio dessas contrações tornam a cóclea um verdadeiro amplificador mecânico que permite o aumento de até 50 dB na intensidade de um estímulo. Isso se deve ao fato de as contrações provocarem um aumento na amplitude da vibração da membrana basilar, elevando a estimulação de uma ou de um número reduzido de células **ciliares internas**, cujos estereocílios normalmente não estariam em contato com a membrana tectorial. Esse contato das células ciliares internas com a membrana tectorial é muito seletivo de forma que duas frequências bem próximas de um som excitam de modo diferente duas células ciliares vizinhas. Conseqüentemente, essas células enviam mensagens discretamente diferentes ao sistema nervoso central, permitindo uma acurada discriminação de frequência.

Desde o momento em que a energia sonora entra no ouvido interno até a sua transmissão ao sistema nervoso central, ocorrem três etapas: a) transdução mecano-elétrica nas células ciliares externas; b) transdução eletromecânica das células ciliares externas; e c) transdução mecano-elétrica das células ciliadas internas.

Na **transdução mecano-elétrica nas células ciliares externas**, a energia sonora que entra no ouvido interno representada pelas vibrações do meio líquido (endolinfa e perilinfa) e das membranas basilar e tectorial é utilizada para despolarizar e hiperpolarizar as células externas cujo potencial de repouso é de aproximadamente 80 mV, gerando fenômenos elétricos.

Em última instância esse processo de polarização e despolarização é acionado pelo movimento dos cílios das células externas, que são acionados pelos diferentes padrões de movimentos das membranas basilar e tectorial. Tais movimentos determinam o aparecimento de forças tangenciais sobre os cílios dessas células, inclinando-os, já que estão em contato com a membrana tectorial. Nesse processo a resposta elétrica da célula é função da frequência de estimulação sonora.

O potencial elétrico das células ciliares externas pode chegar a 150 mV e é possível graças à diferença da composição iônica dos líquidos que circulam na cóclea adicionado ao efeito da composição do meio intracelular. Esse potencial elétrico aumenta bastante a sensibilidade da célula, que pode ser representada pela capacidade de rápida despolarização de sua membrana com pequenos deslocamentos ciliares. O processo de polarização ou despolarização, cujos efeitos elétricos são registrados por eletrodos implantados nas proximidades da cóclea, é mantido por meio dos movimentos dos cílios que acionam os canais de entrada e de saída de íons que alteram a concentração de potássio, sódio e cálcio nas células.

Na **transdução eletromecânica das células ciliares externas**, os potenciais elétricos formados provocam contrações mecânicas rápidas nas células ciliares externas. Essas contrações ocorrem em fase com a frequência sonora estimulante e ampliam as vibrações da membrana basilar numa área específica do órgão de Corti.

Na **transdução mecano-elétrica das células ciliadas internas**, as contrações das células ciliadas externas que ampliam as vibrações das membranas basilar e tectorial permitem a estimulação dos cílios mais longos das células ciladas internas que normalmente não estão em contato com a membrana tectorial. Contudo, apenas poucas células internas são estimuladas pelo contato com essa membrana. O fundamento da alta acuracidade de discriminação de frequência é a excitação seletiva das células internas que por suas inervações próprias enviam mensagens com pequenas diferenças ao sistema nervoso central por meio do nervo acústico.

3.3.4 Nível de audibilidade

A sensação auditiva depende de diversas condições subjetivas e de outras variáveis; algumas aleatórias, como a intensidade e a frequência do estímulo sonoro. Assim, vários pesquisadores que utilizam grupos de pessoas jovens e sem problemas auditivos criaram,

empiricamente, um índice denominado nível de audibilidade que permite avaliar com mais precisão os aspectos subjetivos do ruído. O nível de audibilidade é dado em **fons** e definido como o nível de pressão sonora de um som-padrão (NPS em dB em 1000 Hz) necessário para que um número significativo de observadores o escute com a mesma intensidade. Por exemplo, se um som for julgado tão intenso quanto um de 40 dB na frequência central de 1000 Hz, o seu nível de audibilidade é de 40 fons. A relação entre o nível de audibilidade, a frequência e o nível de pressão sonora é dada por curvas isoaudíveis, as quais são mostradas na **Figura 14**.

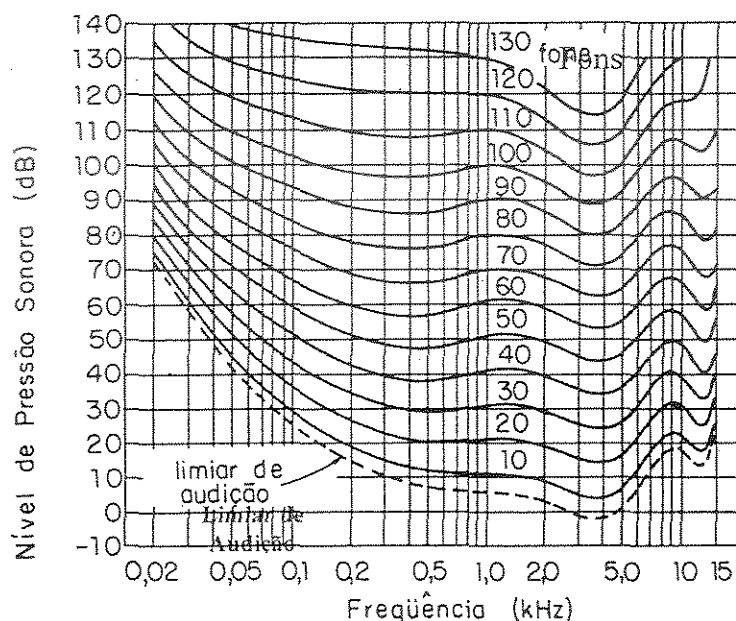


Figura 14. Curvas isoaudíveis.

Fonte: GERGES (1992), p. 42.

Vê-se dessa figura a variação da sensação auditiva do ouvido humano em relação aos NPSs dentro do intervalo de audiofrequência. A faixa de baixas frequências é a menos sensível enquanto a de frequências intermediárias, entre 2000 Hz e 5000 Hz, é a de maior sensibilidade. Na faixa de frequências mais altas há uma diminuição da sensibilidade auditiva em relação às frequências intermediárias, porém não ao nível das baixas frequências.

3.3.5 Suscetibilidade individual e outros fatores de variabilidade

A suscetibilidade aos danos auditivos induzidos pelo ruído é um tema de de muitos estudos no campo da conservação auditiva. Segundo JUNIOR (1998) há trabalhadores, expostos

por muitos anos ao ruído excessivo, com pequenas perdas auditivas e outros, de mesma profissão e igual tempo de exposição, que apresentam grandes perdas.

Qualitativamente se pode afirmar que, quanto maior a energia acústica que atinge o ouvido interno, maior o efeito. As características estruturais dos ouvidos médio e externo determinam quanto de energia em geral é transmitido à cóclea. Essas características são: o tamanho e a forma do pavilhão auricular, o comprimento do canal auditivo, a área da membrana timpânica e da base do estribo, a massa dos ossículos e o comprimento dos músculos do ouvido médio, os quais se contraem na presença de ruído de alta intensidade reduzindo a transmissão do som. Ao passar pelos ouvidos externo e médio, o som atinge a cóclea no ouvido interno. As características do ouvido interno, estruturais e dinâmicas, também têm um papel importante no grau de suscetibilidade individual. WARD (1986) cita várias, ressaltando a rigidez da parede divisória coclear, a espessura das membranas basilar e tectorial, o suplemento de sangue para a cóclea, a taxa de metabolismo e a densidade da inervação aferente e eferente.

Além dessas características estruturais do ouvido, influenciam na perda auditiva fatores relacionados ao ruído, como frequência, nível sonoro, espectro sonoro, tempo de exposição, e fatores como sexo, cor da pele, idade, nível inicial do limiar de audibilidade e outros.

ROBINSON (1988) estudou estatisticamente a diferença das perdas auditivas associadas à idade de homens e mulheres a partir de dados da literatura de 9 populações otologicamente selecionadas e 7 não selecionadas. Os resultados desse trabalho aponta o sexo como um fator importante nos estudos sobre suscetibilidade. Os resultados mostraram que em média as mulheres apresentaram uma audição significativamente melhor que a dos homens. Isso pode ser explicado pela diferença entre as dimensões do sistema auditivo masculino e feminino. Por outro lado, isso poderia apenas indicar que em geral as mulheres são expostas a uma quantidade menor de eventos socioacústicos significantes, sendo estes de menor severidade. É sabido, por exemplo, que nos Estados Unidos o *hobby* do uso de armas de fogo é muito mais freqüente entre os homens que entre as mulheres. Outra explicação para esse resultado poderia basear-se na taxa de absentéismo das mulheres que é maior que a dos homens, o que geraria uma menor exposição. É possível ainda que haja mais abandono de tarefas ruidosas entre as mulheres, de maneira que só aquelas menos suscetíveis continuariam a trabalhar em ambientes ruidosos tornando as amostras das pesquisas viciadas já que seriam estas justamente as mais resistentes aos efeitos adversos do

ruído. Indiferentemente das explicações, a diferença dos resultados na suscetibilidade entre homens e mulheres não pode ser ignorada.

Outro fator a ser considerado em estudos sobre a variabilidade das perdas auditivas populacionais é a cor da pele. ROYSTER et al. (1980) compararam a audição de trabalhadores brancos e negros no Sudeste dos Estados Unidos e mostraram que os negros tinham uma audição, em média, levemente melhor que a dos brancos. Todavia, as causas dessa diferença não ficaram bem determinadas, podendo decorrer de exposições socioacústicas diversas (isto é, brancos atiram mais com rifles do que negros) ou da semelhança entre a pigmentação da pele escura e da cóclea. Tal semelhança de alguma forma tornaria o indivíduo negro menos suscetível a danos auditivos.

Alguns trabalhos examinaram a provável diferença no dano induzido pelo ruído entre o ouvido direito e o esquerdo. Mas novamente essa diferença pode ser explicada por distintas exposições socioacústicas. O ouvido esquerdo, por exemplo, em geral recebe níveis sonoros maiores que o ouvido direito quando o ruído provém de armas de fogo. Embora esses resultados não sejam conclusivos, eles mostram a importância de se identificar todas as possíveis variáveis envolvidas em estudos sobre perdas auditivas populacionais para assegurar que as comparações da audição entre populações observem um critério apropriado, ou seja, a realização de estudos baseados apenas no ouvido direito, no esquerdo, em ambos os ouvidos, ou no melhor ouvido conforme o objetivo a ser alcançado.

A idade e a própria exposição ao ruído também são fatores de variabilidade. Embora o senso comum possa sugerir que os ouvidos sensíveis dos adolescentes sejam danificados mais facilmente que os de trabalhadores adultos, é também sensato supor que os ouvidos “jovens e elásticos” dos adolescentes poderiam ser menos vulneráveis a danos que os dos adultos. No entanto, poucas evidências reforçam qualquer uma dessas hipóteses. HÉTU et al. (1977) mostraram que a suscetibilidade à perda auditiva temporária em adolescentes de 12 anos não é diferente da verificada em adultos. Desse trabalho decorre que a idade, por si só, não pode ser considerado um fator que influencia diretamente a quantidade de **perda auditiva induzida pelo ruído**.

O nível limiar de audição (NLA) no início da exposição ao ruído é uma importante influência às perdas auditivas permanentes induzidas pelo ruído (PAIRs). O efeito da

presbiacusia, sociacusia e nosoacusia aumenta com a idade, de maneira que, quanto maior a faixa etária dos indivíduos no início da exposição ao ruído, mais alto o valor mediano dos limiares auditivos da população estudada. Quanto mais alto for o NLA inicial, menor será o as mudanças temporárias de audição devido a uma exposição específica; daí presume-se que o mesmo ocorrerá com a PAIR. Além desses estudos sobre características do ouvido e fatores que influenciam na suscetibilidade individual, muitas tentativas foram realizadas para relacionar a suscetibilidade à perda auditiva aos hábitos e aos vícios como o fumo, às dietas deficientes ou em excessos, aos aditivos de alimentos artificiais, ao uso de estimulantes e drogas, à postura incorreta, à falta ou excesso de exercício, à promiscuidade, à inatividade sexual etc. Porém ainda nenhuma relação causal entre quaisquer desses hábitos e/ou vícios e perda auditiva foi estabelecida, exceto no trabalho de PEKKARINEN (1989) que mostrou que o hábito do fumo combinado com exposições prolongadas ao ruído aumenta as perdas neurossensoriais em 4000 Hz.

3.3.6 Medida da audição

A audição sofre influência de fatores ambientais e individuais. Entre os primeiros, estão o ruído, a vibração e várias substâncias ototóxicas como mercúrio, dissulfeto de carbono tricloroetileno e outros solventes aromáticos que agem só ou simultaneamente com o ruído, podendo inclusive ter efeito sinérgico. Os fatores individuais estão associados à idade e à suscetibilidade individual.

As perdas auditivas ocorrem em menor ou maior grau dependendo da suscetibilidade individual a agentes ototóxicos; doenças hereditárias, congênitas e neonatais; enfermidades degenerativas e tumorais (otosclerose e otospongiose); doenças infecciosas e parasitárias (otites, viroses, meningite) e moléstias neurossensoriais (síndrome de Ménière e fístulas labirínticas). Influenciam também os antecedentes de traumatismo (trauma acústico, traumatismo craniano, barotrauma) e as ingestões de substâncias químicas ototóxicas como drogas e antibióticos.

Todavia, mesmo lesado, o indivíduo pode não perceber imediatamente o prejuízo auditivo. No caso das exposições a ruído intenso, as perdas auditivas induzidas pelo ruído costumam manifestar-se após anos de exposição. No entanto, há vários testes que detectam o aparecimento de pequenas lesões e mostram o local do dano auditivo (se no ouvido externo, médio ou interno). Quantifica-se, geralmente, o dano auditivo por meio de testes audiométricos.

Utiliza-se para esses testes o audiômetro, instrumento eletrônico projetado para ser calibrado de tal forma que a leitura zero em cada frequência corresponda ao limiar auditivo médio de indivíduos jovens otologicamente normais. Os dados dos testes são anotados em um gráfico chamado audiograma, que apresenta frequências de banda de oitava entre 125 a 8000 Hz e intensidade de -10 dB (NA) a 120 dB (NA), conforme a **Figura 15**. Explicam-se os valores negativos dos audiogramas pela existência de indivíduos que possuem uma audição melhor que a média, isto é, ouvem sinais acústicos cuja pressão sonora é menor que o valor de referência de 2.10^{-5} N/m² em 1000 Hz.

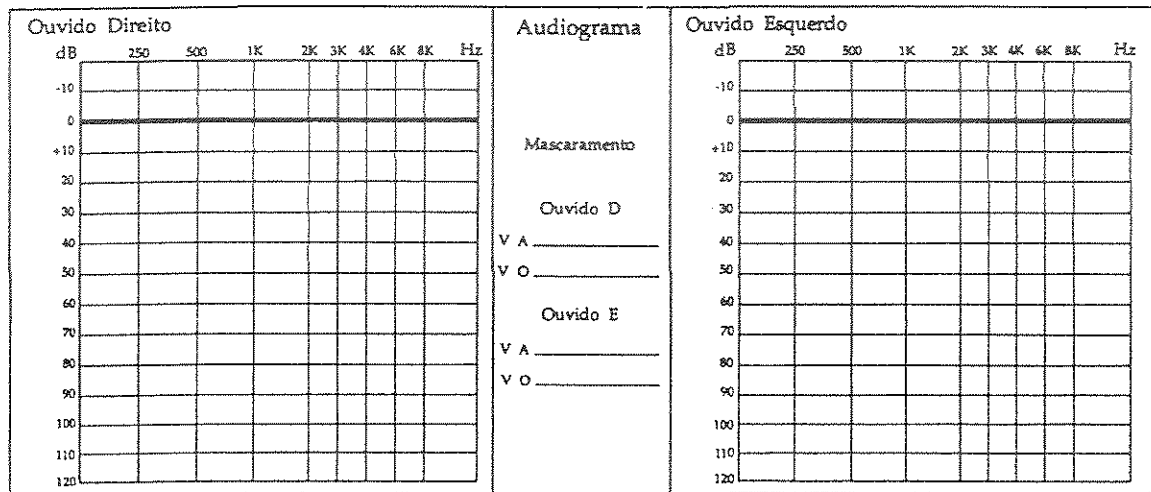


Figura 15. Audiograma.

Fonte: RUSSO (1993).

Os valores positivos dos níveis de audibilidade representam a energia acústica adicional necessária para ser ouvida por indivíduos menos sensíveis do que a média da população jovem e são assinalados no audiograma de cima para baixo para expressar a idéia de redução auditiva.

3.3.6.1 O zero audiométrico

Os níveis dos limiares auditivos não são valores absolutos. Eles são medidos utilizando como referência o limiar médio de jovens adultos de 18 a 30 anos. Um conjunto desses limiares classificados por frequência audiométrica foi publicado pela *American National Standards Institute* (ANSI) na norma ANSI (1969), reeditada em 1989 e são utilizados para calibração dos

fonos de audiômetros. A ANSI recomenda para calibração desses fones o ouvido artificial NBS-9 A e permite na calibração o uso do fone de ouvido modelo TDH-39 embutido no coxim MX41/AR, o mesmo modelo utilizado para o levantamento dos dados audiométricos deste trabalho. Os valores dos limiares auditivos encontrados e normalizados pela ANSI (1969) são apresentados com os publicados na norma ASA (1951) e ISO (1964) na **Tabela 6**.

Tabela 6. Valores dos limiares auditivos em dB para calibração de audiômetros

Frequência (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
ASA (1951)	51,8	39,5	24,1	17,2	18,0	14,3	26,8
ISO (1964)	42,8	24,5	10,1	7,2	9,5	8,3	15,3
ANSI (1969)	45,0	25,5	11,5	7,0	9,0	9,5	13,0

Para a avaliação dos limiares auditivos (LAs) não basta um bom audiômetro e sua calibração. É necessário um local apropriado com baixo nível de ruído. Utilizam-se geralmente cabines acústicas que possuem paredes isolantes para impedir a entrada de som externo para o seu interior. Essas cabines são forradas com material absorvente visando à atenuação das ondas sonoras internas.

A norma ISO 8253-1 (1989) estabelece os níveis de pressão sonora máximos permissíveis para ambientes onde se realizam os testes audiométricos, os quais são apresentados na **Tabela 7**. Os valores tabulados têm um grau de incerteza de 2 dB, mas, se o grau de incerteza for de 5 dB, podem-se acrescentar até 8 dB em cada elemento da tabela.

Tabela 7. Níveis de pressão sonora máximos permissíveis, medidos em faixa 1/3 de oitava, para os ambientes de teste audiométrico.

Frequência	NPSs Máximos Permissíveis em dB															
	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000
Via Aérea	27	26	26	26	26	28	31	33	35	38	40	42	44	43	42	41
Via Óssea	21	19	17	16	16	15	15	15	16	16	14	12	10	12	17	23

Fonte: ISO 8253-1.

3.3.6.2 Interpretação do teste

A determinação dos limiares auditivos tonais revela a ocorrência da lesão nas células ciliares da cóclea, porém não mostra o grau de comprometimento funcional da audição.

Geralmente, para determinar o comprometimento funcional da audição, faz-se um questionamento sobre a dificuldade de ouvir e entender a fala humana em conversas individuais ou em grupos, filmes, peças de teatro, telefone etc. Pergunta-se pelo aparecimento de zumbido, intolerância a certos sons e recrutamento¹. Faz-se também um retrospecto do histórico da vida laboral do trabalhador para identificar possíveis exposições prévias ao ruído ocupacional e não ocupacional, drogas e substâncias ototóxicas, doenças do ouvido, *hobbies* ruidosos etc.

Além desse histórico, para avaliar o nível de perda funcional, realizam-se outros exames audiológicos complementares como o teste de reconhecimento ou inteligibilidade da fala, em ambiente silencioso ou com ruído de fundo.

3.4 Perdas auditivas induzidas pelo ruído

As perdas auditivas induzidas pelo ruído (PAIRs) podem ser conceituadas como uma doença resultante da destruição das células ciliares localizada na cóclea pela exposição ao ruído excessivo (80 a 120 dB(A)). Em geral é bilateral, cumulativa e manifesta-se depois de alguns anos de exposição. PHANEUF e HÉTU (1990) mostraram mediante resultados audiométricos que as PAIRs são rapidamente progressivas, diminuindo o ritmo de progressão após alguns anos. O efeito inicial revela-se em 4000 Hz atingindo, a seguir, 3000 Hz e 6000 Hz. O “entalhe” audiométrico em 4000 Hz aumenta rapidamente e evolui para um achatamento da curva devido à desaceleração do efeito do ruído, momento que em 3000 e 6000 Hz atinge níveis semelhantes aos de 4000 Hz.

WARD (1986) resume resultados de vários trabalhos que se alinham com esse conceito de PAIR, pois revelaram que:

- a) a frequência mais afetada pelo ruído é a de 4 kHz;
- b) as PAIRs decorrentes de exposição abaixo de 80 dB são insignificantes;
- c) as PAIRs produzidas em dez anos por exposições diárias a 85 dB(A) são, aproximadamente, de 10 dB(NA) nas frequências de 3, 4 e 6 kHz;
- d) para essa mesma duração e para frequências iguais, exposições a níveis iguais ou maiores de 90 dB(A) induzem a perdas auditivas medianas de 15 a 20 dB(NA);

¹ Segundo LACERDA (1976) recrutamento é uma distorção da intensidade, consiste numa discondância, ou relação

e) a PAIR, independentemente do nível de exposição diário, cresce rapidamente nos primeiros anos de exposição, atingindo uma assíntota depois de dez a 15 anos. A partir daí, os limiares de audição continuam aumentando na mesma medida do grupo de trabalhadores não expostos ao ruído.

4 BASES PARA A ADOÇÃO DE UM NÍVEL DE EXPOSIÇÃO-PADRÃO

O estudo que visa à estimativa da PAIR envolve muitas variáveis e procedimentos e é, ainda hoje, um campo aberto para a pesquisa. No item 3.2 deste trabalho vimos que o som é um fenômeno complexo, composto de várias frequências e amplitudes diferentes. Pode ser contínuo, intermitente ou de impacto, regular ou irregular, de curta ou longa duração. Vimos também que a PAIR depende de como o ruído se apresenta no local de trabalho, da suscetibilidade e da real exposição individual do trabalhador. Tendo em vista esse grande número de variáveis, os estudos que visam determinar exclusivamente o efeito do ruído sobre a audição utilizam-se de uma simplificação: a padronização da duração da exposição diária ao ruído e de métodos apropriados de estimativa dos limiares de audição inicial dos trabalhadores. Essas estimativas podem basear-se no pressuposto de que todos os trabalhadores de igual idade teriam a mesma audição se não tivessem sido expostos ao ruído industrial. Nesse caso, para determinação da PAIR subtrai-se dos níveis limiares de audição (NLAs) medido em cada indivíduo testado os valores de correção associados à idade, como os mostrados na **Figura 16**.

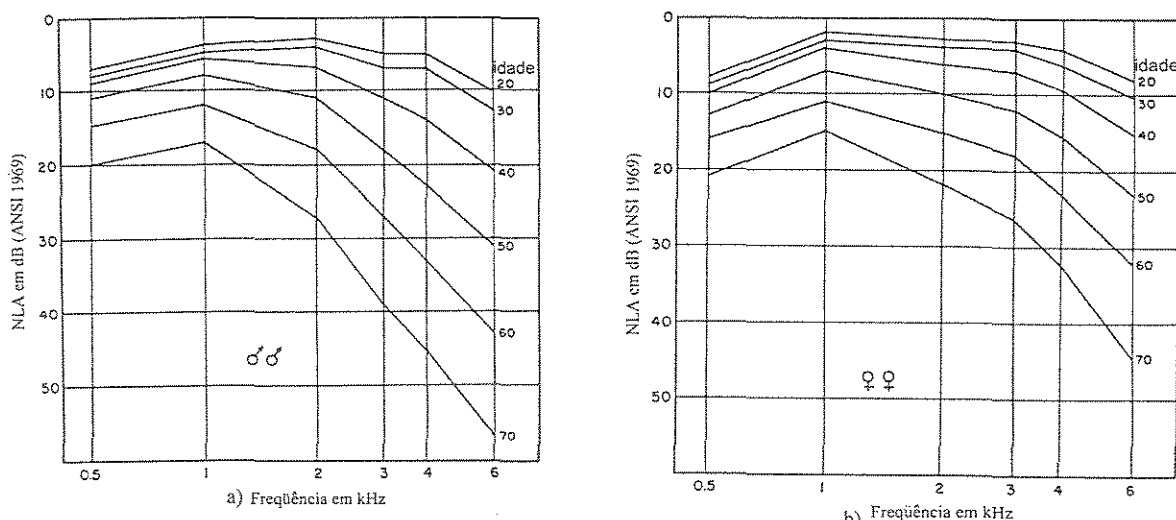


Figura 16. Níveis auditivos associados a idade para indivíduos não expostos a ruído ocupacional em uma sociedade industrializada (a) homens; b) mulheres).

Fonte: BERGER (1986), p. 193.

Podem ainda basear-se na comparação dos limiares de audição de duas populações de características semelhantes, como idade, sexo e histórico de exposição à influência da nosoacusia e sociacusia; sendo uma população de expostos ao ruído industrial e outra de controle, os não expostos

Tendo em vista o envolvimento de todas essas variáveis e procedimentos na estimativa da PAIR, órgãos como a NIOSH, a OSHA, a EPA e outros desenvolveram as bases de determinação de um nível de exposição-padrão, o que permitiu não só a avaliação e o controle da exposição ocupacional, mas também a estimativa da PAIR dela decorrente.

O documento da NIOSH (1998), *Criteria for a Recommended Standard: Exposure Noise Occupational*, apresenta, entre outros, uma revisão atualizada da experiência americana sobre exposição ocupacional ao ruído e recomendações para determinação de uma exposição-padrão e de programas de prevenção de perdas auditivas. Ele ressalta as principais pesquisas de órgãos internacionalmente reconhecidos e os principais fatores que deram origem aos critérios de avaliação necessários para estimativa da PAIR, razão pela qual se usa esse documento como base para esta parte da revisão bibliográfica.

4.1 Avaliação quantitativa de risco

A seleção de um limite de exposição ao ruído depende de dois parâmetros: a perda auditiva ocupacional máxima aceitável (isto é, o limiar de normalidade) e a porcentagem da população exposta ao ruído ocupacional para qual essa perda seja tolerada. O limiar de normalidade é o divisor entre a audição normal e a que apresenta algum grau de perda auditiva. Ele pode ser definido como o NLA médio de duas, três ou quatro frequências audiométricas. É um parâmetro importante para definição do risco excessivo.

Risco excessivo é a diferença em porcentagem entre duas populações cuja audição excede o limiar de normalidade: uma exposta ao ruído ocupacional e outra não exposta. Alguns modelos matemáticos descrevem a relação entre o risco excessivo e vários fatores, como a média diária de exposição ao ruído, a duração da exposição e a faixa etária.

O objetivo dos estudos preventivos é geralmente preservar a audição em relação à discriminação da fala. Nesse contexto é que a NIOSH (1972) emprega o termo “desvio auditivo real” para definir o seu critério de perda auditiva máxima aceitável. Considera-se que um

trabalhador tem um desvio auditivo real quando os NLAs médios dos dois ouvidos excedem 25 dB nas frequências audiométricas de 1000, 2000 e 3000 Hz (denominados 1-2-3 kHz).

4.1.1 Avaliação de risco segundo a NIOSH (1972)

A NIOSH em 1972 avaliou o risco excessivo de desvios auditivos reais em função dos níveis e das durações de exposição ocupacional ao ruído. Para exposições em níveis de ruído médios diários de 80, 85 ou 90 dB(A), por 40 anos, o risco excessivo foi estimado em 3%, 15% e 29%, respectivamente. Com base nessa avaliação de risco, a NIOSH (1972) recomendou um limite de exposição diária de 85 dB(A). Esse limite deve ser entendido como uma **exposição média ponderada no tempo baseada em um dia de oito horas e uma semana de 40 horas de trabalho**. Na literatura americana são denominados *threshold limits values - time-weighted average* (TLV-TWA). Abaixo desses limites acredita-se que quase todos os trabalhadores saudáveis possam ser repetidamente expostos diariamente sem efeitos adversos à saúde.

Para comparar a estimativa de risco excessivo da NIOSH (1972) com as desenvolvidas por outras organizações, os seus dados foram analisados usando a média dos NLAs em 500, 1000 e 2000 Hz e um limite de normalidade de 25 dB. A **Tabela 8** apresenta a estimativa de risco excessivo de desvios auditivos reais causados por exposição a ruído ocupacional desenvolvida pela NIOSH, EPA e ISO.

Tabela 8. Estimativas do risco excessivo de desvios auditivos reais em função da exposição média diária ao ruído em 40 anos de exposição.

Organização	Exposição Média Diária ao Ruído	Risco Excessivo (%)
ISO (1971)	90	21
	85	10
	80	0
EPA (1973)	90	22
	85	12
	80	5
NIOSH (1972)	90	29
	85	15
	80	3

Fonte: NIOSH (1988).

Os dados usados para a avaliação de risco da NIOSH foram coletados em 13 pesquisas de ruído e audição (*Occupational Noise and Hearing Survey* (ONHS)) de 1968 a 1971. Foram incluídas nessas pesquisas as indústrias de fabricação de aço, processamento de alumínio, extração de pedras e empresas de impressão, controle de tráfego, carpintaria, transporte pesado etc. Aplicaram-se questionários e realizaram-se exames audiométricos em trabalhadores voluntários expostos e não expostos, totalizando cerca de 4.000 audiogramas. Dessa amostra excluíram-se os audiogramas de trabalhadores cuja exposição diária não se caracterizava por um nível de ruído contínuo e de trabalhadores expostos ao ruído que apresentaram audição anormal em relação aos seus históricos médicos. Assim, restaram 1.172 audiogramas, dos quais 792 eram de trabalhadores expostos e 380 de trabalhadores não expostos ao ruído (grupo de controle).

4.1.2 Avaliação de risco segundo a NIOSH (1997)

PRINCE et al. (1997) estimaram o risco excessivo de perdas auditivas usando os mesmos dados da ONHS e uma modelagem matemática denominada “modelo NIOSH –1997”, que se distingue do modelo NIOSH – 1972. A diferença é que o novo modelo considera a possibilidade de efeitos não-lineares do ruído, enquanto o modelo NIOSH – 1972 baseia-se somente no pressuposto da linearidade desses efeitos. PRINCE et al. (1997) concluíram que modelos não-lineares se ajustam melhor aos dados que os lineares. Neste trabalho utilizaram-se dois conjuntos de frequências de 500, 1000, 2000 Hz e 1000, 2000, 3000 Hz para definir o desvio auditivo real. O desvio auditivo real é necessário à estimativa do risco de PAIR e à definição de *handicap*² proposta pela *American Speech-Language-Hearing Association* (ASHA) em 1981. A definição de *handicap* auditiva da ASHA é baseada na média dos NLAs nas frequências de 1000, 2000, 3000 e 4000 Hz. Essa composição de frequência também é recomendada por PHANEUF et al. (1985) para que se consiga “uma melhor previsão de incapacidade auditiva em termos de especificação, sensibilidade e acuracidade global”. A **Tabela 9** apresenta as estimativas de risco excessivo associadas a intervalos de confiança de 95% levando em conta essa definição.

Em 1971, foi publicada a primeira edição da norma ISO 1999, *Assessment of Occupational Noise Exposure for Hearing Conservation Purposes*. Ela prevê um método de

² *Handicaps* são efeitos não auditivos decorrentes da PAIR que comprometem as relações do indivíduo na família, no trabalho e na sociedade, prejudicando o desempenho de suas atividades diárias.

Tabela 9. Estimativa de risco excessivo de desvio auditivo real, por idade e duração da exposição.

Exposição de 5-10 anos								
Exp. Média Diária dB(A)	30 anos		40 anos		50 anos		60 anos	
	Risco (%)	95% IC	Risco (%)	95% IC	Risco (%)	95% IC	Risco (%)	95% IC
90	5,4	2,1-9,5	9,7	3,7-16,5	14,3	5,5-24,4	15,9	6,2-26,2
85	1,4	0,3-3,2	2,6	0,6-6,0	4,0	0,9-9,3	4,9	1,0-11,5
80	0,2	0-1,1	0,4	0-2,2	0,6	0,01-3,6	0,8	0,01-4,7

Exposição Maiores de 10 anos								
Exp. Média Diária dB(A)	30 anos		40 anos		50 anos		60 anos	
	Risco (%)	95% IC	Risco (%)	95% IC	Risco (%)	95% IC	Risco (%)	95% IC
90	10,3	5,8-16,2	17,5	10,7-25,3	24,1	14,6-33,5	24,7	14,9-34,3
85	2,3	0,7-5,3	4,3	1,3-9,4	6,7	2,0-13,9	7,9	2,3-16,6
80	0,3	0-1,8	0,6	0,01-3,3	1,0	0,01-5,2	1,3	0,01-6,8

Obs.: 1) Modelo NIOSH (1997) baseado no NLA médio de 1, 2, 3 e 4 kHz.

2) CI = intervalo de confiança.

Fonte: NIOSH (1998).

estimativa de risco de desvios auditivos reais devido a exposições ao ruído ocupacional. Em 1990, foi publicada a segunda edição da ISO 1999, *Acoustics - Determination of Occupational Noise Exposure and Estimation of Noise-Induced Hearing Impairment*. Essas duas publicações correspondem a dois modelos que se basearam em exposições ao ruído estacionário de bandas largas em turnos diários de oito horas de trabalho num período de até 40 anos de trabalho.

Na **Tabela 10** são comparados os vários modelos de estimativa de risco excessivo de desvios auditivos reais. As estimativas derivadas dos modelos da ISO (1971), NIOSH (1972), EPA (1973) e NIOSH (1997) são razoavelmente semelhantes. No entanto, as estimativas de risco excessivo da ISO (1990) são bem menores que as derivadas de outros modelos, exceto para o cálculo da média dos NLAs em 1-2-3-4-kHz. Essas disparidades podem ser explicadas pela diferença de dados e metodologia estatística utilizada. Entretanto, esses cinco modelos confirmam um risco excessivo de desvios auditivos reais em exposições diárias em níveis médios de 85 dB(A).

LEMPERT (1991) compara os resultados da ISO 1999 (1990) com a primeira versão dessa norma e com a base de dados da NIOSH e conclui que a versão de 1990 subestima os riscos de perdas auditivas em 10% para níveis de exposições de 90 a 95 dB(A) quando comparada com

a de 1971 e subestima os níveis limiares de audição numa média de 4,5 dB(A) em relação à NIOSH (1972).

Tabela 10. Modelos de estimativa de risco excessivo de desvios auditivos reais para trabalhadores com 60 anos e exposição ocupacional ao ruído de 40 anos, por definição de desvio auditivo real.

Nível de Exposição dB(A)	Definição 0,5-1-2-kHz			Definição 1-2-3 kHz			Definição 1-2-3-4 kHz			
	ISO 1971	NIOSH 1972	EPA 1973	ISO 1990	NIOSH 1997	NIOSH 1972	ISO 1990	NIOSH 1997	ISO 1990	NIOSH 1997
90	21	29	22	3	23	29	14	32	17	25
85	10	15	12	1	10	16	4	14	6	8
80	0	3	5	0	4	3	0	5	1	1

Fonte: NIOSH (1998).

Como já mencionado, a meta de proteção incorporada nas definições dos desvios auditivos reais é a preservação auditiva da discriminação da fala. ANIANSSON (1974) mostrou que o ouvido é bastante sensível a sons de frequência de 4000 Hz, que é muito importante para compreensão da fala em condições desfavoráveis ou ruidosas.

A NIOSH, reconhecendo que as condições de audição não são as ideais no cotidiano e considerando a proposta da ASHA, modificou sua definição de desvio auditivo real incluindo a frequência de 4000 Hz na avaliação do risco de PAIR ocupacional. Com essa inclusão, a NIOSH definiu o desvio auditivo real, em ambos os ouvidos, como a média dos NLAs em 1000, 2000, 3000 e 4000 Hz que excede 25 dB. Com base nessa definição, o risco excessivo é de 8% para trabalhadores expostos a um nível de ruído médio diário de 85 dB(A) considerando uma vida de trabalho superior a 40 anos. A NIOSH continua adotando o limite de exposição recomendado (LERe) de 85 dB(A) para exposições diárias de oito horas, baseada em 1) análises que confirmam o LERe encontrado em 1972, de 85 dB(A); 2) reanálises dos dados da ONHS; 3) posição do Grupo de Ação da ASHA na preservação da discriminação da fala; e 4) análises de risco excessivo da ISO, da EPA e em seus próprios bancos de dados. Para turnos de trabalho maiores que oito horas, podem-se extrapolar limites menores de exposição baseados no LERe de 85 dB(A) e oito horas de duração, conforme Tabela 11, embora os estudos de STEPHENSON et al. (1980) sobre a resposta auditiva humana para exposição de 24 horas ao ruído de banda larga não tenham mostrado mudanças temporárias significativas dos limiares auditivos em níveis de 75 a 80 dB(A).

Tabela 11. Combinações de níveis de exposição a ruído em dB(A) e durações admissíveis.

Nível de Exposição	Duração (T)			Nível de Exposição	Duração (T)		
	Horas	Minutos	Segundos		Horas	Minutos	Segundos
80	25	24	-	106	-	3	45
81	20	10	-	107	-	2	59
82	16	-	-	108	-	2	22
83	12	42	-	109	-	1	53
84	10	5	-	110	-	1	29
85	8	-	-	111	-	1	11
86	6	21	-	112	-	-	56
87	5	2	-	113	-	-	45
88	4	-	-	114	-	-	35
89	3	10	-	115	-	-	28
90	2	31	-	116	-	-	22
91	2	-	-	117	-	-	18
92	1	35	-	118	-	-	14
93	1	16	-	119	-	-	11
94	1	-	-	120	-	-	9
95	-	47	37	121	-	-	7
96	-	37	48	122	-	-	6
97	-	30	-	123	-	-	4
98	-	23	49	124	-	-	3
99	-	18	59	125	-	-	3
100	-	15	-	126	-	-	2
101	-	11	54	127	-	-	1
102	-	9	27	128	-	-	1
103	-	7	30	129	-	-	1
104	-	5	57	130-140	-	-	<1
105	-	4	43	-	-	-	-

Fonte: NIOSH (1998).

4.2 Incremento de duplicação de dose

Os efeitos do ruído na saúde dependem do nível e da duração da exposição. A relação tempo/intensidade é denominada incremento de duplicação de dose (IDD), o qual pode ser definido como o incremento em decibéis que, quando adicionado a determinado nível, implica a duplicação da dose de exposição ou a redução pela metade do tempo máximo permitido de exposição ao ruído. O IDD de 3 dB é conhecido como regra ou hipótese de igual energia, porque um aumento ou diminuição de 3 dB representa uma duplicação ou redução da energia sonora pela metade. A relação entre o IDD e a energia sonora é demonstrada de forma matemática no Anexo A.

Para avaliar as perdas auditivas em função do nível e da duração do ruído, o IDD de 3 dB é o mais apoiado em evidências científicas. Ele já é empregado nos Estados Unidos pela EPA e pelo departamento de defesa americano. É também usado no Canadá, na Austrália, na Nova

Zelândia, na China, no Reino Unido, na Alemanha, e outros. A premissa do IDD de 3 dB é que iguais quantidades de energia sonora produzem as mesmas quantidades de perdas auditivas induzidas pelo ruído, independentemente de como a energia seja distribuída no tempo. Teoricamente, esse princípio poderia ser aplicado a exposições que variam de alguns minutos até muitos anos. WARD e TURNER (1982) estudaram as duas características mais importantes da teoria da energia expressas pelas seguintes proposições:

- a) o padrão temporal da exposição é simplesmente irrelevante, o que resulta na irreversibilidade do dano auditivo;
- b) se uma mudança na intensidade é acompanhada por uma mudança equivalente na duração, não há alteração no dano permanente.

Eles realizaram experimentos laboratoriais utilizando chinchilas que foram expostas a vários padrões de exposição intermitente ao ruído, mantendo-se porém a mesma energia total. A intermitência se caracterizou pelo espaçamento uniforme no tempo. O dano auditivo permanente foi medido pelos limiares auditivos das cobaias e pelo número de células danificadas do órgão de Corti. Os resultados confirmaram o princípio de igual energia como um pressuposto correto para estimar os efeitos permanentes sobre a audição. Embora para exposições intermitentes possa haver alguma recuperação auditiva, durante os “períodos silenciosos” essas recuperações são provavelmente menores ou até mesmo inexistentes em ambientes industriais onde os níveis sonoros do ruído de fundo são maiores e as interrupções não são uniformemente espaçadas.

O IDD de 5 dB, adotado pela *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA), é menos preventivo que a hipótese de igual energia. Ele leva em conta as interrupções das exposições ao ruído, o que em geral acontece durante a jornada de trabalho, e presume a ocorrência de certa recuperação nas mudanças temporárias dos limiares durante essas interrupções. Conseqüentemente, as perdas auditivas ocorridas na jornada de trabalho, considerando as interrupções, não seriam tão grandes como as geradas em exposições constantes ao ruído.

A regra de 5 dB não faz distinção entre ruídos contínuos e não contínuos. Isso possibilita exposições longas a ruído em níveis sonoros maiores do que seria permitido pelo incremento de 3 dB. Com base nos poucos dados existentes em 1970, a NIOSH (1972) recomendou o IDD de 5

dB; porém, após revisar as evidências científicas mais recentes, passou a recomendar o incremento de 3 dB.

KRYTER et al. (1966) explicam que a evolução do uso do incremento de 5 dB iniciou-se em 1965 quando o *Committee on Hearing, Bioacoustics, and Biomechanics* (CHABA) editou um critério para avaliar exposições permissíveis ao ruído contínuo, flutuante e intermitente. O critério do CHABA é uma tentativa para prever o risco de quase todos os modelos de exposição permissíveis ao ruído baseado nas mudanças temporárias dos limiares auditivos. No desenvolvimento desse critério, o CHABA usou os seguintes postulados:

- 1) TTS_2 (mudança temporária do limiar medida após dois minutos de um período de exposição a ruído) é uma medida representativa dos efeitos de um dia de exposição ao ruído;
- 2) todas as exposições ao ruído que produzem dada TTS_2 serão igualmente perigosas (teoria do igual efeito temporário);
- 3) a mudança permanente do limiar produzida depois de muitos anos (≈ 10 anos) de exposição diária de oito horas é, aproximadamente, igual à TTS_2 produzida, pelo mesmo ruído, em ouvidos normais em uma exposição de oito horas.

Entretanto, esses postulados do CHABA não foram validados. De acordo com WARD (1970); WARD e TURNER (1982); CLARK e BOHNE (1978), as pesquisas não demonstraram qualquer relação entre mudanças temporárias dos limiares auditivos, alterações permanentes do limiar e dano coclear. O critério do CHABA assumiu que as exposições ocupacionais poderiam ser caracterizadas por sons regularmente espaçados e intercalados por períodos suficientemente silenciosos para permitir a recuperação auditiva. Porém, essa hipótese não é típica das exposições de ruído industrial.

O critério de risco de dano auditivo do CHABA também se mostrou muito complicado para o uso geral. BOTSFORD (1967) publicou um método baseado em um conjunto de simplificações sobre o critério do CHABA. Uma das simplificações foi a suposição de que as interrupções poderiam ser de “durações e espaçamentos iguais, de forma que vários ciclos de exposição idênticos fossem distribuídos uniformemente ao longo do dia”. Tais interrupções poderiam ocorrer durante os cafés, o uso de sanitários, o período de almoço e nos períodos em que as máquinas estariam temporariamente desligadas.

No mesmo período, o INTERSOCIETY COMMITTEE (1970), ao revisar a 2ª edição do *Guidelines for Noise Exposure Control* publicado em 1967, analisou o risco de PAIR em populações expostas diariamente a ruído contínuo e intermitente a níveis entre 90 e 115 dB(A), e recomendou o uso do incremento de dose 5 dB na determinação das exposições máximas permissíveis para conservação auditiva. Esse resultado foi baseado em dados de níveis de exposição permissíveis em função da duração e do número de ocorrências (ruído ativo) por dia. Embora os incrementos de dose variassem dependendo do nível de ruído e da frequência de ocorrência, o comitê recomendou o incremento máximo de 5 dB considerando suficiente para que o risco das exposições intermitentes fosse igual ou menor que o das exposições contínuas. Entretanto, o único estudo de campo que foi citado repetidamente sustentando a regra de 5 dB foi um realizado em minas de carvão de SATALOFF et al. (1969).

Começando com o estudo de BURNS e ROBINSON (1970), a credibilidade da regra de 3 dB foi apoiada por inúmeros estudos e por consensos nacionais e internacionais, entre eles: EPA (1974), ISO (1971), ISO (1990) e ACGIH (1996).

Dados de vários estudos de campo como os trabalhos de PASSCHIER-VERMEER (1971, 1973) e SHAW (1985) mostram uma boa correspondência com a regra de 3 dB (hipótese de igual energia). Na descrição dos dados de PASSCHIER-VERMEER (1973) houve um ajuste muito bom entre o seu modelo de previsão de perdas auditivas em função de níveis de exposição a ruídos contínuos feito em 1968 e o de BURNS e ROBINSON (1970) com os dados de perdas auditivas baseadas em exposições a ruído variável e intermitente. As comparações feitas pela norma ISO 1999 (1990) confirmam os achados de PASSCHIER-VERMEER fornecendo sustentação adicional à hipótese de igual energia.

Em condições verdadeiramente intermitentes, o uso do IDD de 3 dB em equipamentos de medição de ruído para controle dos locais de trabalho pode ser considerado preventivo. O IDD de 5 dB, quase sempre, oferece menor proteção, motivo pelo qual a NIOSH conclui que o incremento de 3 dB é o que apresenta maiores evidências científicas para avaliar o dano auditivo em função do nível e da duração do ruído, usando ou não um ajuste em certas exposições intermitentes.

Ressalte-se que a AMERICAN CONFERENCE of GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS (1996), instituição da qual o Brasil adota seus limites de tolerância para agentes

ambientais, também publicou os limites de tolerância para exposição a ruído contínuo ou intermitente e ruído de impacto utilizando incremento de duplicação de dose igual a 3 dB.

4.3 Valor teto

A NIOSH não estabeleceu um valor teto para ruído contínuo pois a recomendação do incremento de duplicação de dose (IDD) de 3 dB e do LERe de 85 dB(A) o torna desnecessário. A justificativa é que para um LERe de 85 dB(A) e um incremento de duplicação de dose de 3 dB seria permitida uma duração de exposição menor que 28 segundos no nível de 115 dB(A).

O valor teto para ruído impulsivo, geralmente aceito, é o NPS de pico de 140 dB. HENDERSON et al. (1991) mostraram que o nível crítico para chinchilas está entre 119 e 125 dB e, se um ajuste de 20 dB fosse usado para considerar a diferença de suscetibilidade entre chinchilas e humanos, o nível crítico extrapolado para humanos estaria entre 139 e 145 dB. Com base no LERe de 85 dB(A) e no IDD de 3 dB, o tempo de exposição permissível a 140 dB(A) é menor que 0,1 segundo, portanto 140 dB(A) é um valor teto razoável para ruído impulsivo.

4.4 Ruído impulsivo

A OSHA recomenda que exposições a ruído impulsivo ou de impacto não devem exceder o nível de pressão sonora de pico de 140 dB. A NIOSH (1972), por sua vez, não discutiu o risco do ruído impulsivo ou de impacto, embora tenha esclarecido que as disposições da sua norma são válidas para todos os tipos de ruído. Ainda que não haja unanimidade quanto ao melhor critério que descreva a relação entre PAIR e exposição a ruído impulsivo, na presença de ruído contínuo ou não, há uma norma internacional que se tornou intensamente utilizada pela maioria das nações industriais que apresenta um desses critérios. Essa norma, a ISO 1999 (1990), *Acoustics – Determination of Occupational Noise Exposure and Estimation of Noise-Induced Hearing Impairment*, integra ambos os ruídos, impulsivo e contínuo, e usa o incremento de duplicação de dose de 3 dB. Portanto, na sua elaboração, adotou-se a teoria de igual energia nas avaliações de exposições sonoras para qualquer período de tempo especificado. A NIOSH apóia essa aproximação e recomenda que os níveis de exposição ao ruído sejam calculados pela integração de todos os tipos de ruídos (impulsivos e contínuos) durante as medições.

Apesar dessa simplificação, a regra de igual energia não é universalmente aceita como um método para caracterizar exposições simultâneas de ruídos impulsivo e contínuo. Outras aproximações permitem a avaliação do ruído impulsivo separando-o do contínuo. A seguir, são apresentados os estudos que argumentaram favoravelmente sobre essas duas posições, elucidando a razão da posição da NIOSH em usar a regra de igual energia.

4.4.1 Evidências de que os efeitos do ruído impulsivo não obedecem à regra de igual energia

NILSSON et al. (1977) estudaram a relação dose-efeito do ruído na audição de trabalhadores de estaleiros onde a presença de altos níveis de ruído de impacto é muito freqüente. O objetivo do experimento foi determinar se para o mesmo nível equivalente o ruído de estaleiros é mais ou menos danoso à audição que o ruído contínuo. A análise mostrou que diariamente, em média, havia 2.500 impulsos de níveis de pico entre 110 e 135 dB, e que esses impulsos eram sobrepostos a altos níveis de ruído de fundo. As medidas dos níveis equivalentes contabilizavam o ruído de impacto e contínuo simultaneamente. Os locais de trabalho apresentaram níveis médios de 88 dB(A) no campo próximo e 94 dB(A) no campo reverberante. A análise de risco entre as perdas auditivas da população estudada e as previstas pela norma ISO 1999 R (1971) mostrou que o ruído dos estaleiros é definitivamente mais perigoso para a audição que o ruído contínuo.

A crítica que pesa sobre esse trabalho é que nessa análise se considerou o **uso efetivo** de protetores auriculares, mas as informações sobre o uso desses equipamentos basearam-se em um questionário aplicado a cada indivíduo em que se procurava saber, simplesmente, se o trabalhador usava ou não o protetor auricular, o que não garante o uso efetivo sobre toda a jornada diária de trabalho. GERGES (1992) mostrou que 90% do tempo diário de uso dos protetores auriculares garante, apenas, 50% ou menos de sua eficiência e 75% de uso resulta em cerca de 25% de eficiência. Dessa forma, a conclusão de NILSSON et al. (1977) a respeito de um acréscimo do risco em ambientes que apresentam ruído de impacto pode ser, pelo menos, questionada.

Uma revisão de dez anos especificamente sobre exposições ao ruído impulsivo realizada por HENDERSON e HAMERIK (1986) revela certos efeitos biológicos e audiológicos, a saber:

- a) o ruído impulsivo pode danificar a cóclea por um processo mecânico direto;

b) após uma exposição a ruído impulsivo, a recuperação da audição pode ser irregular, isto é, diferente da recuperação típica após exposição ao ruído contínuo;

c) embora os critérios de riscos de dano existentes avaliem o ruído impulsivo em termos de nível, duração e número de impulsos, parâmetros como padrão temporal, forma da onda e tempo de subida costumam também ser importantes na produção de uma perda auditiva;

d) os efeitos do ruído impulsivo são freqüentemente incompatíveis com o princípio da hipótese de igual energia;

e) o ruído impulsivo pode interagir com o ruído de fundo contínuo produzindo uma maior perda auditiva do que a estimada pela simples soma de ruídos individuais.

A maioria dos experimentos com elevadíssimos níveis de pico é eticamente limitada em seres humanos, não podendo gerar mais que 20 a 25 dB de perdas temporárias de audição; portanto, em experimentos com maiores níveis, utilizam-se cobaias em laboratório. Nessas experiências a intensidade sonora pode atingir níveis de 160 dB de tal forma que freqüentemente há rompimento de tímpano e morte das células ciliares por efeito mecânico. No entanto, na indústria em geral encontram-se níveis muito mais baixos, de 100 a 140 dB.

VOIGT et al. (1980) estudaram padrões de exposição ao ruído na construção de edifícios e relacionaram os níveis de exposição normalizados (NENs) com os registros audiométricos de mais de 81.000 trabalhadores da Construção Civil da Suécia. Eles encontraram diferenças na perda auditiva entre grupos expostos a ruído de mesmo NEN mas com características temporais distintas. Os grupos expostos a ruído impulsivo tiveram maiores perdas auditivas que os grupos expostos a ruído contínuo de mesmo NEN.

SULKOWSKI e LIPOWCZAN (1982) realizaram medidas de ruído e testes audiométricos numa forjaria. Os NLAs de 424 trabalhadores da produção foram comparados com os valores previstos pela equação de BURNS e ROBINSON (1970)³. Nessa comparação a perda auditiva observada foi menor que a prevista nas baixas freqüências audiométricas, mas maior que a prevista nas altas freqüências.

³ Sobre BURNS e ROBINSON(1970) ver item 2.4.5.2

THIERY e MEYER-BISCH (1988) efetuaram um estudo epidemiológico transversal⁴ em uma fábrica de automóveis. Os trabalhadores da fábrica eram expostos, simultaneamente, a ruído contínuo e impulsivo de NEN variando entre 87 e 90 dB(A). Seus NLAs foram comparados com os dos trabalhadores expostos a ruído contínuo de NEN de 95 dB(A), considerando o mesmo tempo de exposição, e revelaram maiores perdas auditivas na frequência audiométrica de 6000 Hz do que a população exposta a níveis contínuos de 95 dB(A) após 9 anos de exposição.

STARCK et al. (1988) realizaram um estudo visando saber se o ruído de impacto e a exposição simultânea à vibração e ao ruído podem agravar as perdas auditivas neurosensoriais. Foram utilizados dados de uma população formada por 199 trabalhadores florestais expostos à vibração e ao ruído contínuo e de 171 trabalhadores de estaleiros expostos simultaneamente ao ruído contínuo e de impacto. Executaram-se medidas de vibração, níveis e durações de exposição sonora e de impulsividade definida como a diferença entre o nível de pico e rms do sinal. Os limiares auditivos dos trabalhadores foram medidos em 4 kHz e depois comparados com os estimados pelo modelo de ROBINSON (1971). Esse estudo revelou que os trabalhadores dos estaleiros apresentaram perdas auditivas maiores que a estimada pelo modelo de ROBINSON (1971), as quais foram explicadas pela presença de ruído de impacto nos ambientes de trabalho, enquanto as perdas dos trabalhadores florestais coincidiram com as estimadas, motivo pelo qual concluíram que a exposição à vibração de mãos e braços simultânea com a do ruído não aumenta o risco das perdas auditivas neurosensoriais.

Outro trabalho que relaciona essas mesmas populações foi realizado por PEKKARINEN (1989) que pesquisou os papéis do ruído impulsivo, da proteção auditiva e de fatores de risco individuais no desenvolvimento das perdas auditivas neurosensoriais comparando a audição de 171 trabalhadores florestais expostos a ruído contínuo de motosserra com a de 199 trabalhadores de um estaleiro, cujos ambientes de trabalho apresentam maior participação do ruído de impacto, sobretudo nas atividades que envolvem máquinas de solta MIG, lixadeiras elétricas, marretas manuais, martelos pneumáticos e equipamentos de ar comprimido.

Utilizou-se do método baseado no fator de crista para medir a impulsividade do ruído e de dosimetria para medir a exposição ao ruído contínuo e de impacto. As doses e a impulsividade

⁴ Conforme MENDES (1980), são estudos “que, como o nome sugere, têm a característica de retratar a situação das relações entre o suposto causal e o efeito em estudo, em dado instante”.

do ruído foram medidas dentro e fora dos protetores auriculares por pequenos microfones introduzidos neles.

Duas comparações foram feitas nesse trabalho. Uma entre os níveis de audição das duas populações estudadas, outra entre essas duas populações e os níveis auditivos estimados pelo modelo de BURNS e ROBINSON (1970).

A comparação entre a exposição dos trabalhadores florestais e dos estaleiros revelou que os primeiros apresentaram uma perda auditiva média, na frequência de 4000 kHz, de cerca de 5 dB a mais que os trabalhadores do estaleiro. Embora ambas populações estivessem expostas ao mesmo nível equivalente de 100 dB (A), os limiares auditivos dos trabalhadores florestais foram similares aos estimados pelo modelo de BURNS e ROBINSON (1970), enquanto os dos trabalhadores dos estaleiros apresentaram 10 dB a menos quando comparados com esse modelo. Em outro experimento foram envolvidos 38 pares de trabalhadores que apresentavam, aproximadamente, a mesma idade, pressão sanguínea diastólica, perdas associadas à idade e mesma estimativa de perdas induzidas pelo ruído calculadas segundo o modelo de BURNS e ROBINSON (1970). Nesse caso houve uma inversão dos resultados. Os trabalhadores dos estaleiros apresentaram perdas de 5 dB a mais que os florestais.

Com base nesses experimentos, o autor argumenta que o acréscimo de 5 dB nos limiares dos trabalhadores dos estaleiros está relacionado ao tipo de ruído dos equipamentos utilizados nos locais de trabalho, os quais apresentam um número de impactos muito maior que o dos trabalhadores florestais. No entanto, essa pequena diferença de 5 dB pode ser explicada por um possível erro na atenuação dos protetores auriculares já que o autor não estima o tempo diário de uso, que têm uma grande influência na efetiva atenuação de tais protetores. Outra possível fonte de erro é a estimativa dos Leqs dos antigos ambientes de trabalho, que podem explicar, por si sós, a diferença de 5 dB, principalmente quando a exposição é caracterizada por altos níveis equivalentes e grande duração, como no caso em questão. É também importante ressaltar que os resultados de PEKKARINEN (1989) e de STARCK et al. (1988), em relação ao modelo de BURNS e ROBINSON (1970), são antagônicos.

Os estudos descritos até aqui fornecem evidências de que os efeitos das exposições simultâneas de ruídos contínuos e impulsivos são sinérgicos em vez de aditivos, negando portanto a hipótese de igual energia. O assunto se torna mais complicado quando outros

parâmetros do ruído impulsivo são considerados. De acordo com os trabalhos de HENDERSON e HAMERIK (1986), STARCK e PEKKARINEN (1987) e PEKKARINEN (1989), a energia do ruído não é o único fator que afeta a audição. A amplitude, a duração, o tempo de crescimento, o número de impulsos, a taxa de repetição também podem estar envolvidos. O desenvolvimento de um critério de avaliação da exposição a ruído impulsivo baseado na inter-relação desses parâmetros necessita de pesquisas adicionais.

4.4.2 Evidências de que os efeitos do ruído impulsivo obedecem à regra de igual energia

A NIOSH (1988) relata que BURNS e ROBINSON (1970) propuseram o conceito de *immission*, o qual se baseia na hipótese de igual energia, para descrever a energia total das exposições dos trabalhadores a ruído contínuo em um período de tempo (isto é, meses ou anos). ATHERLEY e MARTIN (1971) modificaram esse conceito incluindo o ruído impulsivo no cálculo do NEN. Por anos, organizações como EPA (1974) e ISO (1990) trabalharam com o ruído impulsivo baseados nessa hipótese de igual energia.

Em um estudo desenvolvido em duas forjarias que envolveram 76 homens expostos a ruído de impacto, ATHERLEY e MARTIN (1971) calcularam os níveis de exposição ao ruído de cada trabalhador no período de seus empregos e elaboraram gráficos desses níveis contra os NLAs corrigidos pela idade em seis frequências audiométricas. Eles descobriram que os NLAs observados na população aproximaram-se dos NLAs previstos por ROBINSON (1968) e concluíram que a hipótese de igual energia era aplicável ao ruído de impacto. Semelhantemente, ATHERLEY (1973) examinou os NLAs de 50 homens expostos a ruído de impacto produzido por marteletes pneumáticos usados em fundição de metais e encontraram uma boa concordância entre os NLAs observados e previstos.

Uma pesquisa desenvolvida por GUBERAN et al. (1971) sobre perda auditiva associada ao ruído de impacto em forjarias envolveu uma população de 70 operadores de forja, dividida em seis grupos, e outra de 61 funcionários não expostos ao ruído. Medidas de impacto rms em dB(A) realizadas por medidores de níveis sonoros específicos para esse fim apresentaram níveis entre 108 e 120 dB(A). A duração média (220 msec) dos impactos foi estabelecida por um osciloscópio, cuja frequência média foi de 12 por minuto. O confronto dessas medidas com os

limiares auditivos desses trabalhadores mostra um crescimento significativo da perda auditiva com o aumento dos níveis sonoros e com a duração da exposição.

As perdas auditivas médias dos seis grupos de trabalhadores, nas frequências de 3, 4 e 6 kHz, estão de acordo com as encontradas por BURNS e ROBINSON (1970) em grupos de indivíduos expostos a ruídos contínuos, o que aponta no sentido de estender o tratamento das estimativas de risco de prejuízos auditivos induzidos pelo ruído contínuo para abranger o ruído de impacto.

No mesmo sentido, o trabalho de TAYLOR et al. (1984), também realizado em forjarias, consistiu em levantar medidas dos níveis equivalentes (L_{eq}) de ruído onde há, simultaneamente, ruído contínuo e de impacto e em determinar os níveis de audição dos operadores de prensas expostos a níveis de ruído de impacto e, então, comparar as perdas auditivas induzidas pelo ruído desses trabalhadores com as perdas auditivas resultantes da exposição a ruído contínuo, utilizando o modelo de BURNS e ROBINSON (1970).

As medidas de dose de ruído foram realizadas por meio de dosímetros e gravadores. Estes últimos eram alimentados por um medidor de níveis sonoros de impulso equipado com um microfone adequado para esse uso. Os níveis dos limiares de audição de uma população de controle formada por empregados de áreas não ruidosas (níveis abaixo de 85 dB(A)) foram obtidos por meio de um tratamento dos dados de seus audiogramas de maneira a minimizar a influência do ruído e de doenças que afetam a audição. Os resultados obtidos na população estudada foram comparados por faixa etária com a população de controle.

A comparação estatística dos níveis de audição dos operadores de forja (716) e da população de controle (293 indivíduos) mostrou graves riscos de audição pela exposição ao ruído de impacto. Para períodos de exposição médios menores que dez anos, os níveis auditivos dos grupos de operadores de prensas expostos a um L_{eq} de 99 dB(A) e de forja expostos a um L_{eq} de 108 dB(A) eram quase idênticos e menores que os estimados para exposição ao ruído contínuo. Para exposições de longa duração de mais de dez anos, há uma inversão, ou seja, perdas auditivas resultantes do ruído de impacto em forjarias são iguais ou maiores que as resultantes do ruído contínuo. Consequentemente, desse trabalho conclui-se que, até certo ponto, a hipótese de igual energia pode ser aplicada em exposições simultâneas a ruído contínuo e de impacto.

4.4.3 Exposições simultâneas a ruídos impulsivos e contínuos

Em muitas operações industriais, o ruído impulsivo ocorre simultaneamente com um ruído contínuo. De acordo com HAMERIK et al. (1974), em alguns estudos com animais, os efeitos combinados da exposição de ruído impulsivo e contínuo parecem ser sinérgicos em altos níveis de exposição. Todavia, HAMERIK et al. (1981) mostraram que o sinergismo desaparece quando os níveis de exposição são comparáveis aos encontrados em muitos ambientes industriais. Como a exposição a ruído causa perda auditiva, independentemente de os efeitos combinados da exposição serem aditivos ou sinérgicos, a contribuição do ruído impulsivo na dose de ruído não deve ser ignorada. Todavia, a NIOSH (1998) argumenta que, se os efeitos são aditivos, o LER_e de 85 dB(A) com incremento de duplicação de dose de 3 dB provê proteção suficiente aos trabalhadores. Se os efeitos são sinérgicos, o mesmo LER_e ainda fornece proteção, embora numa magnitude menor. Por essa razão a NIOSH recomenda que o LER_e de 85 dB(A), baseado em uma exposição média diária de oito horas, seja aplicável a todas as exposições de ruído, não importando se são a ruído contínuo, impulsivo ou simultâneas.

As normas, os conceitos e os parâmetros aqui apresentados nesta revisão da literatura representam o conhecimento atualizado sobre a matéria estudada e são suficientes para permitir o desenvolvimento de métodos de estimativas de perdas auditivas decorrentes de exposições contínuas ao ruído ocupacional. No entanto, tais exposições não representam a totalidade das exposições, razão pela qual se desenvolveu a seguir uma metodologia própria para complementar essas estimativas que, embora seja de aplicação geral, neste trabalho foi utilizada no âmbito da Construção Civil.

Até o presente momento, apenas SEIXAS et al. (1998) apresentaram uma avaliação da exposição ao ruído especificamente dentro da Construção Civil, sem porém relacioná-la com as perdas auditivas induzidas pelo ruído. Sua avaliação levou em conta o tipo de obra, o método construtivo, as categorias profissionais avaliadas e o critério de medição da exposição. No entanto, os resultados revelaram diferenças significativas nos níveis de exposição ao ruído entre as distintas etapas da obra, métodos construtivos, ferramentas utilizadas e tarefas específicas.

4.5 Relação estatística entre o ruído e a PAIR

Podem-se adotar dois critérios para desenvolver um método de estimativa de exposição não contínua ao ruído:

a) critério direto, estimando os níveis de exposição de todas as tarefas e condições em que são realizadas em cada categoria profissional, por centenas ou milhares de medidas, e depois, aplicando ferramentas estatísticas para determinar níveis médios que representem parte ou todos os indivíduos da categoria estudada;

b) critério indireto, estimando a exposição não contínua por meio de um de seus efeitos.

Neste trabalho, optou-se pelo segundo critério estabelecendo-se a estimativa por meio do efeito principal da exposição, ou seja, as perdas auditivas induzidas pelo ruído. Mesmo assim, para evitar as medições de campo foi necessário encontrar um meio alternativo para fixar uma relação direta entre as perdas auditivas induzidas por **exposições não contínuas** e os respectivos níveis de exposições, pois essa fase do desenvolvimento do método demandaria muitos anos de avaliação e recursos financeiros, o que impossibilitou os pesquisadores de estabelecê-la até o momento. Neste trabalho, como meio alternativo, associam-se as **exposições contínuas** às **exposições não contínuas** por meio das perdas auditivas induzidas pelo ruído o que possibilita o uso, bem-aceito, da relação entre PAIR e níveis de **exposição contínua**.

Atualmente a relação mais utilizada entre PAIR e exposição contínua é apresentada pela *International Organization for Standardization* (ISO) na norma ISO 1999 (1990). A sua aplicação, porém, é restrita porque, além de outras limitações, é necessário o conhecimento prévio do nível normalizado de exposição que represente a exposição diária do trabalhador. Uma vez que em vários ambientes de trabalho, como os da Construção Civil, esses níveis variam dia a dia conforme a atividade, a fase, o tipo e o local da obra, a simples aplicação dessa norma não é viável. Para tanto seria necessário um amplo estudo estatístico de exposição ao ruído, que envolvesse todas as atividades de uma categoria profissional em todas as múltiplas condições de trabalho e um grande investimento em equipamentos e técnicos.

Como a relação apresentada pela ISO foi uma ferramenta indispensável para o desenvolvimento do método proposto de estimativa da **exposição não contínua** ao ruído, a seguir, descrevem-se e comentam-se seus principais aspectos.

4.6 Método ISO para estimativa da PAIR

A norma ISO 1999 (1990) especifica um método para estimar as perdas permanentes induzidas pelo ruído de uma população adulta devido à exposição a vários níveis de pressão sonora e à duração de exposição ao ruído. Apresenta, também, a base de cálculo da incapacidade auditiva de acordo com diversas fórmulas que levam em consideração as perdas auditivas calculadas nas frequências audiométricas mais comuns, ou combinações dessas frequências e o limiar de audição que deve ser excedido para julgar existente a incapacidade. A frequência ou combinações de frequências e o limiar a serem usados na avaliação da incapacidade auditiva não são especificados; a seleção quantitativa desses parâmetros é deixada por conta do usuário.

É importante ressaltar que essa norma se aplica aos ruídos contínuos, intermitentes, flutuantes, irregulares ou impulsivos na faixa de audiofrequência (menores que 10 kHz) desde que o nível de exposição diário seja mantido; no entanto, resultados de cálculos com níveis instantâneos maiores que 140 dB (pressões sonoras instantâneas até 200 Pa) devem ser considerados apenas em termos de extrapolação.

Outro ponto que influencia os resultados da norma é que nela não se observa o efeito dos protetores auriculares os quais atenuam os níveis efetivos de ruído nos ouvidos.

A exposição ao ruído de uma população em risco é expressa pela exposição média ponderada - A (pressão sonora quadrática integrada no tempo), $E_{A,p}$, ou, como ressaltado no item 2.2.7.2, pelo nível de exposição normalizado (NEN) calculado com base em um dia de trabalho com duração de oito horas.

A norma apresenta fórmulas para o cálculo das PAIRs nas frequências audiométricas entre 0,5 e 6,0 kHz a partir de exposições diárias de 364 a $1,15 \cdot 10^5$ Pa².s, em períodos de exposição entre 0 e 40 anos. Essas exposições são equivalentes a níveis de exposição normalizados de 75 dB a 100 dB utilizando o circuito de compensação A.

Para uma visão ilustrativa dos resultados dessa norma a **Tabela 12** mostra as PAIRs calculadas em função do tempo de exposição, NEN entre 85 e 100 dB (A), para seis frequências (0,5; 1; 2; 3; 4; 6 kHz) e três percentis populacionais (0,1; 0,5; 0,9) calculadas conforme a ISO 1999 (1990).

Tabela 12. PAIR calculada conforme a ISO 1999 (1990).

Tabela E.1 - NEN = 85 dB ($E_{A,sh} = 3,64 \cdot 10^3 \text{ Pa}^2 \cdot \text{s}$)

Frequências Hz	PAIR, dB											
	Tempo de Exposição, Anos											
	10			20			30			40		
	0,9	0,5	0,1	0,9	0,5	0,1	0,9	0,5	0,1	0,9	0,5	0,1
500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2000	0	1	1	1	1	2	1	1	2	1	2	2
3000	2	3	5	3	4	6	3	4	7	3	5	7
4000	3	5	7	4	6	8	5	6	9	5	7	9
6000	1	3	4	2	3	5	2	3	6	2	4	6

Tabela E.2 - NEN = 90 dB ($E_{A,sh} = 11,5 \cdot 10^3 \text{ Pa}^2 \cdot \text{s}$)

Frequências Hz	PAIR, dB											
	Tempo de Exposição, Anos											
	10			20			30			40		
	0,9	0,5	0,1	0,9	0,5	0,1	0,9	0,5	0,1	0,9	0,5	0,1
500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2000	0	2	6	2	4	8	3	5	9	4	6	10
3000	4	8	13	7	10	16	8	11	18	9	12	19
4000	7	11	15	9	13	18	10	14	19	11	15	20
6000	3	7	12	4	8	14	5	9	15	6	10	15

Tabela E.3 - NEN = 95 dB ($E_{A,sh} = 36,4 \cdot 10^3 \text{ Pa}^2 \cdot \text{s}$)

Frequências Hz	PAIR, dB											
	Tempo de Exposição, Anos											
	10			20			30			40		
	0,9	0,5	0,1	0,9	0,5	0,1	0,9	0,5	0,1	0,9	0,5	0,1
500	0	0	1	0	0	1?	0	1	1	0	1	1
1000	1	2	4	2	3	5	2	3	5	2	3	6
2000	0	5	13	5	9	17	7	12	20	9	14	22
3000	8	16	25	13	19	31	16	22	34	18	23	37
4000	13	20	27	16	23	32	18	25	34	19	26	36
6000	5	14	23	8	16	26	10	18	28	12	19	29

Tabela E.4 - NEN = 100 dB ($E_{A,sh} = 115 \cdot 10^3 \text{ Pa}^2 \cdot \text{s}$)

Frequências Hz	PAIR, dB											
	Tempo de Exposição, Anos											
	10			20			30			40		
	0,9	0,5	0,1	0,9	0,5	0,1	0,9	0,5	0,1	0,9	0,5	0,1
500	2	4	8	3	5	9	4	6	11	5	7	11
1000	3	6	12	6	9	15	7	10	17	8	11	19
2000	0	8	23	8	16	31	13	21	35	16	24	39
3000	13	26	41	21	32	51	26	35	56	29	38	60
4000	20	31	42	25	36	49	28	39	53	30	41	56
6000	9	23	37	14	27	42	17	29	46	19	30	48

Observa-se da Tabela 12 que as PAIRs medianas são maiores na frequência de 4000 kHz em todos os níveis e períodos de exposição, e a taxa de evolução da PAIR diminui com o tempo de exposição em todas as frequências. Se não fosse assim, isto é, se a evolução das PAIRs com o tempo de exposição fosse linear, dobrando a duração da exposição, o dano seria dobrado,

de maneira que se a exposição a certo ruído, em um ano, produzisse 15 dB de PAIR, então em dois anos seriam produzidos 30 dB e em três anos 45 dB, e assim por diante. Ao contrário, estudos realizados em seres humanos e animais mostram que o crescimento das PAIRs é exponencial, rápido no início e depois mais lento, tendendo para uma assíntota.

A **Figura 17** exemplifica o comportamento das perdas auditivas medianas, cobrindo dois períodos de exposição: 0 a dez anos e dez a 40 anos, o qual é descrito pelas equações 29 e 30, respectivamente.

Na mesma direção vai as observações de WARD(1996) e PHANEUF e HÉTU (1990), para quem a diferença dos limiares auditivos entre duas populações, uma exposta e outra não exposta ao ruído, cresce até determinado ponto e depois de alguns anos diminui, o que torna clara a desaceleração do dano auditivo após um certo período de exposição ao ruído.

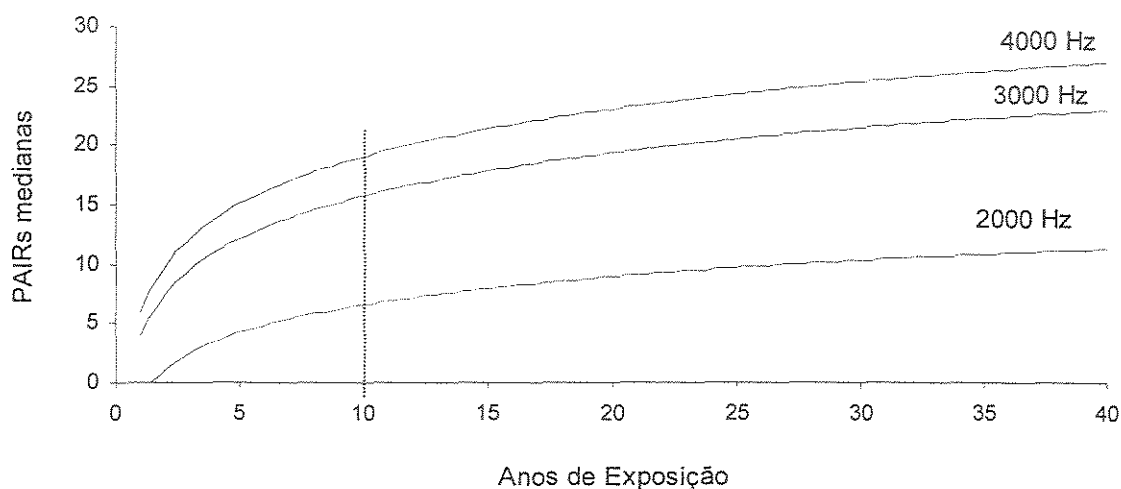


Figura 17. Evolução das PAIRs em relação ao período de exposição.

Embora não haja linearidade entre as PAIRs e a duração da exposição, ela ocorre entre as duas componentes de perdas auditivas que determinam os limiares auditivos de uma população, pelo menos até determinado ponto. Seguindo o equacionamento da ISO 1999 (1990), os limiares de audição de uma população associados aos efeitos da idade e à exposição ao ruído (H') podem ser calculados pela seguinte fórmula empírica:

$$H' = H + N' - H \cdot N'/120 \quad < 27 >$$

onde:

H é o limiar de audição, em dB, associado à idade;

N' é a perda auditiva induzida pelo ruído isenta do efeito da idade;

$N = N' - H.N'/120$ é a PAIR efetiva, geralmente chamada de PAIR real.

Como se pode observar, a equação 27 apresenta dois termos: um linear, $H+N'$, e outro não-linear, $H.N'/120$, o qual, na verdade, é uma simples correção de 2º grau (ou quadrática) da equação. No entanto, o termo $H.N'/120$ só começa a modificar o H' de forma significativa quando $H+N'$ é maior que 40 dB. De qualquer forma, é importante ressaltar que as equações que geram a base de dados da ISO 1999 (1990) resultam em PAIRs reais, ou seja, em valores já corrigidos pelo termo $H.N'/120$, o que possibilita reescrever a equação 27 de forma inteiramente linear.

$$H' = H + N \quad < 28 >$$

A relação aditiva da equação 28 é uma aproximação dos efeitos biológicos do ruído sobre a audição, sendo considerada adequada para os propósitos da norma ISO. Várias pesquisas epidemiológicas⁵ assumiram o efeito aditivo das perdas associadas à idade e das induzidas pelo ruído. Pesquisas epidemiológicas do tipo de estudos de caso-controle comparam os efeitos dos agentes agressivos sobre duas populações cujas características sejam semelhantes: uma exposta ao agente e outra não. Dessa forma, a diferença do efeito gerado nas duas populações é atribuída ao agente agressor. Algumas das pesquisas que têm como agente agressivo o ruído foram citadas em nossa revisão bibliográfica e realizadas por THIERY e MEYER-BISCH (1988), GUBERAN et al. (1971) e PRINCE et al. (1997).

Por causa da suscetibilidade individual a equação 28 é aplicável apenas para H' , H e N correspondentes ao mesmo percentil populacional. Como já visto no item 2.3.5 deste trabalho, as perdas auditivas associadas à idade (H) e as induzidas pelo ruído (N) não são as mesmas para todos os indivíduos de uma população, havendo na verdade uma grande dispersão, ainda que se considerem indivíduos de mesma idade, expostos no mesmo período a um nível de ruído constante. Assim, os resultados desses estudos são válidos dentro do correspondente percentil

populacional. Foi dessa forma que THIERY e MEYER-BISCH (1988), ALMEIDA (1992) e as normas ISO 1999 (1990) e ISO 7029 (1984) trataram os vários graus de perda auditiva encontrados em suas populações de estudo.

O método de cálculo das perdas auditivas induzidas pelo ruído, N , apresentado na ISO 1999 (1990) é estatístico. A distribuição é gaussiana e tem como valor mediano $N_{0,50}$, o qual é função da frequência audiométrica, do período de exposição, θ , e do nível de exposição normalizado, NEN , avaliado no período de exposição θ medido em anos. Para períodos de exposição entre 10 e 40 anos, $N_{0,50}$ é dado pela seguinte expressão:

$$N_{0,50} = [u + v \cdot \log(\theta/\theta_0)] \cdot (NEN - L_0)^2 \quad < 29 >$$

onde:

u e v são dados em função da frequência encontrados na **Tabela 13**;

θ_0 é um ano;

L_0 é o nível de pressão sonora de corte, em dB(A), encontrado na **Tabela 13**.

O valor de L_0 , ou seja, do menor nível de ruído capaz de produzir perdas auditivas temporárias foi discutido em alguns trabalhos. STEPHENSON (1980) realizou experimentos para identificar o valor de L_0 em indivíduos expostos a níveis de 65 a 85 dB, na frequência de 4000 Hz, e mostrou que o nível de pressão sonora de corte é um valor entre 75 e 80 dB(A). GLORIG et al. (1961) havia previsto um valor em torno de 78 dB(A), estendendo todavia esse resultado para todas as frequências. No entanto, estudos como os de WARD (1986) mostraram que, na verdade, esses valores são função da frequência, como mostra a **Tabela 13**. Como L_0 é uma referência do início do desenvolvimento de PAIR, sempre que o NEN for menor que L_0 , deve-se assumir a igualdade entre eles, o que resulta em um $N_{0,50}$ igual a 0 (zero).

Para exposições menores que dez anos as PAIRs medianas podem ser também obtidas por meio da equação 29, aplicando porém a seguinte correção:

$$N_{0,50;\theta < 10} = \log(\theta + 1)/\log(11) \cdot N_{0,50;\theta = 10} \quad < 30 >$$

⁵ Pesquisas epidemiológicas são as que estudam as relações de diversos agentes agressivos (ruído, substâncias químicas, radiação etc.) que determinam a frequência e a distribuição de uma doença numa população, como, por exemplo, a PAIR.

Tabela 13. Valores de u , v e L_0 usados para determinar as perdas medianas induzidas pelo ruído, $N_{0,50}$.

Frequência em Hz	u	v	L_0
500	-0,033	0,110	93
1000	-0,020	0,070	89
2000	-0,045	0,066	80
3000	0,012	0,037	77
4000	0,025	0,025	75
6000	0,019	0,024	77

O valor mediano das PAIRs mostra a tendência de uma população exposta ao ruído apresentar ou não um risco significativo diante de determinada exposição acústica diária, mas não revela a extensão dos danos auditivos na população como um todo, o que só pode ser visto com o estudo da distribuição estatística das PAIRs.

4.6.1 Distribuição estatística das perdas auditivas induzidas pelo ruído

THIESSEN (1977) demonstra matematicamente que mesmo que uma distribuição de limiares auditivos de uma população seja inicialmente normal (gaussiana), na presença de um ou vários agentes agressivos, sofre distorções mudando assim sua forma. A norma ISO 7029 (1984) mostra que uma população considerada otologicamente normal apresenta distribuição dos limiares auditivos formada por duas curvas normais ligadas pelo limiar auditivo mediano (percentil 50%).

De igual modo, a distribuição estatística das perdas auditivas induzidas pelo ruído (N) em populações é formada por duas distribuições normais⁶ (gaussianas) diferentes separadas por $N_{0,50}$, como mostrado na **Figura 18**. A curva à direita de $N_{0,50}$ representa os percentis da população com pior audição e é caracterizada pelo parâmetro du . A curva à esquerda de $N_{0,50}$ representa os percentis da população com melhor audição e é caracterizada pelo parâmetro di . Os

⁶ A FIGURA 18 apresenta valores ilustrativos

valores de N para qualquer percentil populacional entre 0,05 e 0,95 podem ser calculados de acordo com as equações 31 e 32.

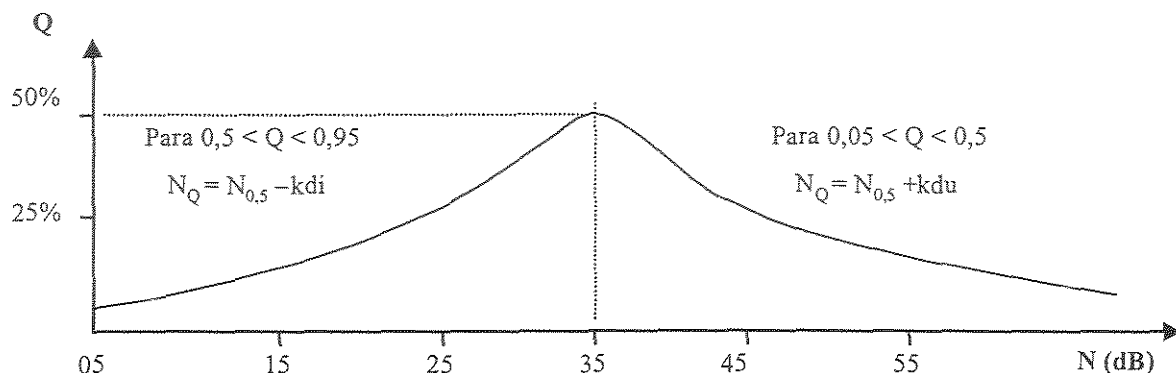


Figura 18. Distribuição de perdas auditivas induzidas pelo ruído em uma população.

A importância do valor mediano é que ele possibilita a determinação dessas duas distribuições diferentes da seguinte forma:

a) para percentis populacionais Q , tal que $0,05 < Q < 0,50$, N_Q é calculada pela equação:

$$N_Q = N_{0,50} + K \cdot du \quad < 31 >$$

b) para percentis populacionais Q da população, tal que $0,50 < Q < 0,95$, N_Q é dada pela equação:

$$N_Q = N_{0,50} - K \cdot di \quad < 32 >$$

onde os multiplicadores K são dados na Tabela 17.

As caudas da distribuição estatística $0 < Q < 0,05$ e $0,95 < Q < 1$ fogem do intervalo de confiança porque neles existem poucos dados experimentais impedindo estimativas confiáveis.

Os parâmetros du e di são calculados pelas seguintes equações:

$$du = [X_u + Y_u \cdot \log(\theta/\theta_0)] (NEN - L_0)^2 \quad < 33 >$$

$$di = [X_i + Y_i \cdot \log(\theta/\theta_0)] (NEN - L_0)^2 \quad < 34 >$$

onde: X_u , Y_u , X_i e Y_i são dados em função das frequências audiométricas na Tabela 14;

NEN é o nível de exposição sonora normalizado para uma jornada diária de oito horas;

θ é o período em anos de exposição e θ_0 é um ano;

L_0 é o nível de pressão sonora de corte dado pela **Tabela 13**.

Tabela 14. Valores X_u , Y_u , X_i e Y_i usados na determinação dos parâmetros d_u e d_i .

Frequências Hz	X_u	Y_u	X_i	Y_i
500	0,044	0,016	0,033	0,002
1000	0,022	0,016	0,020	0,000
2000	0,031	-0,002	0,016	0,000
3000	0,007	0,0016	0,029	-0,010
4500	0,005	0,009	0,016	-0,002
6000	0,013	0,008	0,028	-0,007

Uma das etapas nas estimativas das PAIRs é corrigir os limiares auditivos da população eliminando, pelo menos em parte, os efeitos da idade sobre a audição. As perdas auditivas associadas à idade (H) são importantes no contexto das exposições ao ruído industrial desde que elas ocorrem simultaneamente com os efeitos do ruído e afetam muito as estimativas de risco de danos auditivos. Uma alternativa recomendada pela ISO, nesta etapa, é a utilização de uma base de dados de limiares auditivos de populações otologicamente normais para confrontar com os limiares auditivos dos indivíduos da população exposta ao ruído, razão pela qual esta base de dados é analisada visando ao desenvolvimento do método proposto.

4.6.2 Método ISO para estimativa das perdas auditivas associadas à idade

Vários fatores afetam a audição de uma população. A literatura revela a influência de agentes ambientais como ruído, vibrações e solventes; doenças como diabetes, sarampo, otosclerose e síndrome de Ménière, uso de medicamento e drogas ototóxicas. Para formação de uma população otologicamente normal, os efeitos desses fatores podem, em parte, ser eliminados com o estudo do histórico laboral dos indivíduos da população estudada e de uma cuidadosa anamnese realizada por profissional capacitado. Seguindo essa metodologia, os estudos sobre mudanças dos limiares auditivos associados à idade deram origem a uma base de dados adotada pela norma ISO 7029 (1984). Tal base é denominada **base de dados A** pela norma ISO 1999 (1990) e deriva de indivíduos de países norte-americanos e europeus, otologicamente normais, isto é, indivíduos no estado normal de saúde e livres de todos os sinais e sintomas de doenças de ouvido que não tiveram histórico de exposição excessiva ao ruído e à outros agentes nocivos. Ela

é freqüentemente utilizada como referência em estimativas quantitativas de perdas auditivas causadas numa população devido a um agente específico, como o ruído. Os dados são apresentados separadamente para homens e mulheres pois pode haver uma diferença significativa, sobretudo, em grupos de indivíduos mais velhos.

Para estimativas da PAIR, a ISO 1999 (1990) admite o uso de duas bases de dados, **A** e **B**, constituindo-se esta última de dados da população do próprio país onde a pesquisada é realizada. A base de dados **B** sempre é a mais recomendada, porque a distribuição estatística dos limiares de audição da base de dados **A** pode não ser representativa de populações de outras áreas geográficas diversas das americanas e européias. Certamente, mesmo que não haja diferença no envelhecimento natural entre populações étnicas diferentes, podem ocorrer diferenças no estilo de vida, exposições não ocupacionais a ruído, incidência de doenças e uso de drogas ototóxicas.

Os valores originais da base de dados **A** foram colhidos por meio de testes audiométricos por via aérea e deram origem a uma distribuição estatística de limiares de audição de pessoas otologicamente normais (**H**) que podem ser expressos conforme o seguinte conjunto de equações.

$$\text{Para } 0,05 < Q < 0,50 \quad H_Q = H_{0,50} + K.(bu + 0,445.H_{0,50}) \quad < 35 >$$

$$\text{Para } Q = 0,50 \quad H_{0,50} = a.(Y - 18)^2 + H_{0,50;18} \quad < 36 >$$

$$\text{Para } 0,5 < Q < 0,95 \quad H_Q = H_{0,50} - K.(bi + 0,356.H_{0,50}) \quad < 37 >$$

onde: $H_{0,50}$ é o valor mediano da perda auditiva associada à idade e $H_{0,50;18}$ é o nível limiar de audição mediano de pessoas otologicamente normais, do mesmo sexo e com idade de 18 anos.

a, **bu**, **bi** e **K** são os valores dos coeficientes apresentados nas Tabelas 15, 16 e 17, respectivamente;

Os resultados dessas equações são limiares de audição máximos (H_Q) de uma população associados a uma porcentagem da população (**Q**). Pode-se observar da **Figura 19** que a

distribuição estatística⁷ de H é muito semelhante à de N . É, também formada por duas distribuições gaussianas diferentes separadas pela mediana de H , denominada $H_{0,50}$.

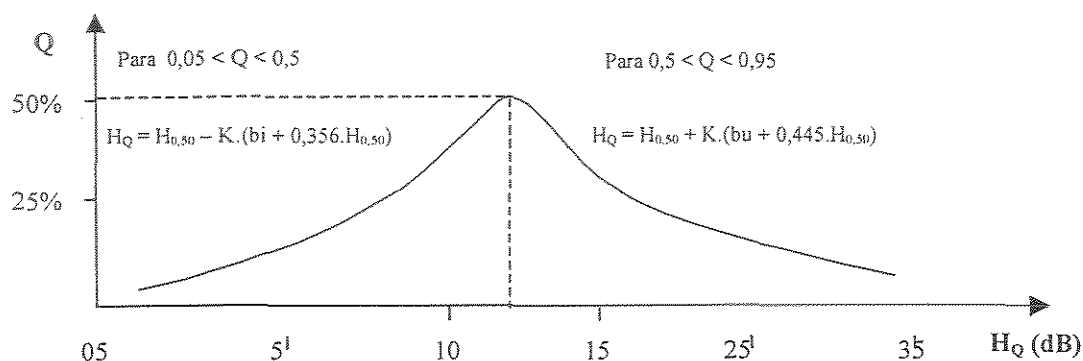


Figura 19. Distribuição de perdas auditivas associadas à idade de populações otologicamente normais.

Tabela 15. Valores do coeficiente a .

Frequências Hz	Valores de a	
	Masculino	Feminino
125	0,0030	0,0030
250	0,0030	0,0030
500	0,0035	0,0035
1000	0,0040	0,0040
1500	0,0050	0,0050
2000	0,0070	0,0060
3000	0,0115	0,0075
4000	0,0160	0,0090
6000	0,0180	0,0120
8000	0,0220	0,0150

Tabela 16. Valores de b_u e b_i usados para determinar, respectivamente, as partes acima e abaixo de H_Q da distribuição estatística.

Frequências Hz	Valores de b_u		Valores de b_i	
	Masculino	Feminino	Masculino	Feminino
125	7,23	6,67	5,78	5,34
250	6,67	6,12	5,34	4,89
500	6,12	6,12	4,89	4,89
1000	6,12	6,12	4,89	4,89
1500	6,67	6,67	5,34	5,34
2000	7,23	6,67	5,78	5,34
3000	7,78	7,23	6,23	5,78
4000	8,34	7,78	6,67	6,23
6000	9,45	8,90	7,56	7,12
8000	10,56	10,56	8,45	8,45

⁷ A FIGURA 19 apresenta valores ilustrativos

Tabela 17. Valores do multiplicador K.

Q		K
0,05	0,95	1,645
0,10	0,90	1,282
0,15	0,85	1,036
0,20	0,80	0,842
0,25	0,75	0,675
0,30	0,70	0,524
0,35	0,65	0,384
0,40	0,60	0,253
0,45	0,55	0,125
0,50		0

Obs.: A interpolação entre os valores apresentados pode ser obtida na ISO 7029 (1984).

Neste capítulo e nos anteriores foram apresentadas as ferramentas básicas para o entendimento e desenvolvimento do método proposto, ou seja, levantaram-se os resultados importantes das pesquisas sobre as perdas auditivas induzidas pelo ruído, descreveram-se as características e a relação de causa e efeito do ruído e da PAIR e comentaram-se os fatores que influenciam o desenvolvimento da surdez ocupacional. Com base nesses capítulos, a seguir, apresentamos o método proposto visando à estimativa de exposição não contínua ao ruído.

5 O MÉTODO PROPOSTO

A inexistência de um método para estimativa das PAIRs causadas por exposição não contínua prejudica a prevenção eficaz das perdas auditivas e o exercício de garantias legais, trabalhistas e previdenciárias dos trabalhadores expostos a ruído intenso. Neste capítulo apresentamos o método proposto de estimativa de exposições não contínuas ao ruído, que configura a Tese de Doutorado ora defendida.

Como já citado, atualmente as estimativas das perdas auditivas induzidas pelo ruído estão restritas a ambientes de trabalho onde a exposição ao ruído pode ser considerada contínua. A realização de numerosas medições diárias da exposição de trabalhadores em ambientes de trabalho que apresentem grandes variações de níveis sonoros pode ajudar a caracterizar o tipo de exposição. Neste trabalho, a exposição é tida como não contínua quando os níveis de exposição normalizados dessas medições ultrapassam em, pelo menos, 10 dB o nível de exposição equivalente medido em um grande intervalo de tempo que não exceda a um ano. Este é também o limite de aplicabilidade da norma ISO 1999 (1990).

Muitas categorias profissionais da Construção Civil, como as de ajudantes gerais, pedreiros, armadores e carpinteiros, caracterizam-se por exposições não contínuas ao ruído. A título de exemplo, a **Tabela 18** mostra as grandes variações de níveis equivalentes (Neqs) em diversas tarefas executadas por ajudantes gerais. Como tais tarefas podem durar dias de trabalho, é pertinente considerar o valor do NEN igual ao Neq nesse período.

Vê-se ainda da **Tabela 18** que as variações dos Neqs entre tarefas podem ultrapassar 32 dB(A). Qualquer que seja o nível médio medido em um longo período de medição (diário, semanal ou mensal), a sua diferença com o Neq ou NEN aponta para valores maiores que 10 dB; vê-se daí caracterizada a exposição ao ruído dos ajudantes gerais como não contínua.

O desenvolvimento de um método para esse tipo de exposição exige pressupostos específicos que abranjam maiores variações de NEN que 10 dB e levem em conta outros fatores como o descanso auditivo decorrente de tarefas caracterizadas pelo baixo nível de ruído e o uso de protetores auriculares que diminuem o efeito do ruído na audição.

Tabela 18. Neq de tarefas executadas por ajudantes gerais.

Tarefas Executadas	Neq
Corte de junta de dilatação de piso com “makitão”	103,2 dB(A)
Corte de blocos de concreto com lixadeira elétrica manual	102,0 dB(A)
Operador de elevador de materiais (na concretagem)	97,5 dB(A)
Auxiliar do bate-estacas durante cravação de estaca	92,0 dB(A)
Movimentação de jericas durante concretagem (sob laje)	90,5 dB(A)
Quebra de contrapiso com marreta e talhadeira	89,4 dB(A)
Operador de vibrador de imersão	84,8 dB(A)
Operador de elevador de passageiros	82,1 dB(A)
Preparação de argamassa e transporte de materiais (argamassa e tijolos)	77,3 dB(A)
Descarregamento de material (piso)	79,4 dB(A)
Movimentação de argamassa e tijolos	74,6 dB(A)
Escavação de solo com uso de pá e picareta	74,0 dB(A)
Movimentação de tijolos	73,2 dB(A)
Aterramento (uso de pá, carrinho, enchadão, compactador manual)	71,0 dB(A)

5.1 Pressupostos do método proposto

No desenvolvimento do método proposto para determinação do NEN representativo das exposições não contínuas ao ruído, foram assumidos os seguintes pressupostos:

a) que a exposição média ao ruído de qualquer grupo de trabalhadores de uma única categoria profissional é a mesma se considerado um tempo suficientemente grande (maior ou igual a cinco anos);

b) após um período igual ou maior que cinco anos, a distribuição das PAIRs de uma população de indivíduos da mesma categoria profissional é formada por metades diferentes de distribuição gaussiana separadas por um ponto comum: **o valor mediano das perdas auditivas**, conforme mostrado na **Figura 18**;

c) as perdas auditivas de qualquer percentil populacional podem ser subdivididas em perdas associadas à idade e perdas induzidas pelo ruído ocupacional.

O primeiro pressuposto (a) é justificado pela realização de atividades específicas da mesma categoria profissional, pelo uso das mesmas máquinas, pelo número de técnicas construtivas restritas, pelos mesmos períodos médios de recuperação auditiva e pelo tempo suficiente para que ocorram vários ciclos de exposição relativos a cada atividade. Adotou-se o período mínimo de cinco anos de exposição, pois nesse período há tempo suficiente para homogeneização da exposição dos indivíduos da população estudada, isto é, tempo para que os trabalhadores executem todas as tarefas típicas da função em número razoável de vezes que possibilite a determinação de uma medida representativa da exposição global. Além disso, como as PAIRs, pelo menos na frequência de 4000 Hz, crescem mais rapidamente nos primeiros anos de exposição e atingem uma assíntota em cerca de dez anos, em períodos maiores que cinco anos assumem valores suficientes para serem medidos com maior precisão pelos audiômetros modernos.

A justificativa do pressuposto (b) recai sobre a suscetibilidade individual e sobre a extensão da aplicação do princípio de igual energia. Como já tratado no item 3.3.5, o ruído não afeta os indivíduos de uma população da mesma maneira. Há indivíduos muito “resistentes” e outros muito “suscetíveis” aos efeitos do ruído, de modo que para um único NEN, depois de alguns anos de exposição, haverá diversos grupos dentro da população estudada com vários graus diferentes de PAIR. Para **exposições contínuas** essa distribuição já foi estudada e normalizada pela ISO 1999 (1990). Essa distribuição depende do NEN que está intimamente relacionado à mesma quantidade de energia sonora presente **todos os dias** nos ambientes de trabalho. A diferença do caso abordado por este trabalho é que nas **exposições não contínuas** a energia não é distribuída igualmente dia a dia ou até semanalmente, mas num longo período de duração igual ou superior a cinco anos, conforme o pressuposto (a).

Por outro lado, o princípio de igual energia relaciona a energia sonora e sua duração no ambiente com as PAIRs. Por esse princípio, segundo WARD (1986), a intensidade acústica gerada durante a jornada diária de trabalho, repetidamente, em um período de anos, causa determinado dano acústico. O mesmo dano pode ser causado diminuindo-se a intensidade acústica e aumentando-se o tempo de exposição sonora ou a intensidade e diminuindo-se o tempo de exposição diária no mesmo período. No pressuposto (b), preservou-se o princípio de igual energia, mas estendeu-se a idéia de exposição diária para períodos iguais ou maiores que cinco

anos. Então, assume-se neste trabalho que, para que ocorra determinado dano auditivo, não importa a distribuição diária de energia e sim que em períodos de exposição iguais a energia total seja a mesma. Conseqüentemente, o comportamento da curva de distribuição das PAIRs decorrentes da exposição não contínua será semelhante ao das PAIRs devido à exposição contínua.

O terceiro pressuposto (c), ou seja, que as perdas auditivas sensoriais totais de uma população podem ser subdivididas em perdas associadas à idade e em PAIRs, é uma decorrência de estudos de dados experimentais já consolidados na norma internacional ISO 1999 (1990).

5.2 Etapas do método proposto

A estimativa da exposição não contínua ao ruído ocupacional de determinada população, conforme o método proposto, passa por três etapas sucessivas:

- a) coleta e tratamento de dados audiométricos. Desses dados são determinados os limiares auditivos da população estudada (H');
- b) estimativa das perdas auditivas de audição associadas à idade, H , segundo procedimento adotado na norma ISO 7029 (1984);
- c) cálculo do nível de exposição normalizado.

5.2.1 Coleta e tratamento dos dados audiométricos

a) Precauções quanto à coleta de dados

Alguns cuidados têm de ser tomados na coleta de dados audiométricos, especialmente quanto à calibração dos audiômetros, ao local onde são realizados os exames e a quem aplica e interpreta os resultados.

Deve-se realizar uma calibração biológica no início dos exames. Nesse caso o examinador pode determinar seus próprios limiares auditivos com o equipamento. Se, porventura, encontrar algum desvio, deve contabilizá-lo nos limiares dos indivíduos posteriormente testados. De qualquer forma, pelo menos uma vez por mês, o equipamento tem de ser testado utilizando um indivíduo (ou indivíduos) que possua um padrão audiométrico estável e limiares de audição

iguais ou menores que 10 dB(NA) na frequência entre 500 e 6000 Hz. Havendo alterações, deve-se enviar o equipamento para uma calibração realizada por empresa ou profissional capacitado.

Os audiômetros, pelo menos anualmente, têm de passar por uma calibração acústica que consiste em controlar os níveis de saída dos fones do aparelho a níveis estabelecidos por uma norma internacional como a ANSI 3.6 (1989). A cada cinco anos, deve-se realizar, a calibração eletroacústica total, que consiste em uma revisão eletroeletrônica completa do aparelho, em um exame das características do som emitido e no controle do nível de som emitido. Na **Tabela 19** apresentam-se os valores dos níveis sonoros para calibração de audiômetros.

Tabela 19. Valores de níveis sonoros, em dB, para calibração de audiômetros.

ASA 1951 (1951)	ANSI S3.6 (1989)	
39,5	25,5	
25,0	11,5	
1000	7,0	16,5
2000	9,0	17,0
3000	10,0	16,0
4000	9,5	15,0
6000	15,5	17,5
8000	13,0	21,0

Fonte: SANTOS (1989), modificada.

O local, ou seja, a sala e sua respectiva cabine onde se realizam os exames, devem também estar em conformidade com normas internacionais como a ANSI S3.1 (1977), cujos níveis de pressão sonora máximos admissíveis estão mostrados na **Tabela 20**.

Tabela 20. Níveis de pressão máximos admissíveis, em dB, estabelecidos pela norma ANSI S3.1 (1977) para cabines audiométricas e níveis medidos na sala onde foi instalada.

Frequência	Cabine Audiométrica	Sala
250	23,0	54,0
500	21,5	65,5
1000	29,5	82,5
2000	34,5	92,5

Frequência	Cabine Audiométrica	Sala
3000	39,0	-
4000	42,0	101,0
6000	41,0	-
8000	45,0	104,0

b) Coleta de dados propriamente dita

O equacionamento do método proposto exige dois conjuntos representativos de dados audiométricos. O primeiro é formado por indivíduos jovens, de 18 a 20 anos, otologicamente normais, não expostos ao ruído, que estejam iniciando a sua vida no mercado de trabalho e, de preferência, da mesma origem e condições sociais que os indivíduos da categoria estudada. Desse conjunto de dados será calculado o limiar auditivo mediano que servirá como referência para a contabilização das PAIRs da população estudada para fins de estimativa da exposição sonora.

O segundo conjunto é composto pelos audiogramas da população estudada, os quais terão de ser selecionados, previamente, com base no diagnóstico de um médico ou de um fonoaudiólogo, de maneira que apenas os que apresentarem perdas auditivas ocupacionais induzidas, exclusivamente, pelo ruído poderão ser objeto de posterior análise. Em geral, esses diagnósticos baseiam-se em exames clínicos, exames audiométricos e anamnese. Uma segunda etapa de seleção deverá ser aplicada no conjunto de audiogramas pré-selecionados, utilizando as informações dos respectivos históricos ocupacionais dos indivíduos do grupo estudado. As informações terão de ser suficientes para permitir a exclusão dos que apresentarem outros efeitos sobre os limiares auditivos, que não sejam as perdas auditivas induzidas pelo ruído da categoria profissional estudada, observando, pelo menos, as seguintes questões:

a) se houve exposição significativa ao ruído fora da categoria profissional estudada; se o tempo de trabalho na categoria profissional estudada é pequeno (~ períodos menores que seis meses);

b) se as atividades são específicas, porém bem diferenciadas da maioria da categoria profissional, como, por exemplo, ajudantes gerais de empresas construtoras de túneis;

c) se os audiogramas ou documentos anexos possuem todos os dados necessários a sua classificação e análise (idade, tempo de exposição ao ruído, resposta às perguntas da anamnese etc.).

Após a seleção dos audiogramas, estes terão de ser classificados por categoria profissional e por faixas etárias, nunca maiores que dez anos, mas de preferência menores que cinco anos. Para cada faixa etária, devem-se calcular a idade média, a duração média da exposição não contínua ao ruído na profissão e o valor mediano dos limiares auditivos ($H'_{0,50}$) da população em estudo, na frequência de 4000 Hz, baseado no melhor ouvido.

5.2.2 Estimativa das perdas auditivas medianas associadas à idade

Neste trabalho optou-se pelo uso da base de dados A, a qual foi adotada pela norma ISO 7029 (1984), para estimar as perdas auditivas associadas à idade ($H_{0,50}$). O uso de uma base de dados B foi descartada, pois até o momento os institutos brasileiros que estudam a audição não se preocuparam em desenvolvê-la.

Embora alguns trabalhos levantem dúvidas sobre a abrangência da base de dados A, há razões pelas quais se resolveu utilizá-la aqui. A primeira é que ela é representativa de muitos povos. A segunda é que os dados colhidos são de trabalhadores de São Paulo, cidade urbanizada e industrializada ao nível das norte-americanas e européias. A terceira, e última, é que na maior parte das atividades da Construção Civil, pelo menos na maioria dos países, utiliza-se a mão-de-obra de indivíduos da classe social baixa, já que as tarefas são manuais, repetitivas, e quase sempre mal remuneradas, exatamente o que ocorre em São Paulo.

O cálculo das perdas auditivas associadas à idade (H) deve ser feito por faixa etária para cada categoria profissional, na frequência audiométrica de 4000 Hz. O valor mediano de H é dado pela equação 38:

$$H_{0,50} = a.(Y-18)^2 + H_{0,50;18-20} \quad < 38 >$$

onde:

a é o coeficiente igual a 0,016 conforme **Tabela 13**;

Y é a idade em anos;

$H_{0,50;18-20}$ é o valor mediano dos limiares auditivos de uma amostra de pessoas otologicamente normais, não expostas ao ruído, e com idade entre 18 e 20 anos, da mesma população ou outra de características semelhantes quanto a nosoacusia, socioacusia e presbiacusia.

5.2.3 Cálculo do nível de exposição normalizado

Para calcular o nível de exposição normalizado (NEN), primeiro é necessário conhecer o valor mediano das perdas auditivas induzidas pelo ruído ($N_{0,50}$). Para isso, utiliza-se o terceiro pressuposto assumido por este trabalho, ou seja, que os limiares aditivos de uma população podem ser expressos pela adição de H e N; assim, temos:

$$N_{0,50} = H'_{0,50} - H_{0,50} \quad < 39 >$$

onde:

$H'_{0,50}$ é o valor mediano dos limiares auditivos, em dB, dos indivíduos do grupo de faixa etária cujo período de exposição ao ruído é igual ou superior a cinco anos;

$H_{0,50}$ é o valor mediano da perda auditiva, em dB, associado à idade.

O passo final para estimativa da exposição é a determinação do NEN representativo das exposições não contínuas de indivíduos da mesma categoria profissional a ruído excessivo, durante oito horas por dia, cinco dias por semana, 50 semanas por ano. Para isso, insere-se na equação 40, deduzida da equação 29, o valor da PAIR mediana, $N_{0,50}$, da população estudada em 4000 Hz.

$$NEN = \sqrt{N_{0,50} \div (0,025 \times (1 + \text{Log}\theta))} + 75 \quad < 40 >$$

Como se pode observar, a equação 40 já apresenta a substituição dos parâmetros u, v, L_0 e θ_0 pelos seus respectivos valores, todos mostrados na **Tabela 13** com exceção de θ_0 , que é igual a um ano.

O NEN encontrado, nesse caso, pode ser definido como um valor de nível de exposição diária contínua, que tem a capacidade de desenvolver as mesmas PAIRs que as exposições não contínuas em determinada população de trabalhadores da mesma categoria profissional, avaliadas, ambas as exposições contínuas e não contínuas, em um período maior ou igual a cinco anos.

5.2.4 Distribuição das perdas auditivas induzidas pelo ruído

Como visto neste trabalho, o nível de exposição equivalente corresponde à energia acústica média que tem o mesmo potencial de lesão auditiva que o conjunto de todos os níveis considerados dentro do período de integração. Esse nível pode ser expresso em termos de NEN, conforme a equação 23. Adotando-se o princípio de igual energia e os pressupostos estabelecidos no item 4.1 deste trabalho, pode-se esperar que a distribuição das PAIRs causadas por exposições não contínuas tenha o mesmo comportamento que as contínuas e possa ser estimada do mesmo equacionamento adotado pela norma ISO 1999 (1900). Dessa forma, a distribuição das perdas auditivas de uma população devido a exposições não contínuas ao ruído ocupacional pode ser determinada para cada percentil populacional, levando em conta a frequência audiométrica, a duração da exposição e o NEN encontrado pelo método proposto. Para tanto, faz-se uso das equações 41 e 42 resultantes da substituição das equações 33 e 34 nas equações 31 e 32, respectivamente. Assim, temos:

Para percentis populacionais Q , tal que $0,05 < Q < 0,50$, a distribuição de perdas induzidas pelo ruído (N_Q) é calculada pela equação:

$$N_Q = N_{0,50} + K \cdot (X_u + Y_u \cdot \text{Log } \theta) \cdot (NEN - L_0)^2 \quad < 41 >$$

Para percentis populacionais (Q) da população, tal que $0,50 < Q < 0,95$ (N_Q), é dada pela equação:

$$N_Q = N_{0,50} - K \cdot (X_i + Y_i \cdot \text{Log } \theta) \cdot (NEN - L_0)^2 \quad < 42 >$$

onde: K é encontrado na **Tabela 15**;

L_0 é dado na **Tabela 16**;

X_u , X_i , Y_u e Y_i são encontrados na **Tabela 17**.

5.2.5 Ajustes das curvas geradas pelos dados audiométricos

Em uma população exposta ao ruído ocupacional, a magnitude das PAIRs depende dos seguintes fatores:

- a) nível de exposição médio diário;
- b) período em anos dessa exposição;

c) suscetibilidade individual.

Na elaboração da ISO 1999 (1990), formou-se uma grande base de dados de níveis de exposição entre 78 e 100 dB(A) e durações entre zero e 40 anos, baseada em vários conjuntos de dados da América do Norte e da Europa, o que resultou em um método de estimativa de PAIR com uma larga faixa de aplicação. O emprego do método proposto em geral partirá de um conjunto limitado de dados audiométricos para determinação de um nível de exposição normalizado. Nessas condições, os resultados da aplicação freqüentemente apresentarão algumas distorções. Para minimizá-las, devem-se levar em conta os níveis-padrões de exposição de interesse no campo de Saúde Ocupacional. Tais níveis estão associados a valores de perdas auditivas induzidas pelo ruído, que podem ser utilizados como referência de um procedimento de correção de curvas geradas a partir dos dados audiométricos.

Visando à conservação auditiva, dois desses níveis-padrões de exposição têm de ser observados:

- a) o nível de ação: conceituado como o nível de exposição acima do qual as primeiras ações ou medidas preventivas devem ser aplicadas;
- b) o limite de exposição normalizado admissível: conceituado como o nível de exposição acima do qual se fazem necessárias ações ou medidas de controle, simultâneas ou não, sobre a fonte sonora, a trajetória do som e o indivíduo.

No Brasil o limite de ação é de 82 dB(A) e o limite de exposição normalizado admissível, também denominado limite de tolerância, é de 85 dB(A).

No caso de exposições contínuas, quando o nível de exposição diário é maior que 82 dB(A) e menor que 85 dB(A), apenas a parte da população representada pelos indivíduos mais suscetíveis apresenta PAIR significativa a ponto de poder ser detectada nos primeiros anos de exposição. À medida que o nível de exposição cresce, uma parte maior da população apresenta maiores valores dessas perdas auditivas, todavia diferenciadas por percentil populacional. Os percentis refletem o efeito variado que o ruído tem sobre cada parcela da população exposta, revelando seus vários graus de suscetibilidade individual. Isso pode ser observado pelas curvas de PAIR *versus* a freqüência audiométrica mostradas na **Figura 27**. Como se vê nessa figura, o efeito do ruído ocupacional se manifesta pelo perfil característico da PAIR em populações expostas, como descrito por CONRAUX (1990). Por outro lado, o período de exposição é

importante na medida em que as PAIRs se desenvolvem lentamente e dessa forma, pelo menos em uma parte da população, são necessários alguns anos de exposição para que os audiômetros detectem esses efeitos. A precisão desse equipamento é outro ponto que dificulta a determinação do valor exato das PAIRs individuais.

O audiômetro convencional é o equipamento adequado para determinar os limiares mínimos de audição. Ele emite tons entre -10 e 120 dB(NA) em intervalos de 5 em 5 dB em frequências de 125 , 250 , 500 , 1000 , 2000 , 3000 , 4000 , 6000 , 8000 Hz para serem ouvidos pelos indivíduos testados. Os valores mínimos dos níveis de pressão sonora ouvidos são anotados em gráficos chamados audiogramas. Entretanto, essa variação de 5 em 5 dB é um intervalo grande em comparação com as mudanças dos limiares de audição induzidas pelo ruído nos primeiros anos de exposição a níveis abaixo de 85 dB(A).

Tais dados, aliados aos erros relacionados com a resposta do indivíduo no teste audiométrico e ao número limitado de dados audiométricos coletados, podem resultar em curvas de limiares auditivos que, aparentemente, não apresentem a parcela de perdas decorrente do ruído.

O tempo mínimo de exposição para identificação das PAIRs depende do nível diário de exposição de forma que, quanto maior o nível, menor a duração da exposição. Estimativas de PAIR de uma população exposta ao ruído por $5,5$ anos, a 82 dB(A), baseadas no procedimento ISO, mostraram que se podem esperar, em 90% dessa população, PAIRs maiores ou iguais a 1 dB(NA), mas apenas 10% da população apresentaria perdas maiores ou iguais a $2,6$ dB(NA). Esses valores, apresentados na **Tabela 21**, revelam que o audiômetro não tem a precisão necessária para detectar perdas auditivas induzidas pelo ruído em algumas exposições de interesse no campo da Saúde Ocupacional, razão pela qual se faz necessário aplicar ajustes sobre as curvas dos limiares auditivos da população estudada e, possivelmente, em nível de refinamento, nas curvas de PAIRs medianas antes da aplicação propriamente dita do método proposto.

O procedimento de ajuste deve contemplar, pelo menos, os seguintes critérios:

- a) os valores medianos dos limiares de audição calculados, em todas as frequências e percentis populacionais, têm de ser maiores ou iguais às perdas auditivas associadas à idade;
- b) as PAIRs medianas são cumulativas, por isso sempre aumentam com a duração da exposição;

- c) a taxa de crescimento das PAIRs é maior nos primeiros anos de exposição, mas diminui seu valor ao passar dos anos, atingindo uma assíntota após dez a 12 anos de exposição;
- d) o perfil encontrado, a partir dos dados coletados, para cada categoria, deve ter a forma característica das perdas auditivas induzidas pelo ruído.

Tabela 21. Perdas auditivas induzidas pelo ruído, por percentil populacional, após 5,5 anos de exposição contínua ao ruído de 82, 85 e 90 dB(A).

Q	82 dB(A)	85 dB(A)	90 dB(A)
	PAIR em dB(NA)		
0,05	2,9	5,8	13,1
0,10	2,6	5,4	12,1
0,15	2,5	5,1	11,5
0,20	2,4	4,9	11,0
0,25	2,3	4,7	10,6
0,30	2,2	4,5	10,2
0,35	2,1	4,4	9,8
0,40	2,1	4,2	9,4
0,45	2,0	4,0	9,1
0,50	1,9	3,9	8,8
0,55	1,8	3,7	8,4
0,60	1,7	3,5	8,0
0,65	1,6	3,3	7,5
0,70	1,5	3,1	7,1
0,75	1,4	2,9	6,6
0,80	1,3	2,7	6,0
0,85	1,2	2,4	5,4
0,90	1,0	2,0	4,6
0,95	0,7	1,5	3,4

A aplicação desse ajuste resultará em curvas mais próximas do esperado e, conseqüentemente, em um nível de exposição ao ruído mais representativo das perdas auditivas induzidas pelos ruídos reais.

5.2.6 Análise do método proposto

Esta análise cobre a origem, a abrangência, as limitações e a precisão do método proposto, cujo desenvolvimento se baseou no método de estimativa de PAIR apresentado na norma ISO 1999 (1990). Utilizaram-se a mesma base de dados e princípios. A diferença básica entre o método ISO e o método proposto neste trabalho é que a ISO parte dos níveis de exposição normalizado (NENs) para estimar as possíveis PAIRs ocupacionais decorrentes de exposições **contínuas**, enquanto o método proposto parte das PAIRs ocupacionais reais associadas a exposições **não contínuas** ao ruído para determinar um nível de exposição normalizado que as

represente. Note-se que o equacionamento do método ISO foi trabalhado e a ele foram acrescentadas novas condições de contorno. Essas condições são os pressupostos apresentados no item 4.1. Além disso, o método proposto abrange qualquer variação de NEN diário enquanto o método da ISO limita essa variação a 10 dB. Um fator limitante é obter dados audiométricos de uma população cujo período de exposição médio ao ruído não contínuo seja maior ou igual a cinco anos.

Os resultados do método proposto, como previu WARD (1986), estão relacionados pela efetividade de causar dano auditivo, isto é, a **exposição não contínua** pode ser expressa pela **exposição contínua** quando o efeito dessas exposições são perdas induzidas pelo ruído. O valor do NEN encontrado leva em consideração a categoria profissional ou a atividade exercida, as grandes variações dos níveis de ruído na jornada de trabalho, o uso de EPI e, ainda, a recuperação auditiva devido aos períodos de realização de tarefas não ruidosas.

Determinando-se o valor do NEN representativo de exposições não contínuas, pode-se também determinar a distribuição de perdas auditivas induzidas por essas exposições com base no modelo ISO. Isso porque as PAIRs são irreversíveis, não importando terem elas sido geradas por uma energia sonora contínua ou não.

A precisão do método foi otimizada pela utilização, exclusiva, dos dados de limiares auditivos em 4000 Hz na estimativa da PAIR. Essa escolha decorre das conclusões de vários trabalhos já citados na revisão bibliográfica e, especialmente, da interpretação dos gráficos das Figuras 26 e 27 e outros apresentados no próximo capítulo, traçados conforme a ISO 1999 (1990), que mostram que as perdas auditivas induzidas pelo ruído são maiores em 4000 Hz. Esse achado, além de facilitar a identificação e quantificação das PAIRs, permite menores erros de cálculo do efeito do ruído na audição e, conseqüentemente, da avaliação quantitativa da exposição.

No capítulo seguinte apresentamos uma aplicação do método proposto que forneceu subsídios sobre a sua coerência em relação ao equacionamento e às condições reais de exposição nos canteiros de obras e possibilitou, também, o desenvolvimento dos critérios de ajustes descritos no item 5.2.5 deste trabalho.

6 VALIDAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

Uma aplicação para a Construção Civil

Este capítulo trata da coleta, do tratamento dos dados audiométricos e dos resultados obtidos da aplicação do método proposto de estimativa de exposições não contínuas ao ruído, visando à estimativa do nível de exposição normalizado (NEN) das populações estudadas. Os dados audiométricos e demonstrativos de cálculos para cada categoria profissional fazem parte do Anexo B deste trabalho.

Nesta aplicação foram estudados dois grupos de trabalhadores de duas importantes categorias profissionais da Construção Civil. Dados audiométricos de carpinteiros e ajudantes gerais foram analisados junto com os respectivos dados de exposição ao ruído. Os dados foram obtidos de um levantamento do histórico ocupacional simplificado de cada trabalhador levando em conta a faixa etária, o tempo de exposição e a suscetibilidade individual aos efeitos auditivos do ruído. Os NENs encontrados foram confrontados com os níveis de exposição ao ruído de tarefas típicas dessas categorias profissionais, níveis globais de pressão sonora e espectros sonoros de várias máquinas e equipamentos, obtidos por medições realizadas em diversos canteiros de obras.

6.1 Coleta dos dados audiométricos

Os dados audiométricos desta aplicação foram obtidos por meio de exames realizados por fonoaudiólogas do Serviço Social da Indústria da Construção Civil no Estado de São Paulo (SECONCI/SP) no período de 1996 a 1997. Ao todo foram colhidos exames de 1.977 trabalhadores de 49 empresas de Construção Civil da cidade de São Paulo e região, distribuídos conforme a Tabela 22. O encaminhamento do trabalhador era previamente agendado pelos

serviços médicos ou recursos humanos das empresas conveniadas ao SECONCI, possibilitando ao trabalhador e à empresa planejar o descanso auditivo necessário à realização do teste.

Tabela 22. Número de audiogramas por categoria profissional da Construção Civil.

Nº	Categoria Profissional	Nº de Audiogramas
1	Ajudante geral/servente	227
2	Almoxarifado	8
3	Apontador	5
4	Armador	95
5	Auxiliar de britagem	26
6	Caldeireiro	7
7	Carpinteiro	672
8	Eletricista	44
9	Emendador	9
10	Encanador	30
11	Encarregado geral	46
12	Enchador	1
13	Engenheiro	8
14	Escavador	3
15	Escorador	4
16	Feitor de túnel	6
17	Impermeabilizador	5
18	Jatista	2
19	Lubrificador	9
20	Marceneiro	19
21	Marteleteiro	26
22	Mecânico de máquinas	64
23	Mestre-de-obras	15
24	Motorista	215
25	Motorista de betoneira	10
26	Operador acabadora	4
27	Operador de bate-estacas	9
28	Operador de betoneira	14
29	Operador de <i>dumper</i>	2
30	Operador de equipamento	68
31	Operador de grua	3
32	Operador de guincho	41
33	Operador de painel controle	2
34	Operador de perfuratriz	22
35	Operador de retroescavadeira	59
36	Operador de rotativa	2
37	Pé de sonda	3
38	Pedreiro	95
39	Piloneiro	5
40	Pintor	11
41	Soldador	41
42	Sondador	40
Total		1977

6.2 Local dos testes audiométricos

Os exames audiométricos foram realizados em sala e cabine adequadas para tal fim, utilizando um audiômetro modelo AD 27, marca Interacoustics. A calibração do equipamento, no

período dos exames, seguiu os requisitos da norma ANSI S3.6 (1969) – *Specification for audiometers*. Na **Tabela 23** são apresentados os níveis de pressão sonora (NPSs) admissíveis em salas e cabines de exames audiométricos onde se utilizam os fones de ouvido do tipo THD 39 montados sobre colchões de borracha MX-41/AR. Mostra também os NPSs em banda de frequência de 1/1 oitava, medidos na sala e na cabine acústica do SECONSI/SP onde foram realizados os exames audiométricos.

Como se observa na segunda e terceira coluna da **Tabela 23**, apenas na frequência de 250 Hz os níveis de pressão sonora da cabine são maiores que os admissíveis. É preciso ressaltar que, eventualmente, podem-se tolerar, dentro da cabine, níveis um pouco superiores aos da ANSI S3.1 (1977), desde que os fones estejam instalados dentro de conchas de atenuação revestidos de um colchão circular de borracha, o que corresponde à situação do SECONCI. Isso nos permite concluir que os níveis de ruído da sala e da cabine audiométrica estavam em conformidade com os padrões de aceitabilidade da norma ANSI 3.1 (1977), mesmo havendo na cabine um desvio de 6 dB em 250 Hz em relação ao valor adotado pela norma.

Tabela 23. Níveis de pressão máximos admissíveis estabelecidos pela norma ANSI S3.1 (1977) para cabine audiométrica e níveis medidos na sala onde foi instalada.

Frequência	Cabine Audiométrica		Sala	
	ANSI 3.1(1977)	NPS da Cabine	ANSI 3.1(1977)	NPS da Sala
250	23,0	28,9	54	53,0
500	21,5	19,8	65,5	40,5
1000	29,5	16,0	82,5	35,5
2000	34,5	17,0	92,5	31,5
3000	39,0	18,0	-	27,5
4000	42,0	16,0	101,0	25,5
6000	41,0	10,0	-	13,5
8000	45,0	10,0	104,0	15,5

6.3 Tratamento dos dados audiométricos

Para estimar as perdas auditivas induzidas pelo ruído realizou-se um tratamento estatístico sobre os dados audiométricos que envolveu a seleção, a classificação e a análise dos dados.

a) Seleção

Antes do início da fase de coleta, os audiogramas do SECONCI eram arquivados simplesmente pela ordem cronológica dos testes e não se levantavam os históricos ocupacionais dos trabalhadores. Alguns audiogramas eram de trabalhadores de outros setores industriais que não o da Construção Civil, outros não apresentavam todos os campos preenchidos, outros ainda tinham diagnósticos diferentes de perdas, exclusivamente, neurossensoriais.

Esses audiogramas, além das curvas dos limiares auditivos, continham a data do exame, a idade, o sexo, a profissão, a empresa, o tipo de exame (admissional, periódico, demissional), a discriminação vocal e o limiar de recepção da fala (SRT) etc.

A partir de 1996, para suprir a falta do histórico ocupacional, no período de coleta, foram introduzidas na rotina dos testes as quatro perguntas, abaixo relacionadas:

- a) Quantos anos trabalha na Construção Civil?
- b) Quais foram todas as atividades exercidas na Construção Civil?
- c) Qual o tempo de exercício em cada uma delas?
- d) Quais foram suas outras atividades antes das da Construção Civil?

É importante ressaltar que as perguntas eram feitas diretamente pela fonoaudióloga que esclarecia as dúvidas eventuais quanto a essas questões.

No final do período de coleta de dados, foram totalizados 4.065 audiogramas dos trabalhadores da Construção Civil. Desses, 2.088 foram realizados em 1995 e, portanto, não continham as respostas das quatro questões citadas. Alguns desses 2.088 audiogramas foram utilizados, apenas, para completar o grupo de trabalhadores otologicamente normais, isto é, o grupo de jovens de 18 a 20 anos, não expostos ao ruído ocupacional. Com base nesses parâmetros foram selecionados 180 audiogramas.

Os 1.977 audiogramas restantes, que envolviam 42 categorias profissionais da Construção Civil, foram distribuídos por categoria profissional como mostra a **Tabela 22**.

Observou-se dessa distribuição que poucas categorias continham um número razoável de audiogramas suficientes para fornecer resultados confiáveis, razão pela qual se utilizaram, apenas, os dados dos audiogramas dos ajudantes gerais e dos carpinteiros na aplicação prática do método proposto. Selecionaram-se os audiogramas dessas duas categorias com base nas anotações da fonoaudióloga, de maneira que foram descartados os que:

- 1) apresentaram diagnósticos distintos de disacusia neurosensorial bilateral;
- 2) revelaram trabalhos com exposição significativa ao ruído fora da construção civil;
- 3) apresentaram pequeno tempo de trabalho na Construção Civil, ou seja, períodos menores que seis meses;
- 4) não apresentaram dados completos ou resposta às quatro perguntas citadas;
- 5) eram de trabalhadores de mesma função, mas com exposição bem diferenciada da maioria da categoria, por exemplo, ajudantes gerais de empresas construtoras de túnel.

Ao final desse procedimento foram selecionados 60 audiogramas de ajudantes gerais e 256 de carpinteiros, os quais passaram para a fase de classificação.

b) Classificação

Os audiogramas selecionados foram classificados por função, idade e tempo na função. O número de audiogramas coletados e analisados dessas duas categorias profissionais é mostrado na Tabela 24.

Tabela 24. Número de audiogramas coletados e classificados para analisados.

Grupos	Audiogramas	
	Coletados	Analisados
Normais	180	91
Ajudantes gerais	227	60
Carpinteiros	672	254
Total	1079	405

c) Análise

Na análise dos dados, optou-se por selecionar os dados do melhor ouvido em cada audiograma, pois as PAIRs são bilaterais. Dessa forma, provavelmente, atenuou-se, em algum grau, a influência da socioacusia e nosoacusia. É provável que, durante a vida laboral, muitas das doenças que afetam a audição da sociedade como um todo possam ter gerado, em trabalhadores, mais perdas em um ouvido que no outro. Estas podem ser causadas pela exposição à agentes

ototóxicos, ocupacionais ou não, e também pelos hábitos e *hobbies* sociais, como o uso de *walkman*, tiro ao alvo etc.

Os audiogramas classificados e organizados em tabelas mostraram uma perda mediana inicial em indivíduos jovens, entre 18 e 20 anos, não expostos a ruído, de aproximadamente 10 dB(NA) em relação ao 0 do audiômetro. Segundo SANTOS (1989), o mesmo ocorreu entre duas normas que estabeleciam valores para calibração de audiômetros: a ASA 1951(1951) e a ANSI S3.6 (1969). A norma ASA 1951(1951) foi criticada e afinal substituída pela ANSI S3.6 (1969), pois em sua elaboração não houve um critério rígido de seleção dos dados audiométricos de maneira a minimizar os efeitos na audição decorrentes de doenças, hábitos, drogas ototóxicas e mesmo do ruído não ocupacional; razão pela qual superestimou as perdas auditivas próprias da população estudada em 10 dB. Essa diferença, na verdade, variava em cada frequência, conforme mostra a **Tabela 25**.

Tabela 25. Valores de níveis sonoros, em dB, para calibração de audiômetros.

Frequência (Hz)	ISO 1964 ou ANSI S3.6 (1969)	ASA -1951
250	24,5	39,5
500	11,0	25,0
1000	6,5	16,5
2000	8,5	17,0
3000	7,5	16,0
4000	9	15,0
6000	8	17,5
8000	9,5	21,0

Fonte: SANTOS (1989).

O equipamento do SECONCI foi calibrado segundo a norma ANSI S3.6 (1969). Isso pode explicar a diferença obtida em relação ao 0 do audiômetro, pois os dados utilizados são de audiometrias de trabalhadores expostos sem o refinamento utilizado nessa norma.

Os audiogramas dos ajudantes gerais e carpinteiros foram divididos em grupos etários, conforme a **Tabela 26**, de modo a conseguir a melhor representatividade em cada faixa etária. Para cada grupo etário foram calculados, por frequência audiométrica, nos percentis

populacionais de 10% a 90%, os níveis limiares de audição, os quais são apresentados na forma de gráfico nas Figuras 20 e 21.

Tabela 26. Divisão dos grupos estudados em faixa etária.

Ajudantes Gerais		Carpinteiros	
Grupo	Faixa Etária	Grupo	Faixa Etária
A	18 a 24 anos	A	20 a 29 anos
B	25 a 29 anos	B	30 a 39 anos
C	30 a 39 anos	C	40 a 49 anos
D	-	D	> 50 anos

6.4 Resultados da aplicação

Na Figura 20 são apresentados os limiares auditivos do grupo de ajudantes gerais resultantes dos efeitos da presbiacusia, sociacusia, nosoacusia e exposição ocupacional ao ruído.

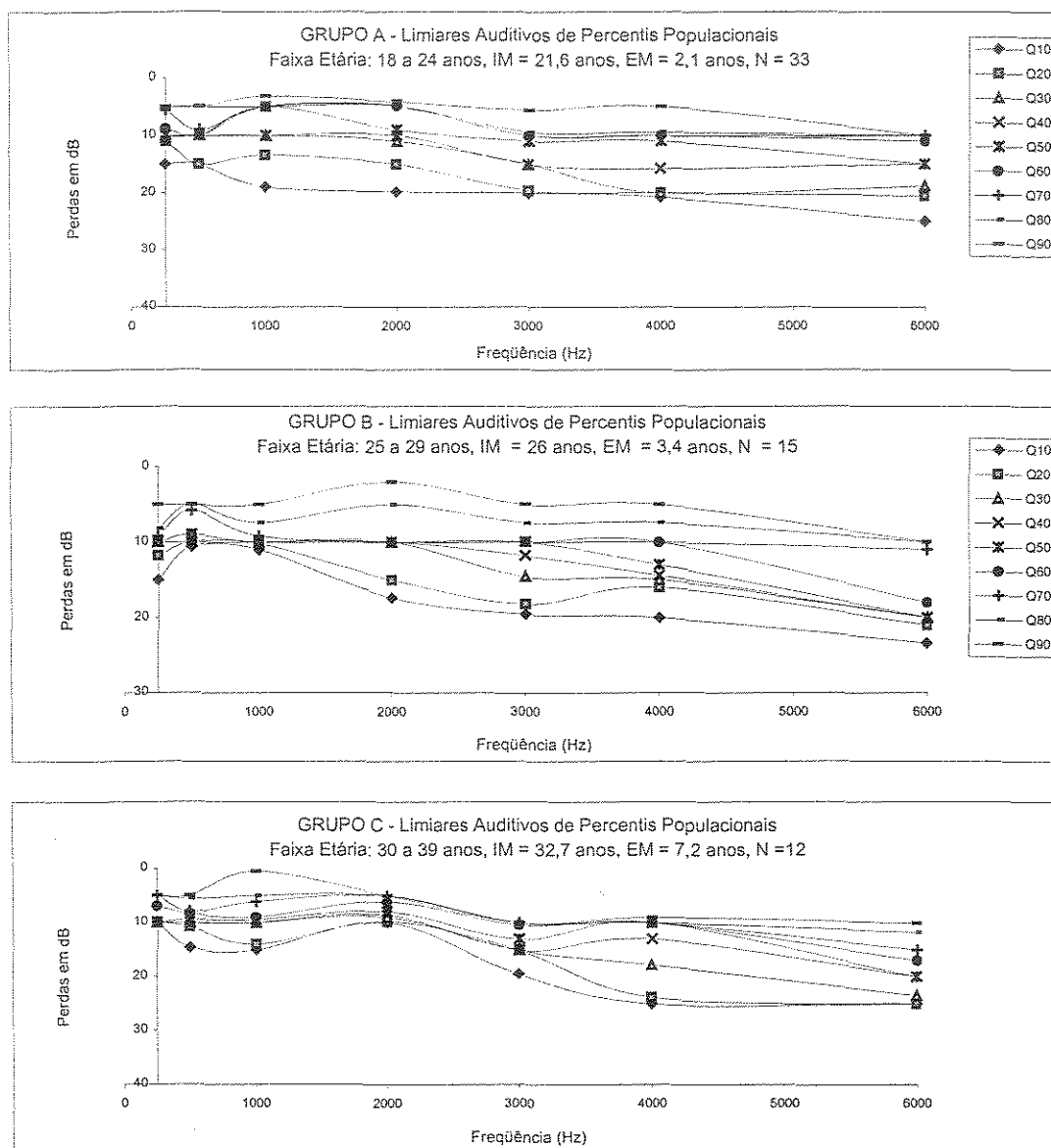


Figura 20. Limiares auditivos de percentis populacionais de ajudantes gerais.

Na Figura 21 são apresentados os limiares auditivos dos carpinteiros englobando os mesmos efeitos auditivos contabilizados no grupo de ajudantes gerais.

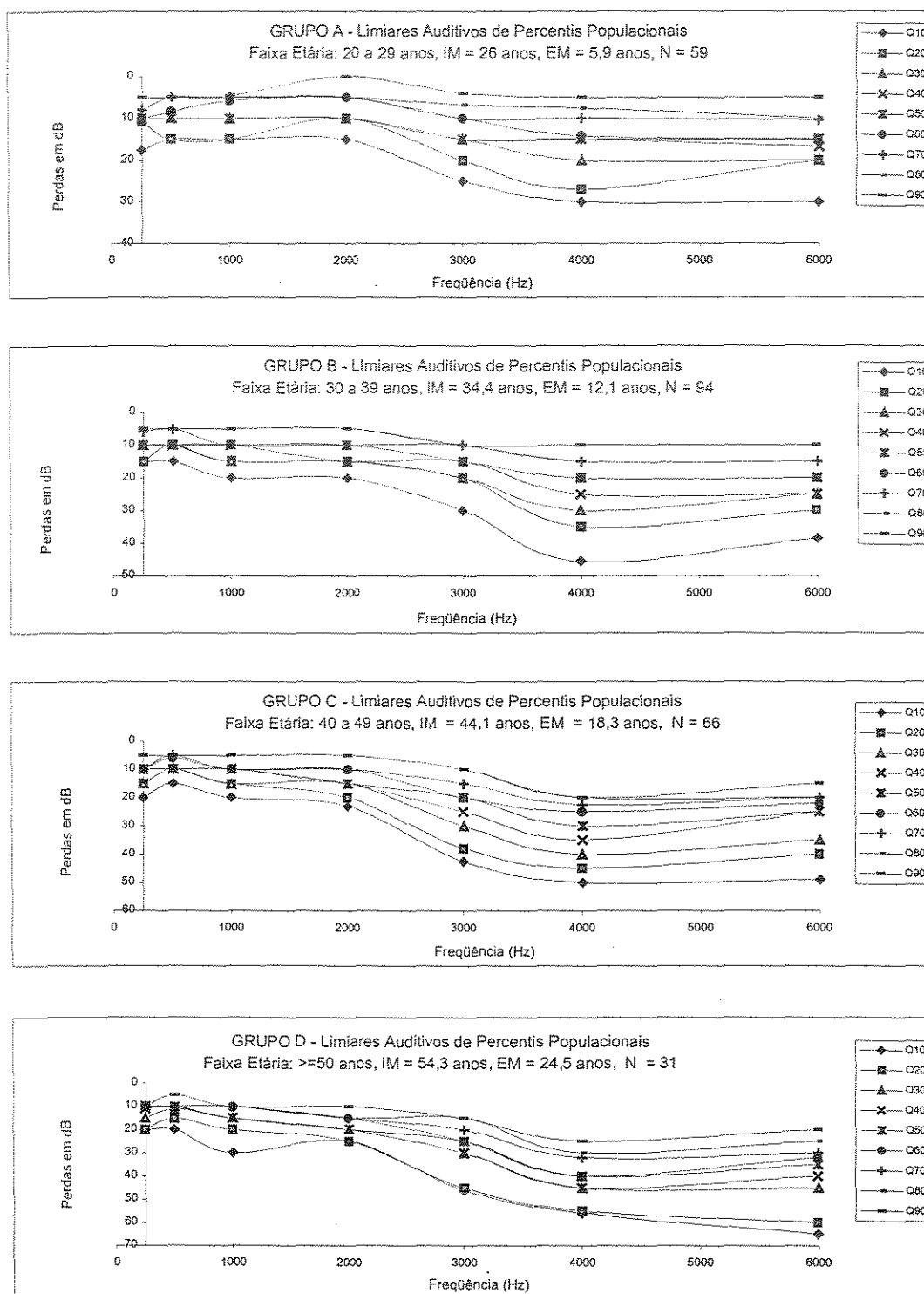


Figura 21. Limiares auditivos de percentis populacionais de carpinteiros.

Na **Figura 22** são apresentadas as estimativas de perdas auditivas associadas à idade de percentis populacionais de ajudantes gerais calculadas pelo método da norma ISO 7029 (1984).

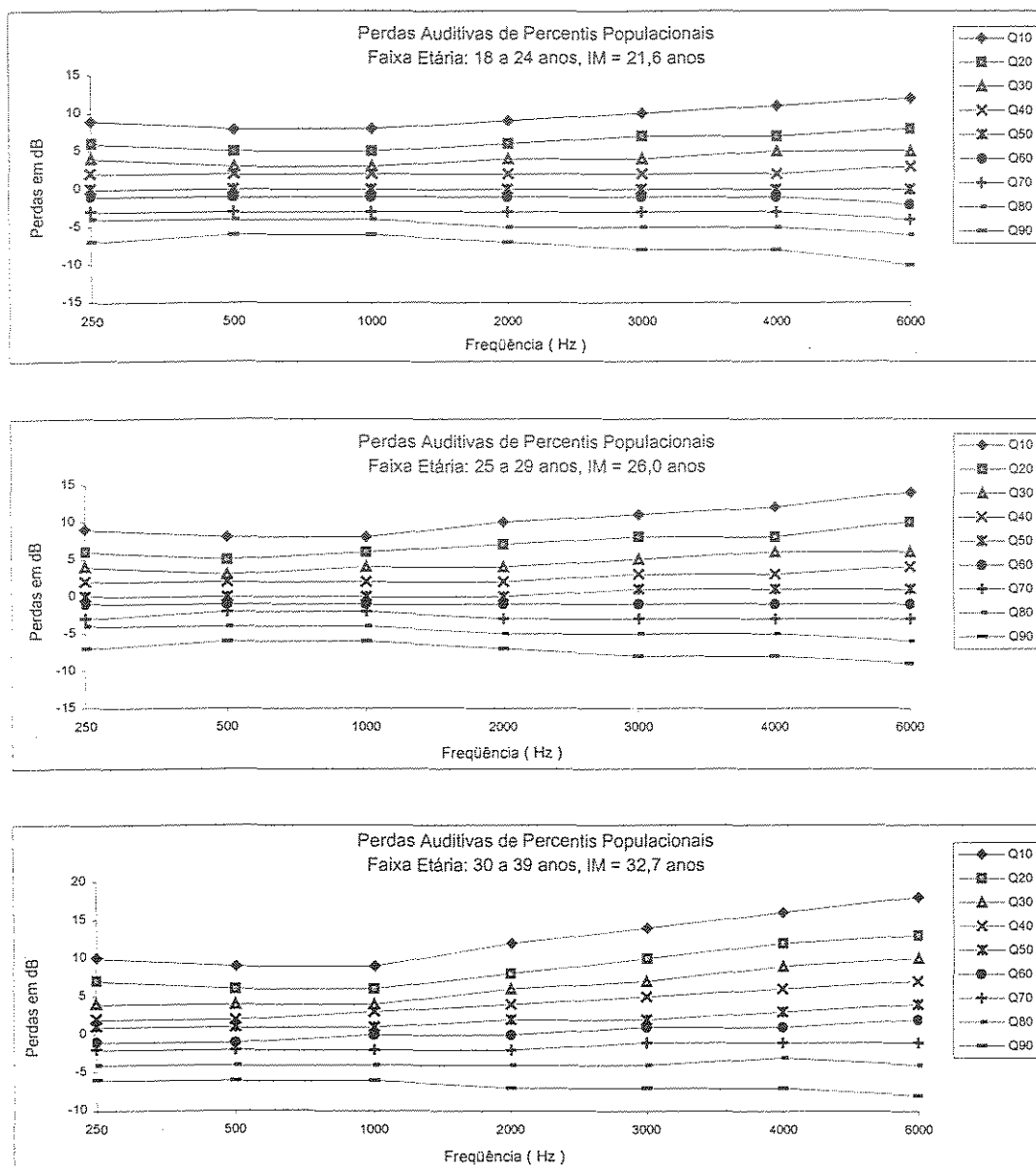


Figura 22. Perdas auditivas associadas à idade de ajudantes gerais.

A Figura 23 apresenta as perdas auditivas associadas à idade do grupo de carpinteiros, calculadas por meio do método da norma ISO 7029 (1984), discriminando os percentis populacionais da distribuição e a faixa etária dos trabalhadores.

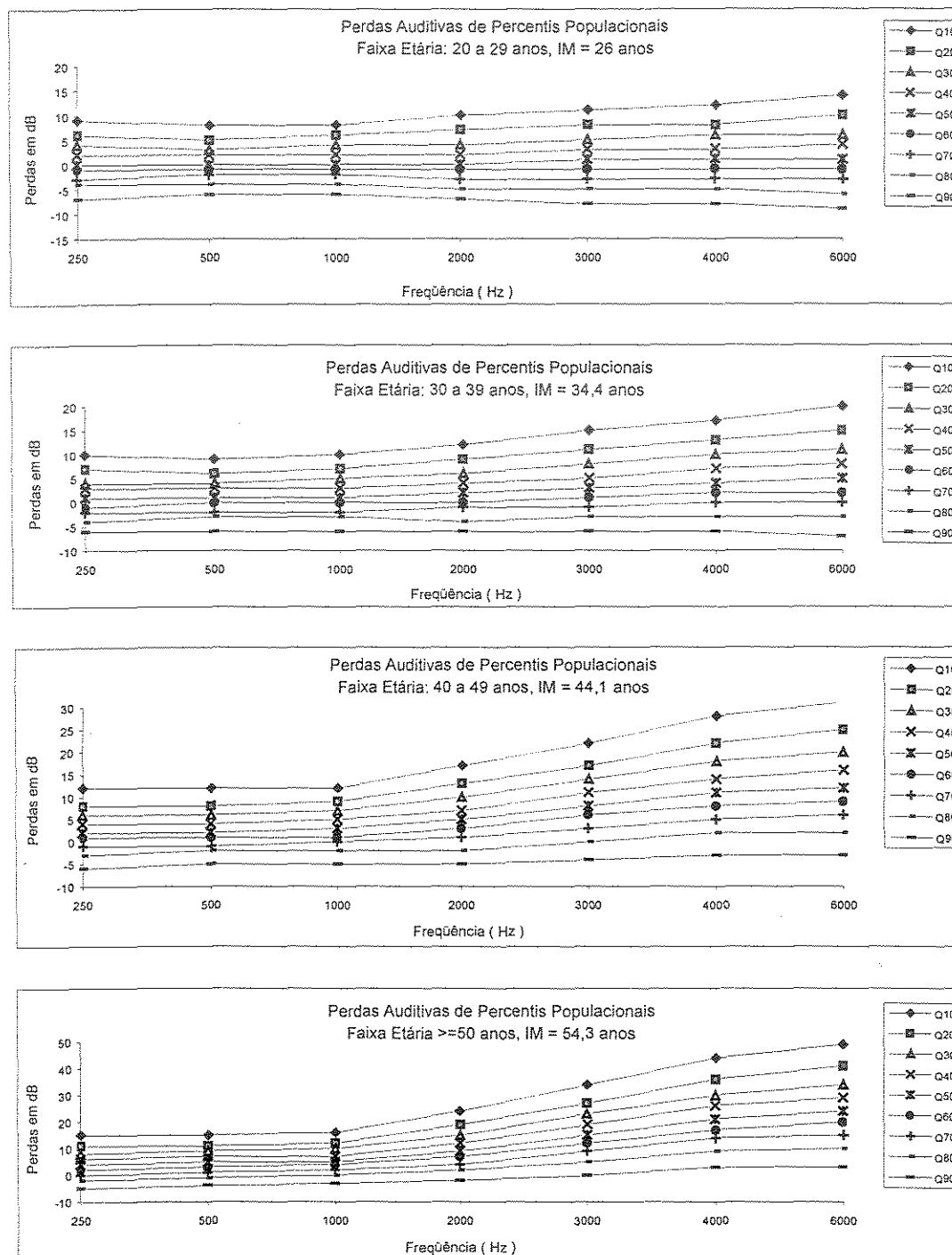


Figura 23. Perdas auditivas associadas à idade dos carpinteiros.

6.4.1 Determinação do nível de exposição normalizado

No presente trabalho levaram-se em conta dois períodos de vida de cada indivíduo da população estudada no cálculo do nível de exposição normalizado (NEN). O primeiro refere-se às perdas auditivas geradas antes mesmo que o indivíduo iniciasse as suas atividades de trabalho, que denominamos perdas referenciais. O segundo período, período laboral, contabiliza a exposição ao ruído desde o primeiro emprego até a data da coleta dos dados audiométricos.

Para melhor visualização e entendimento da aplicação do método proposto de estimativa da exposição não contínua ao ruído, os resultados do método são apresentados nos quadros das Figuras 24 e 25.

No quadro a) são apresentados os limiares auditivos dos grupos das duas categorias estudadas, já corrigidos com o procedimento de ajustes descrito no item 4.2.5 deste trabalho.

No quadro b) aparecem as perdas auditivas referenciais, ou seja, aquelas em indivíduos de 18 a 20 anos considerados otologicamente normais. São perdas esperadas na sociedade como um todo, geradas por ruídos não ocupacionais e “doenças” da própria sociedade.

No quadro c) pode-se observar a subtração das perdas referenciais sobre os níveis limiares auditivos de cada grupo.

No quadro d) são indicadas as perdas auditivas associadas à idade estimadas pela norma ISO 7029 (1984).

No quadro e) observam-se os limiares auditivos subtraídos das perdas referenciais e das associadas à idade.

No quadro f) aparecem as perdas auditivas previstas pela ISO 1990 (1990), induzidas pela exposição a um NEN específico para a população estudada.

No quadro g) podem-se observar as perdas auditivas residuais quando descontadas as perdas referenciais, as perdas associadas à idade e as induzidas pelo NEN característico da categoria profissional. Como pode ser visto dos gráficos 24 e 25 as perdas residuais, em 4000 Hz, nos grupos de ajudantes gerais e carpinteiros são menores que 1,0 dB, valor muito menor que o nível de detecção do audiômetro.

Quando as figuras forem assim representadas, o quadro f) apresentará sempre duas importantes informações: o perfil mediano das perdas auditivas induzidas por exposição não contínua ao ruído e o nível de exposição normalizado responsável por essas perdas.

A Figura 24 mostra o procedimento, passo a passo, para determinação do NEN dos ajudantes gerais.

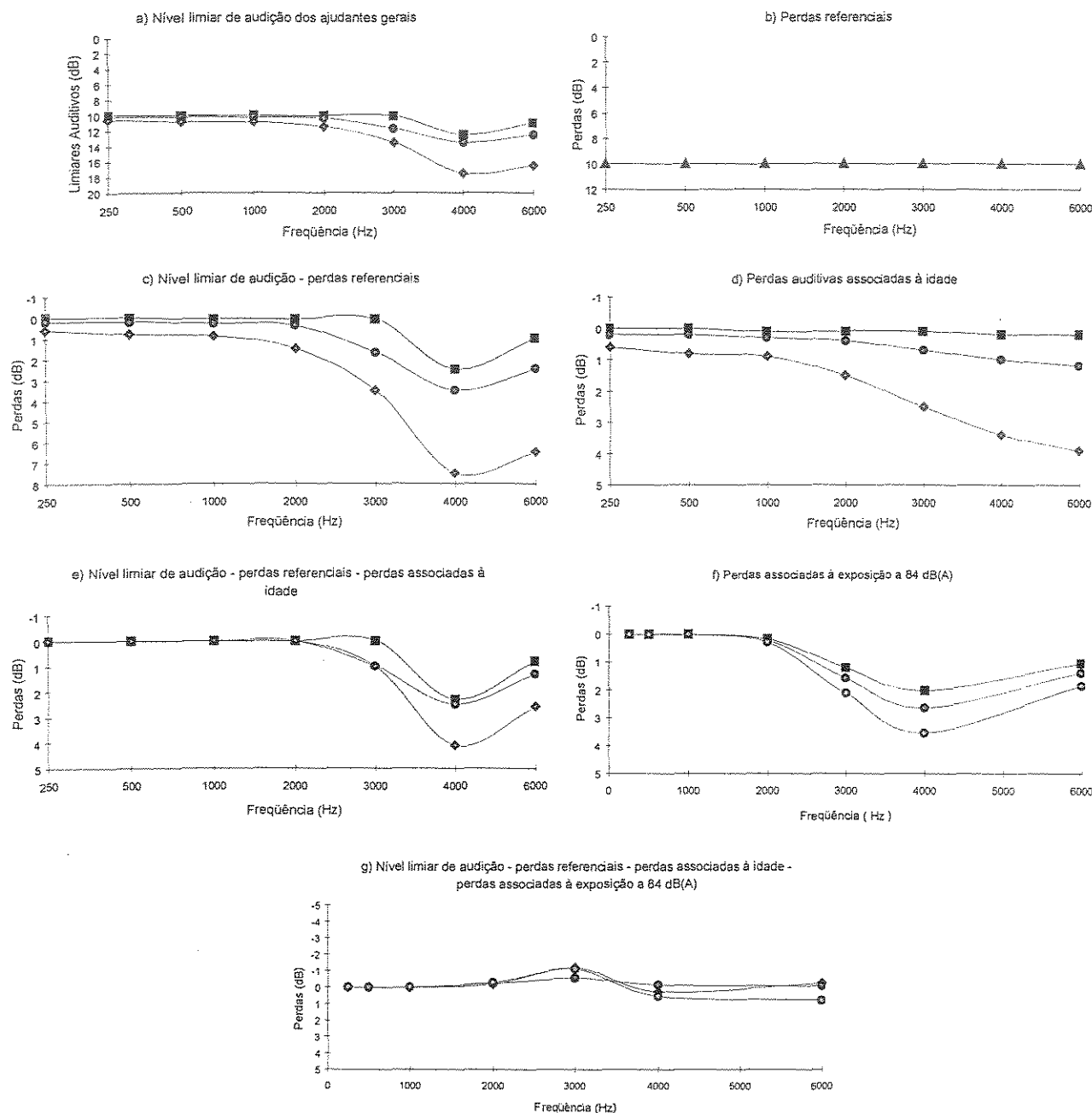
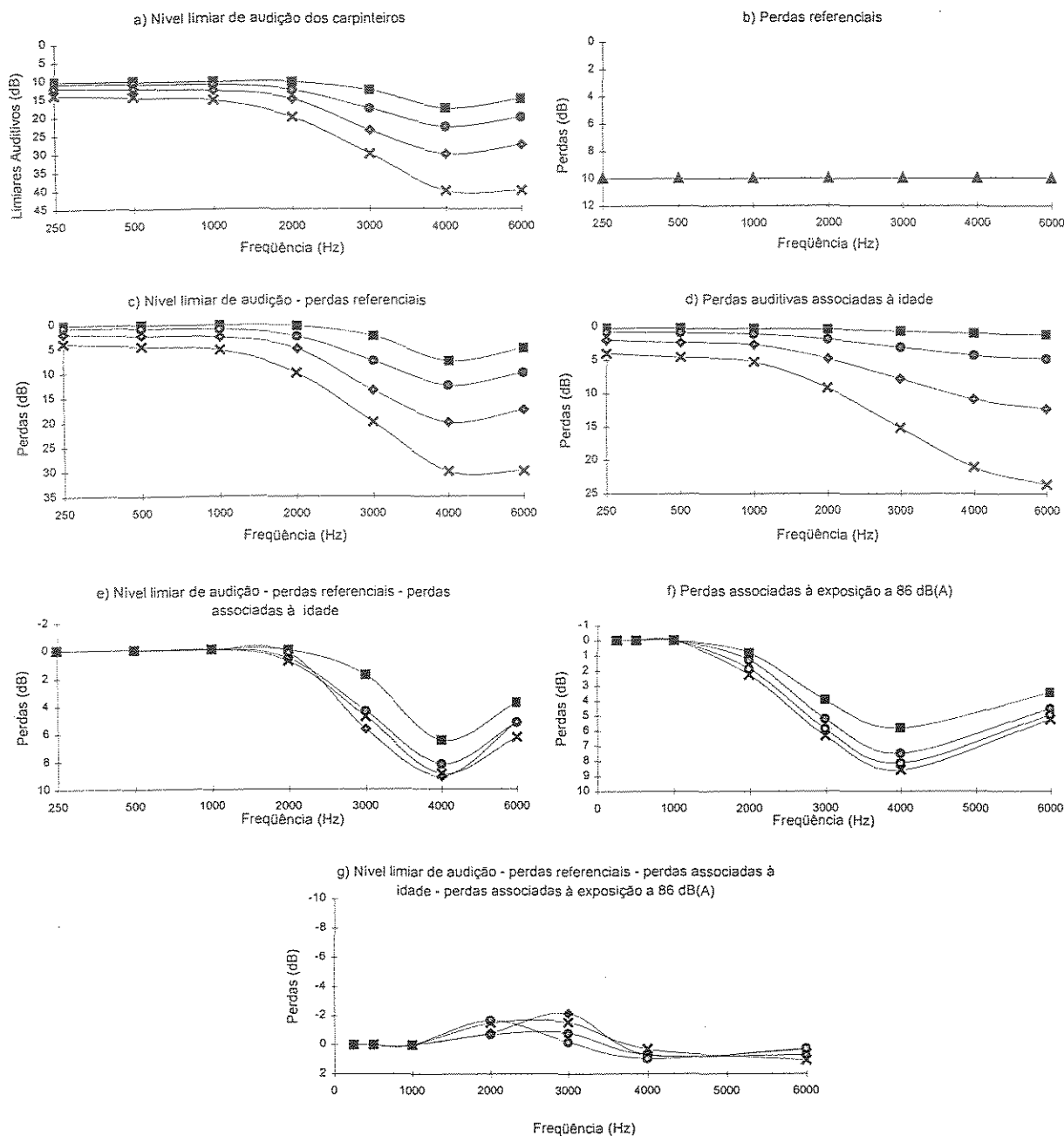


Figura 24. Ilustração do procedimento de cálculo do NEN e PAIRs medianas de ajudantes gerais.

A Figura 25 mostra o procedimento, passo a passo, para determinação do NEN dos carpinteiros.



- Faixa Etária: 20-29 anos; Idade Média = 26,0 anos; Exposição Média = 5,9 anos; N = 59
- Faixa Etária: 30-39 anos; Idade Média = 34,4 anos; Exposição Média = 12,1 anos; N = 94
- ⊗ Faixa Etária: 40-49 anos; Idade Média = 44,1 anos; Exposição Média = 18,3 anos; N = 66
- × Faixa Etária: ≥ 50 anos; Idade Média = 54,3 anos; Exposição Média = 24,5 anos; N = 31

Figura 25. Ilustração do procedimento de cálculo do NEN e PAIRs medianas de carpinteiros.

A Figura 26 esboça os perfis das PAIR para diversos percentis populacionais de ajudantes gerais levando em conta o grupo etário, o tempo médio de exposição e o NEN = 84 dB(A).

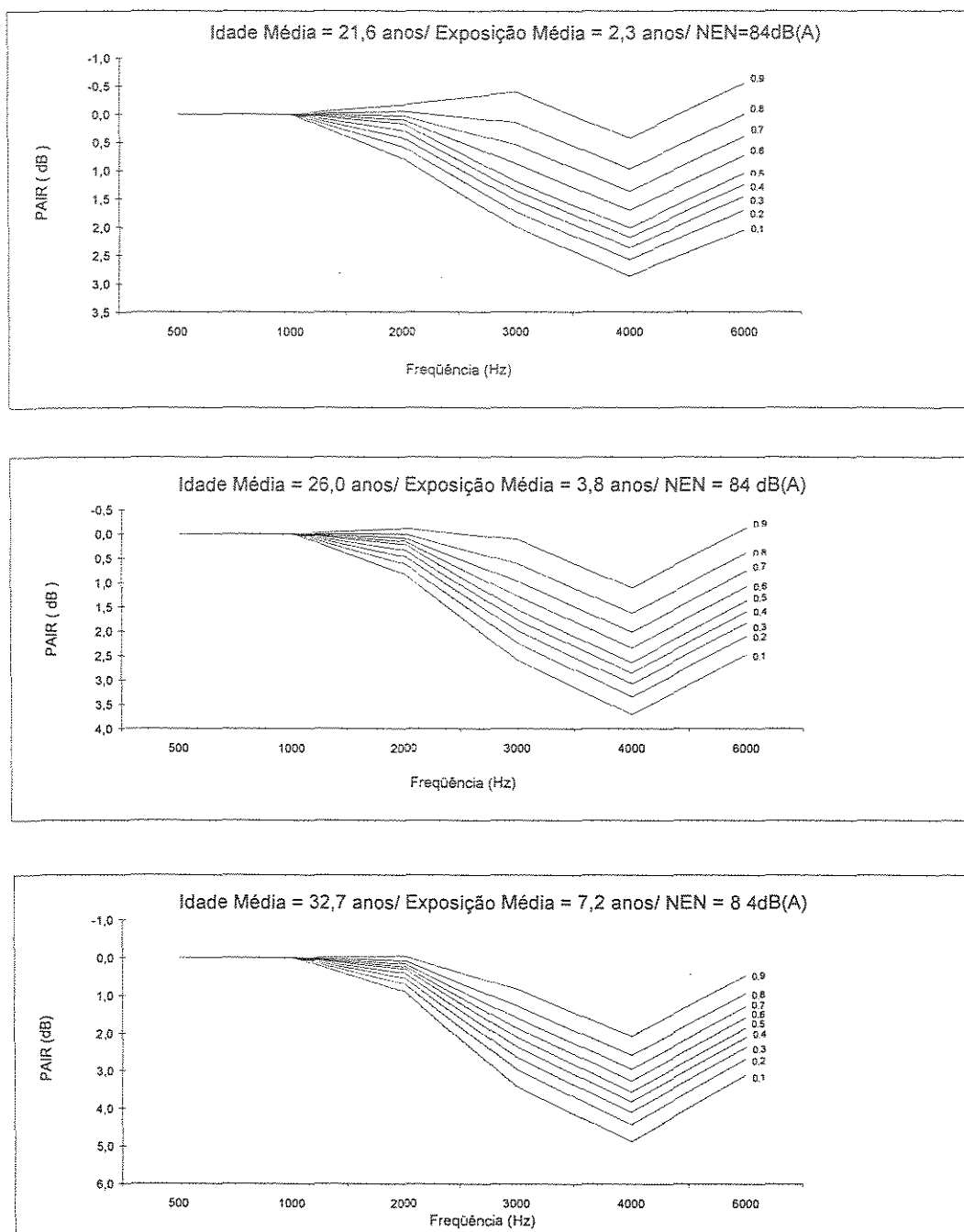


Figura 26. Perfis das PAIRs para o grupo de ajudantes gerais.

A **Figura 27** esboça os perfis das PAIRs para diversos percentis populacionais de carpinteiros expostos ao ruído levando em conta o grupo etário, o tempo médio de exposição e o $NEN = 86 \text{ dB(A)}$.

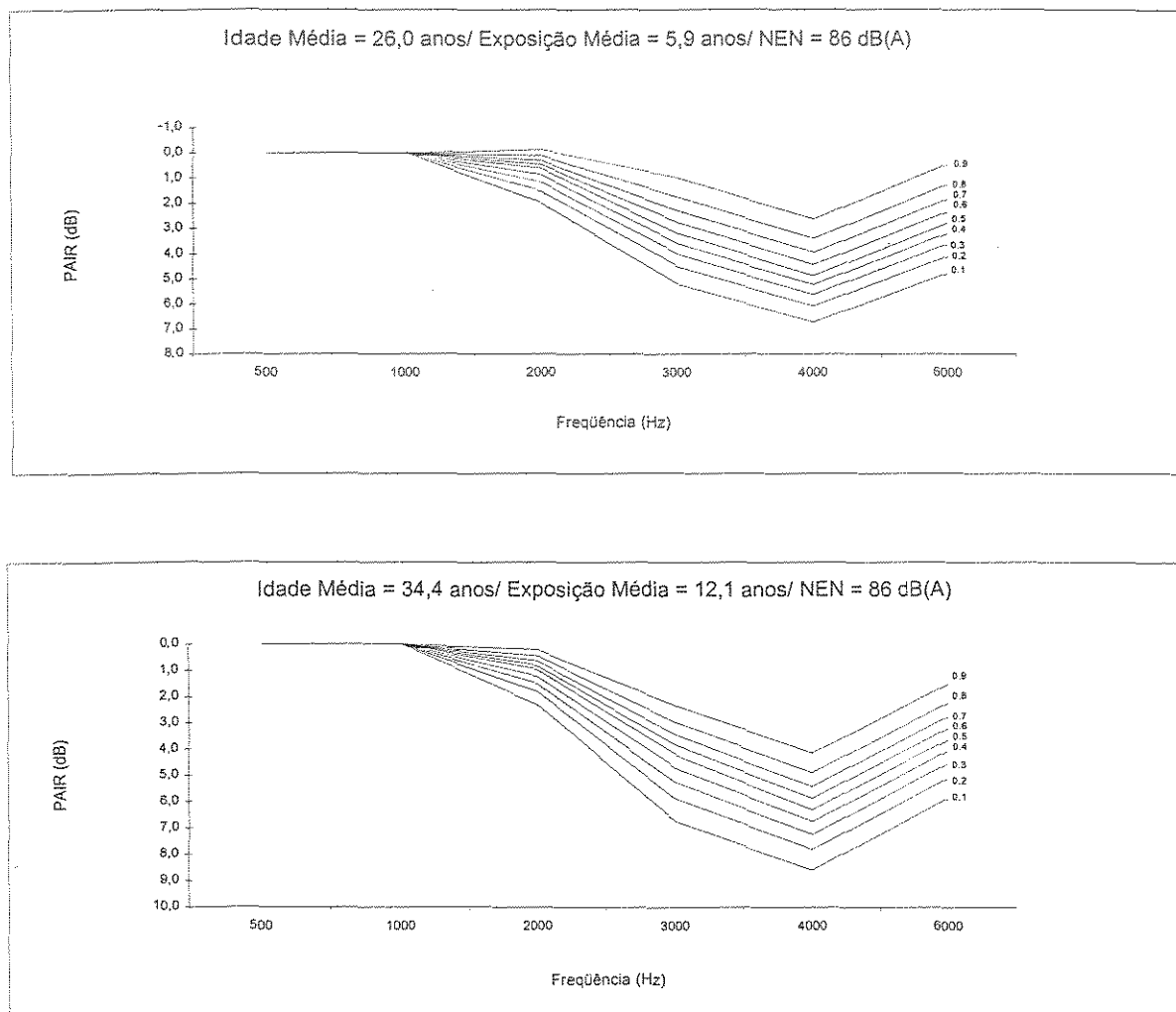


Figura 27. Perfis das PAIRs para o grupo de carpinteiros.

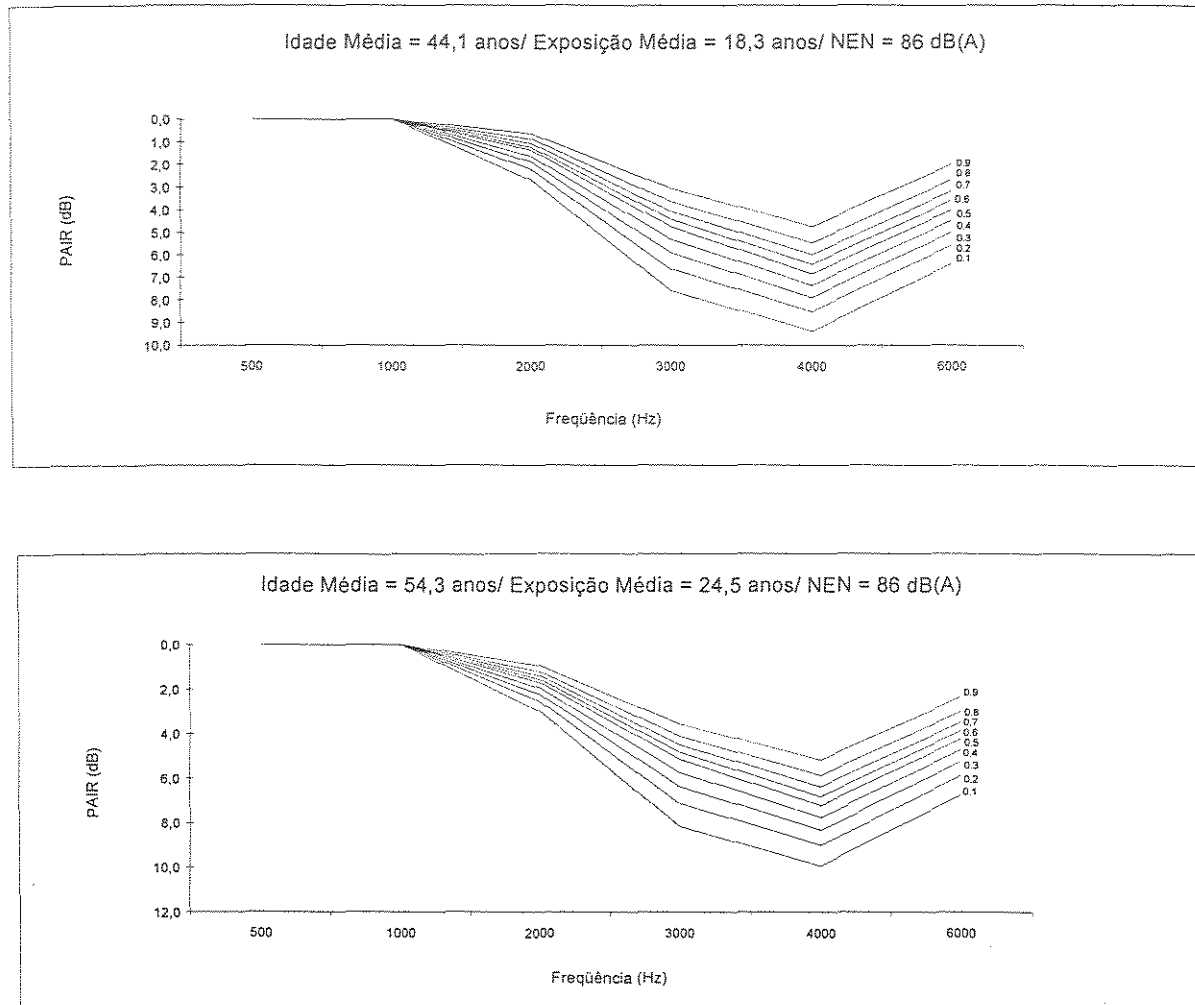


Figura 27. Perfis das PAIRs para o grupo de carpinteiros (continuação).

6.4.2 Análise da aplicação do método proposto

Foram utilizadas nesta análise, para cada categoria profissional, três distribuições representadas pelas curvas de limiares auditivos, curvas de perdas associadas à idade e curvas de PAIRs medianas. As curvas de limiares auditivos, Figuras 20 e 21, foram comparadas com as das associadas à idade, Figuras 22 e 23, para observar a possível influência do ruído em cada população estudada. Observou-se a influência pela diferença nos perfis das curvas, pois as PAIRs se manifestam por uma protuberância em forma de “sino” nas frequências entre 3 e 6 kHz nas curvas de limiares auditivos. Em exposições a baixos níveis de ruído as duas curvas tendem a ter o mesmo perfil.

As PAIRs medianas reais foram comparadas com as PAIRs previstas pela ISO 1999 (1990) em exposições a NENs de 82 e 85 dB(A) para determinação qualitativa do risco auditivo. Em muitas normas de controle da exposição, o nível de ação de 82 dB(A) é um parâmetro importante, pois a partir dele é que, por força legal, devem-se iniciar as primeiras medidas preventivas da surdez ocupacional, como educação do trabalhador, para evitar exposições desnecessárias, programa de manutenção de máquinas ruidosas, monitoramento do ruído etc. Por sua vez, o nível de 85 dB(A) representa a exposição admissível em ambientes de trabalho. Acima desse nível, torna-se obrigatório o uso de medidas mais efetivas de controle da exposição. Tendo em vista esses parâmetros, podem-se interpretar os resultados utilizando-se o critério da FUNDACENTRO (1999) descrito na **Tabela 27** que apresenta considerações técnicas e atuações recomendadas em função do nível de exposição normalizada.

Tabela 27. Interpretação e ação recomendadas relativas aos NENs.

NEN dB(A)	Consideração Técnica	Ação Recomendada
Até 82	Aceitável	No mínimo manutenção da condição existente
82 até 85	Acima do nível de ação	Adoção de medidas preventivas
> 85	Acima do limite de exposição	Adoção imediata de medidas de controle
> 115	Acima do valor teto para ruído contínuo	Interrupção do trabalho para indivíduos que não estejam adequadamente protegidos
> 140 dB(C) (Valor de pico)	Acima do valor teto para ruído de impacto	Interrupção do trabalho para indivíduos que não estejam adequadamente protegidos

Fonte: FUNDACENTRO (1999), modificada.

Embora os limites de exposição não sejam linhas divisórias entre exposições que causem ou não danos ao aparelho auditivo, eles podem servir para expressar, nesse caso, se o risco de danos delas decorrentes é aceitável ou não pela sociedade e se há necessidade de medidas preventivas ou de controle do ruído em determinada função.

a) Ajudantes gerais

A **Figura 20** mostra as curvas de distribuição dos limiares auditivos dos três grupos etários estudados. Elas apresentam praticamente o mesmo comportamento em todos os percentis populacionais. Suas inclinações tendem a aumentar à medida que aumenta a faixa etária aproximando-se do comportamento das curvas de perdas associadas à idade.

Apenas 10% dos trabalhadores da última faixa etária, formada por indivíduos de 30 a 39 anos (idade média de 32,7 anos) expostos 7,2 anos ao ruído específico da categoria profissional, apresentaram níveis de limiares de audição maiores que 25 dB em 4000 Hz.

As PAIRs medianas reais, em 4000 Hz, ficaram abaixo de 4,1 dB nas três faixas etárias, enquanto as induzidas por NENs de 82 e 85 dB(A), previstas pela ISO em um período de exposição de 7,2 anos, são de 2,1 e 5,0 dB, respectivamente.

Aplicando-se o método proposto neste trabalho e utilizando os valores das PAIRs reais desses trabalhadores, determinou-se um NEN de 84 dB(A), o que mostra a coerência intrínseca do método proposto quanto à relação PAIR e NEN.

É importante ressaltar que nesta categoria os audiogramas foram divididos em apenas três faixas etárias porque em nossa amostra havia poucos ajudantes gerais com mais de 40 anos. Acredita-se que o número reduzido de ajudantes gerais acima dessa idade possa ser explicado pela baixa remuneração, o desejo da ascensão profissional para categorias mais especializadas e a desistência de trabalhar nessa categoria, pois as tarefas exigem muito esforço físico e exposição a agentes nocivos como cal, cimento, sílica etc.

Comparando-se o resultado do método proposto com o critério de exposição estabelecido na **Tabela 26**, chega-se à conclusão de que são necessárias algumas medidas preventivas para evitar que os níveis de exposição ao ruído das atividades exercidas pelos ajudantes gerais ultrapassem os limites de tolerância. Uma dessas medidas é um monitoramento

para garantir que possíveis mudanças nas condições de trabalho não venham a causar um aumento da exposição sonora desses trabalhadores e, em consequência, maiores perdas auditivas.

b) Carpinteiros

Na **Figura 21** apresentam-se as curvas dos limiares auditivos de cada percentil populacional do grupo de carpinteiros. Embora o comportamento dessas curvas seja semelhante entre si, elas divergem das traçadas para os ajudantes gerais, pois tendem a formar uma “parábola” em torno da frequência de 4000 Hz, indicando uma influência significativa da exposição ao ruído ocupacional. Mais de 10% dos carpinteiros da última faixa etária formada por indivíduos de mais de 50 anos (idade média de 54,3 anos) e tempo de exposição média ao ruído de 24,5 anos apresentaram perdas totais maiores que 57 dB.

Na **Figura 25**, quadro e), mostra-se que as perdas medianas induzidas pelo ruído ficaram em torno de 8,7 dB em 4000 Hz. Estas últimas são estimadas pela ISO 1999 (1990) em 6,0 dB, considerando um NEN de 85 dB(A) para o mesmo período de exposição.

Comparando-se o resultado do método proposto com o critério de exposição estabelecido na **Tabela 26**, chega-se à conclusão de que são necessárias medidas imediatas de controle para evitar maiores perdas auditivas nas atividades exercidas pelos carpinteiros, que serão tratadas no próximo capítulo.

6.5 Medições da exposição ao ruído nos ambientes de trabalho

O estudo das obras da Construção Civil, de quais e de como se desenvolvem as tarefas típicas de cada categoria profissional, bem como a análise dos níveis de exposição ao ruído dessas tarefas, mostrou que as exposições dos trabalhadores não podem ser consideradas contínuas. Nesse caso, os níveis de exposição diária medidos nos locais de trabalho não **representam a vida laboral dos trabalhadores**, já que apresentam uma grande variação diária (maior que 20 dB) em razão do tipo, porte e fase da obra; do tipo de máquina, nível de sua manutenção e material trabalhado; da técnica construtiva, tipo e duração das tarefas etc. Por essa razão, neste trabalho, avaliou-se a exposição dos trabalhadores com base no nível equivalente (Neq) por tarefa executada.

As medidas realizadas nos canteiros de obras compreenderam doses de ruído, níveis globais de pressão sonora e espectros sonoros. Todas as medidas basearam-se na norma da FUNDACENTRO (1999). A norma prevê os parâmetros e procedimentos de medição, os critérios de avaliação e interpretação dos resultados da exposição ocupacional ao ruído contínuo ou intermitente e ruído de impacto.

As medidas foram realizadas na zona auditiva do trabalhador e o período de medição de exposição de cada tarefa típica da categoria cobriu, pelo menos um a cinco **ciclos de exposição**⁸ da jornada diária de trabalho. É importante ainda ressaltar que na determinação do nível equivalente (Neq) de cada tarefa contabilizou-se o ruído impacto junto com o ruído contínuo e intermitente, como recomenda a NIOSH (1998), embora se tenha medido também o ruído de impacto isoladamente.

Utilizaram-se, nas medições, dosímetros Quest, modelo Q 400, fixados no trabalhador, para determinar a dose ou o nível médio, e integradores de níveis sonoros, Quest, modelo 2900, para medir os níveis globais de pressão sonora e espectros sonoros das máquinas utilizadas nos canteiros de obras. Esses equipamentos eram do tipo 2 e atendiam às especificações constantes nas normas ANSI S1.25 (1991) e IEC 804 (1985), tendo sido ajustados de forma a atender aos seguintes parâmetros:

- Circuito de ponderação – “A”
- Circuito de resposta – lenta (*slow*)
- Critério de exposição de 85 dB(A), que corresponde à dose de 100% para uma exposição de oito horas
- Nível limiar de integração de 80 dB(A)
- Faixa de medição mínima de 80 a 115 dB(A)
- Incremento de duplicação de dose = 3 ($q = 3$)
- Indicação da ocorrência de níveis superiores a 115 dB(A)
- Valor teto para ruído de impacto 140 dB (Lin)

⁸ Ciclo de exposição: conjunto de situações acústicas ao qual é submetido o trabalhador, em sequência definida, que se repete de forma contínua no decorrer da jornada de trabalho.

6.5.1 Resultados das medições nos canteiros de obras

A seguir, são apresentados nas Tabelas 28 a 38 os resultados das medições realizadas nos canteiros de obras. Além dos níveis de exposição equivalentes de cada tarefa típica realizada pelos trabalhadores das duas categorias profissionais estudadas, são identificados os equipamentos e máquinas utilizadas, seus espectros sonoros e níveis de pressão sonora globais.

Tabela 28. Níveis equivalentes (Neqs) de tarefas executadas por ajudantes gerais.

Tarefas Executadas	Neq
Aterramento (uso de pá, carrinho, enchadão, compactador manual)	71,0 dB(A)
Auxiliar do bate-estacas durante cravação de estaca	92,0 dB(A)
Colocação de gesso	68,0 dB(A)
Concretagem de pilar com uso de lata	68,0 dB(A)
Concretagem de viga em residência	77,1 dB(A)
Corte de piso esmaltado com serra mármore de bancada	110,6 dB(A)
Corte de junta de dilatação de piso com "makitão"	103,2 dB(A)
Descarregamento de material (piso)	79,4 dB(A)
Escavação de solo com uso de pá e picareta 1	74,4 dB(A)
Escavação de solo com uso de pá e picareta 2	74,0 dB(A)
Movimentação de areia e sacos de cimento com carrinho de mão	75,0 dB(A)
Movimentação de argamassa	81,1 dB(A)
Movimentação de argamassa e tijolos	74,6 dB(A)
Movimentação de jericas durante concretagem (sob laje)	90,5 dB(A)
Movimentação de tijolos (pilha ao pedreiro, 15 metros)	73,2 dB(A)
Movimentação e carregamento de blocos, entulho, argamassa e barras de ferro 1	78,3 dB(A)
Movimentação e carregamento de blocos, entulho, argamassa e barras de ferro 2	82,0 dB(A)
Operador de "bambolê" marca Honda GX 160	80,6 dB(A)
Operador de bate-estacas	99,9 dB(A)
Operador de betoneira	84,3 dB(A)
Operador de elevador de materiais (com concretagem)	97,5 dB(A)
Operador de elevador de materiais (sem concretagem)	79,3 dB(A)
Operador de elevador de passageiros 1	84,2 dB(A)
Operador de elevador de passageiros 2	82,1 dB(A)
Operador de pá carregadeira Daewoo DSL 600	91,6 dB(A)
Operador de régua vibratória	84,2 dB(A)
Operador de vibrador de imersão	84,8 dB(A)
Preparação de argamassa e transporte de materiais (argamassa e tijolos) 1	77,3 dB(A)
Preparação de argamassa e transporte de materiais (argamassa e tijolos) 2	65,1 dB(A)
Preparação de argamassa, transporte com uso de lata e montagem de andaimes	82,9 dB(A)
Quebra de contrapiso com marreta e talhadeira 1	89,4 dB(A)
Quebra de contrapiso com marreta e talhadeira 2	87,8 dB(A)
Tração e corte de fios elétricos	79,5 dB(A)

Tabela 29. Níveis equivalentes (Neqs) de tarefas executadas e níveis de pressão sonora de impacto (NPSs) de martelos utilizados por carpinteiros.

Tarefas Executadas	Neqs
Amarração de formas de viga com arame (com ruído de fundo) 1	82,8 dB(A)
Amarração de formas de viga com arame (com ruído de fundo) 2	80,5 dB(A)
Batidas com martelo em pregos (fixação de formas e escoramento)	NPS = 120 a 130 dB(Lin)
Batidas com martelo em pregos (telhados prediais)	NPS = 125 a 139 dB(Lin)
Batidas com martelo em pregos (telhados prediais) medida a três metros dos impactos	NPS = 109 a 123 dB(Lin)
Batidas com martelos (ajustamento de tábuas e caibros de escoramento de laje)	NPS = 126 a 142 dB(Lin)
Batidas com martelos (ajustamento de tábuas e caibros de escoramento de laje) medidas a três metros do martelo	NPS = 120 a 129 dB(Lin)
Corte de madeiras com serra circular (medida a cinco metros da serra)	88,5 dB(A)
Desforma de escada (medida a três metros da escada)	82,5 dB(A)
Desforma de escoramento de laje 1	83,1 dB(A)
Desforma de escoramento de laje 2	86,6 dB(A)
Montagem de cavaletes de madeira em ambiente fechado (uso de martelo e prego)	96,0 dB(A)
Montagem de escoramento de laje 1	95,7 dB(A)
Montagem de escoramento de laje 2	100,4 dB(A)
Montagem de escoramento de laje 3	98,3 dB(A)
Montagem de escoramento de viga 1	85,8 dB(A)
Montagem de escoramento de viga 2	93,6 dB(A)
Montagem de escoramento metálico de laje 1	89,5 dB(A)
Montagem de escoramento metálico de laje 2	85,6 dB(A)
Montagem de forma de pilar 1	85,1 dB(A)
Montagem de forma de pilar 2	87,3 dB(A)
Montagem de forma de pilar 3	89,4 dB(A)
Montagem de formas de laje (assoalho)	88,3 dB(A)
Montagem de formas de viga	84,0 dB(A)
Montagem de formas de viga (uso de serra circular, martelo e serrote) 1	89,6 dB(A)
Montagem de formas de viga (uso de serra circular, martelo e serrote) 2	90,5 dB(A)
Montagem e colocação de formas (uso de furadeira, martelo, serrote)	92,2 dB(A)
Montagem e colocação de formas (uso de martelo, serrote, furadeira)	87,7 dB(A)
Seleção e corte de madeiras com serra circular 1	97,9 dB(A)
Seleção e corte de madeiras com serra circular 2	97,4 dB(A)
Seleção e corte de madeiras com serra circular 3	93,4 dB(A)

A seguir, em pequenas tabelas, mostram-se os espectros sonoros das máquinas usadas por carpinteiros e respectivos níveis globais de pressão sonora (NPSs), em dB(A), no ponto de operação.

Tabela 30. Espectro sonoro de serra mármore.

	Material	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1k Hz	2k Hz	4k Hz	8k Hz	16k Hz	NPS
	Azulejo	71,6	71,6	78,0	86,0	98,0	106,0	104,0	96,0	108,8
	Azulejo	71,6	71,6	80,2	92,5	104,4	106,8	102,1	91,6	109,8
	Azulejo	71,6	71,6	78,9	87,0	90,7	97,3	97,2	86,4	101,1
	Ardósia	71,6	71,6	77,8	93,3	96,9	99,7	100,7	91,4	104,7

Tabela 31. Espectro sonoro de esmerilhadeira.

	Material	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1k Hz	2k Hz	4k Hz	8k Hz	16 kHz	NPS
	Barras de aço	71,6	71,6	72,8	88,1	90,9	95,6	91,1	78,4	98,4
	Concreto	71,6	73,4	80,4	87,0	91,5	90,6	96,0	92,9	99,6
	Bloco de cimento	71,6	71,6	77,2	87,0	92,7	95,0	94,6	86,3	99,5

Tabela 32. Espectro sonoro de serra circular de bancada.

	Material	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1k Hz	2k Hz	4k Hz	8k Hz	16k Hz	NPS
	Maderite	71,6	71,6	79,0	89,0	104,0	104,0	85,5	82,0	107,1
	Tábua	71,6	73,5	82,8	92,2	92,8	95,6	92,2	76,4	99,6
	Tábua	75,2	76,7	77,8	97,3	96,9	99,7	100,7	86,0	105,0
	Caibro	74,6	78,8	87,7	98,2	105,6	106,7	98,6	81,5	109,9
	Caibro	71,6	72,8	84,6	88,7	93,0	94,8	94,0	84,4	99,5
	Caibro	71,6	73,9	83,4	95,2	98,4	103,1	101,4	85,7	106,5

Tabela 33. Espectro sonoro de betoneira.

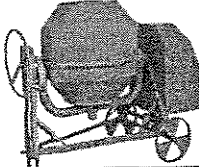
	Material	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1k Hz	2k Hz	4k Hz	8k Hz	16k Hz	NPS
	1/4 de carga	71,6	71,9	80,5	89,1	87,1	82,2	72,6	71,6	92,2
	Carga total	73,0	75,6	79,8	86,0	82,8	74,1	71,6	71,6	89,0
	Carga total	71,6	73,6	79,9	87,0	86,1	80,6	71,6	71,6	90,7

Tabela 34. Espectro sonoro de polícorde.

	Material	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1k Hz	2k Hz	4k Hz	8k Hz	16k Hz	NPS
	Barras de aço	71,6	74,7	88,0	95,8	92,0	100,7	100,7	91,8	104,9
	Barras de aço	71,6	75,4	89,5	95,6	93,5	94,1	90,0	71,6	100,2
	Barras de aço			83,2	88,6	90,0	93,2	94,8	84,1	98,6

Tabela 35. Espectro sonoro de guincho.

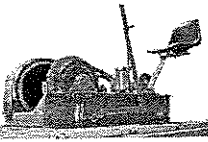
	Material	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1k Hz	2k Hz	4k Hz	8k Hz	16k Hz	NPS
		78,1	75,9	74,4	73,7	73,7	71,6	71,6	71,6	83,4
		74,4	71,6	77,1	77,7	76,3	74,3	71,6	71,6	84,0
		74,3	78,8	87,7	98,2	105,6	106,7	98,6	81,5	109,9

Tabela 36. Espectro sonoro de britadeira.

	MATERIAL	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1k Hz	2k Hz	4k Hz	8k Hz	16k Hz	NPS
		77,6	75,2	84,1	95,9	97,3	95,5	100,9		104,1

Tabela 37. Espectro sonoro de compactador.

	MATERIAL	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1k Hz	2k Hz	4k Hz	8k Hz	16k Hz	NPS
	Solo	85,7	79,0	86,2	83,4	81,4	76,1	71,6	71,6	91,1

Tabela 38. Espectro sonoro de furadeira de impacto.

	MATERIAL	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1k Hz	2k Hz	4k Hz	8k Hz	16k Hz	NPS
	Parede c/ reboco				90,4	97,4	96,8	82,7	75,7	100,6
	Concreto		83,7	84,9	81,1	96,1	95,7	90,2	72,9	99,8

6.5.2 Interpretação dos resultados das medidas realizadas nos locais de trabalho

A interpretação desses resultados depende do tipo de ruído gerado (contínuo ou de impacto) e de como se apresenta (isolado ou simultaneamente), conforme descrito abaixo:

a) Ruído contínuo e de impacto integrados simultaneamente

Neste caso, sempre que o nível de exposição normalizado (NEN) for superior a 85 dB(A), o limite de exposição estará excedido, exigindo a adoção imediata de medidas de controle.

Se o NEN estiver entre 82 dB(A) e 85 dB(A), a exposição tem de ser considerada acima do nível de ação, devendo ser adotadas medidas preventivas de forma a minimizar a probabilidade de que as exposições ao ruído ultrapassem o limite de exposição.

b) Ruído de impacto integrado isoladamente

O limite de exposição diário para ruído de impacto é dado pela expressão:

$$N_p = 160 - 10 \cdot \log n \quad < 43 >$$

onde: N_p é o nível de pico, em dB(Lin), máximo admissível;

n é o número de impactos ou impulsos ocorridos durante a jornada diária de trabalho.

Não é permitida, em nenhum momento da jornada de trabalho, exposição a níveis de ruído contínuo ou intermitente acima de 115 dB(A) para indivíduos que não estejam

adequadamente protegidos, independentemente dos valores obtidos para a dose diária ou para o nível de exposição normalizada. Para indivíduos não protegidos apropriadamente não é permitida exposição a ruídos de impacto ou impulsivos com níveis de pico superiores a 140 dB.

6.5.3 Análise das medidas realizadas nos canteiros de obras

Nesta análise levaram-se em conta as atividades principais e secundárias dos trabalhadores das duas categorias profissionais estudadas e as máquinas e ferramentas por elas utilizadas.

Classificaram-se as tarefas executadas por ajudantes gerais e carpinteiros em:

- a) tarefas ruidosas: as que apresentam níveis equivalentes (Neqs) maiores que ou iguais a 85 dB(A);
- b) moderadamente ruidosas: as que apresentam Neqs maiores que ou iguais a 82 dB(A) e menores que 85 dB(A);
- c) não ruidosas: as que apresentam Neqs menores que 82 dB(A).

As tarefas foram analisadas utilizando os seguintes fatores:

a) **duração e taxa de apresentação das tarefas ruidosas.** A duração indica o tempo relativo gasto em cada tarefa. A taxa de apresentação expressa se as tarefas ruidosas, não ruidosas e moderadamente ruidosas têm alta, moderada ou baixa frequência no processo de desenvolvimento de obras na Construção Civil. Esses dois fatores são analisados de forma qualitativa e juntos revelam o tempo de exposição ao ruído da categoria na tarefa analisada;

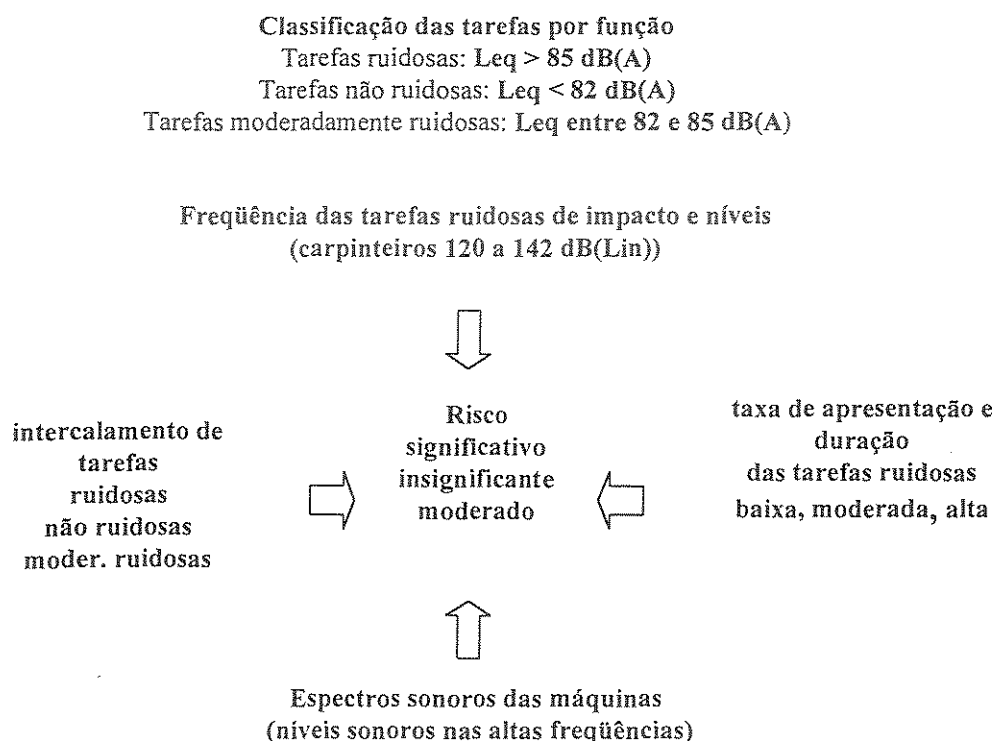
b) **intercalamento de tarefas.** Ele tem influência no repouso e na recuperação auditiva. Assim, tarefas ruidosas intercaladas com tarefas não ruidosas ou moderadamente ruidosas diminuem os níveis médios de exposição, os quais gerariam menores perdas auditivas que as tarefas ruidosas;

c) **presença de tarefas com ruído de impacto.** O ruído de impacto é caracterizado por uma grande concentração de energia sonora em um curto período de tempo. A magnitude dos efeitos desse tipo de ruído ainda é discutida na literatura como foi mostrado na revisão bibliográfica deste trabalho. Alguns pesquisadores concluíram haver efeitos sinérgicos quando simultaneamente estão presentes nos ambientes de trabalho o ruído contínuo e de impacto.

Embora não seja essa a hipótese do nosso trabalho, a verdade é que o ruído de impacto é, pelo menos, um componente importante na integração dos níveis médios de exposição;

d) **espectro sonoro**. Ele provê uma idéia de como a energia sonora do ruído é distribuída por frequência. Esse fator é importante na medida em que a sensibilidade do ouvido é diferente para cada frequência e que sons de alta frequência são mais nocivos que os de média e baixa.

Abaixo é apresentado um esquema simplificado da análise realizada.



a) Ajudantes gerais

Os ajudantes gerais executam as tarefas mais simples da Construção Civil, tais como: limpeza, empilhamento, montagem de andaimes e plataformas, aberturas de valas, aterramentos e movimentação de materiais (tijolos, blocos de concreto, entulhos, massa, barras de ferro etc.). Além disso, preparam a massa, ajudam na concretagem de pilares, vigas e pisos; participam de demolições e auxiliam outros profissionais em suas tarefas. Utilizam habitualmente ferramentas como pá, enxada, picareta, marreta, talhadeiras em corte, abertura e remoção de materiais. Fazem

uso, quando necessário, de furadeiras, lixadeiras, serras elétricas, betoneiras, compactadores de solo, britadeiras e polícoras, embora essas máquinas sejam utilizadas por outros profissionais como pedreiros, azulejistas, encanadores, nas mesmas tarefas e com maior frequência.

O uso de determinada ferramenta ou máquina é mais frequente em uma fase da obra que em outra e as tarefas ruidosas ($> 85 \text{ dB(A)}$) são intercaladas com as moderadamente ruidosas (82 a 85 dB(A)) e as não ruidosas ($\leq 82 \text{ dB(A)}$). Estas são muito mais frequentes que as outras e ocupam, em geral, um tempo maior da jornada diária de trabalho. Essas tarefas consistem em limpeza, empilhamento e movimentação de materiais, aberturas de valas, aterramentos, preparação e transporte de massa, apoio em outras tarefas não ruidosas de pedreiros e outros profissionais da Construção Civil. A **Tabela 28** apresenta uma lista de tarefas de ajudantes gerais com os respectivos níveis equivalentes, N_{eq} . Nota-se pelos dados exibidos nessa tabela que não se pode desprezar o efeito das tarefas ruidosas e moderadamente ruidosas.

Ao intercalar tarefas ruidosas e não ruidosas, há um menor estresse auditivo e, conseqüentemente, menores perdas auditivas que as esperadas em uma exposição contínua a um nível constante de ruído igual ao das tarefas ruidosas. Em geral, estas são realizadas por ajudantes gerais específicos que têm habilidades para operar um equipamento com destreza e produtividade, os quais tendem a ser menos suscetíveis ao ruído que os outros. Explica-se a menor suscetibilidade desses indivíduos pela seleção médica de aptidão para execução de tarefas ruidosas e pela desistência voluntária de empregos que apresentam altos níveis sonoros, isto é, os trabalhadores mais habilitados para essas tarefas seriam justamente os que suportam melhor os efeitos do ruído, evitando reclamações constantes, e não apresentam perdas significantes na realização de testes audiométricos. Além disso, quanto maiores os níveis de ruído, mais frequente se torna o uso dos protetores auriculares.

Baseado no exposto e no fato de que o grupo de ajudantes gerais estudado apresentou uma perda mediana induzida pelo ruído de $4,1 \text{ dB}$, depois de $7,2$ anos de exposição e que o NEN calculado conforme o método proposto foi de 84 dB(A) e ainda que esta PAIR ($4,1 \text{ dB}$) é um valor de perda mediana associada à exposição contínua a um NEN entre 82 dB(A) e 85 dB(A) , conclui-se que os resultados obtidos das medições nos locais de trabalho e no método proposto são coerentes.

b) Carpinteiros

Os carpinteiros fazem a parte de madeiramento provisório e permanente da obra. O madeiramento temporário envolve atividades de montagem e desmontagem de plataformas, telhados, formas de vigas, pilares e lajes, escoramentos etc. O madeiramento permanente envolve o feitiço de portas e janelas, telhados, pisos de madeira etc.

As tarefas exigem o emprego de serras circulares, furadeiras, serrotes, serras elétricas manuais e o uso intensivo de martelos, especialmente na construção de telhados e na colocação, na retirada e no ajuste de escoramentos onde os níveis sonoros podem atingir e até ultrapassar 140 dB(Lin). Nessas tarefas, onde dois ou mais carpinteiros trabalham juntos, o ruído de impacto gerado por um altera em muito a dose do ruído dos outros.

A **Tabela 32** mostra alguns espectros sonoros da principal máquina utilizada por carpinteiros. Como se pode notar, quando em operação, a serra circular pode apresentar níveis de pressão sonora de até 107 dB na faixa de 4000 Hz, onde o ouvido é mais sensível.

Os níveis equivalentes de ruído das principais tarefas executadas pelos carpinteiros variam conforme **Tabela 29** entre 81 e 100 dB(A), apresentando a maioria delas valores maiores que 89 dB(A). Essas tarefas ruidosas são intercaladas com períodos de repouso auditivo dentro da jornada de trabalho, razão pela qual as perdas medianas induzidas pelo ruído esperadas são menores que as causadas por ruído contínuo de 89 dB(A). O cálculo do NEN determinado pelo método proposto que utiliza as PAIRs medianas reais dos carpinteiros foi de 86 dB(A), o que mostra a coerência entre os resultados do método proposto e os da aplicação.

7 CONTROLE DA EXPOSIÇÃO AO RUÍDO EM CANTEIROS DE OBRAS

No intento de colaborar com a preservação da audição dos trabalhadores da Construção Civil, reservamos este capítulo deste trabalho para sugerir medidas gerais e específicas de controle da exposição ao ruído em canteiros de obras, onde sistematicamente apresentamos medidas indicadas na literatura e algumas de nossa experiência do dia-a-dia com o ruído ocupacional.

O controle da exposição ao ruído em ambientes de trabalho geralmente é feito por meio de implantação de medidas de engenharia, médicas e administrativas.

7.1 Controle na esfera da engenharia

Uma grande parte do ruído nos canteiros de obras pode ser atenuada ou eliminada com medidas preventivas eficazes. Além disso, tais medidas podem ser encaradas como um investimento, pois delas deriva um retorno financeiro graças à melhoria de produtividade dos trabalhadores e a uma melhor performance das máquinas. Há, no entanto, muitos casos nos quais somente com a substituição da máquina ou do processo ruidoso podem-se alcançar níveis aceitáveis nos ambientes de trabalho.

O custo das diversas medidas de atenuação sonora depende do tipo de medida adotada e do momento em que isso ocorre. Geralmente, adotar medidas de controle depois da compra de máquinas ruidosas onera mais as empresas do que quando elas optam por adquirir máquinas mais caras, em geral mais modernas e silenciosas.

O controle da exposição ao ruído é um conjunto de medidas técnicas que visa a atenuação ou a eliminação do ruído e de seus efeitos em determinado ambiente. Essas medidas são aplicadas em um sistema formado pela **fonte geradora, pela trajetória do som e pelo**

receptor. Fonte é a parte do sistema que produz a energia acústica. Pode ser um motor, o ar que flui através de uma tubulação ou os dentes de uma engrenagem. A trajetória compreende todos os meios por onde o som pode propagar-se, como estruturas sólidas, meios líquidos e gasosos. O terceiro componente do sistema, o receptor, é o próprio trabalhador.

As medidas sobre a fonte sonora e sobre a trajetória do som são geralmente mais eficientes, porém na maioria das vezes mais complexas e onerosas para a empresa. Com frequência são denominadas medidas de controle de engenharia e consistem em ações baseadas em projeto que intervêm diretamente na máquina ou no ambiente entre a fonte e o trabalhador.

Pertence também a esfera da engenharia, embora não exclusivamente, as atividades de avaliação da exposição ao ruído e a especificação de protetores auriculares para trabalhadores de ambientes ruidosos de trabalho

7.1.1 Medidas prévias de controle de ruído para instalação do canteiro de obras

As medidas prévias de controle de ruído são aquelas que, na instalação do canteiro de obras, visam conseguir os menores níveis possíveis de ruído em todos os ambientes de trabalho, bem como minimizar a exposição dos trabalhadores.

A Construção Civil caracteriza-se por uma dinâmica de instalação e desinstalação de canteiros de obras com suas respectivas máquinas. Geralmente essa prática não leva em conta o aumento do ruído gerado pela escolha, má fixação e falta de manutenção de máquinas; pela seleção de métodos alternativos de trabalho e pelo arranjo físico dos canteiros de obras. Daí, antes mesmo da instalação do canteiro de obras, faz-se necessário um estudo prévio dos fatores intervenientes no processo de geração de ruído, que poderá ser realizado pelos projetistas ou engenheiros responsáveis pela obra, que deverão adotar o princípio de máxima redução dos níveis sonoros gerados pelo processo produtivo da Construção Civil considerando, pelo menos, os seguintes itens:

a) **especificação de máquinas e ferramentas.** Na compra de máquinas e ferramentas, devem-se levar em conta os níveis de ruído por elas gerados. Por isso, os responsáveis pela especificação e aquisição devem ser treinados e compromissados para adquirir as que atendam não só às necessidades técnicas e financeiras, como as que gerem os menores níveis sonoros;

b) **seleção de métodos.** A diminuição do ruído também pode ser alcançada com a seleção de novos métodos operacionais e materiais empregados. Um trabalho ruidoso pode ocasionalmente ser substituído por outro mais silencioso. Pode-se, por exemplo, utilizar concreto usinado em vez de prepará-lo no canteiro de obras;

c) **fixação das máquinas.** As vibrações de uma máquina se transmitem para sua base, o que aumenta o ruído gerado. Pode-se reduzir consideravelmente esse ruído por sua instalação sobre amortecedores de vibração fixados em base de inércia assentada sobre areia ou cortiça;

d) **manutenção das máquinas.** As máquinas usadas e mal conservadas em geral produzem ruído mais intenso que as novas ou bem conservadas; conseqüentemente, as empresas deverão elaborar um programa de manutenção de suas máquinas que adote princípios preventivos e/ou preditivos, cuidando para que sejam realizadas as revisões diárias e periódicas, bem como efetue os necessários reparos, lubrificações e substituições de peças de máquinas desgastadas ou danificadas;

e) **arranjo físico.** O arranjo físico no canteiro de obras é muito importante para limitar o número de trabalhadores expostos ao ruído ou, pelo menos, diminuir a dose diária de exposição de vários deles. Assim o posicionamento de máquinas como betoneiras e policorte, a demarcação e limitação de acesso às áreas onde se realizam tarefas ruidosas e o estabelecimento de locais de armazenamento e outros, são alguns exemplos que podem fazer parte de um arranjo físico adequado.

7.1.2 Medidas gerais de controle de ruído para canteiros de obras implantados

Medidas gerais de controle de ruído são as que ajudam o engenheiro na tomada de decisão em relação às máquinas ou aos processos ruidosos cuja solução não é óbvia ou conhecida.

A redução do ruído na fonte ou na sua trajetória são meios mais racionais de controle do que os aplicados sobre o trabalhador, mas requerem projetos adequados de barreiras acústicas e modificações de máquinas e processos. Como já citado, abrangem medidas tecnicamente complicadas e de custo elevado, o que explica a dificuldade de empresários e fabricantes de máquinas em implantá-las. Algumas medidas de caráter geral são:

- a) redução da intensidade da vibração por meio da manutenção do equilíbrio dinâmico, da diminuição das forças que atuam na peça que vibra, da redução do número de rotações por minuto e do aumento da duração do ciclo de funcionamento;
- b) redução da turbulência e velocidade dos fluidos em dutos;
- c) substituição de equipamentos que causem impactos por outros que utilizem forças progressivas;
- d) transformação de movimentos alternativos em rotativos;
- e) substituição de parada repentina por frenagem progressiva;
- f) substituição de engrenagens de dentes retos por outras de dentes helicoidais e substituição, quando possível, de metal por plástico ou outros materiais;
- g) instalação de elementos amortecedores nos pontos de contato entre a máquina e a base;
- h) elaboração de projeto, ou substituição de hélices apropriadas para ventiladores.

É importante ressaltar que na existência de mais de uma fonte de ruído em determinada área, deve-se controlar primeiro a fonte mais ruidosa para conseguir uma redução eficaz do nível de ruído geral, daí a necessidade de se conhecer cada fonte sonora presente nos ambientes de trabalho.

O controle do ruído mediante a intervenção na trajetória, na Construção Civil, é conseguido basicamente pelo enclausuramento parcial ou total da fonte e consiste em criar uma barreira acústica para a trajetória de propagação do som, sendo uma solução prática e viável para a redução de ruído de uma máquina já instalada e em funcionamento. O enclausuramento total é feito criando um invólucro em torno da fonte, com somente pequenas aberturas para permitir a sua ventilação, enquanto o parcial consiste na instalação de barreiras acústicas revestidas ou não com materiais de absorção sonora. O material da estrutura do invólucro e das barreiras deve ser de alta densidade e ter dimensões apropriadas para dissipar as ondas sonoras através de suas reflexões nas paredes internas do invólucro, ou evitar a transmissão do som pelas barreiras. Por outro lado, o material de revestimento tem de ser leve e de poros fechados para proporcionar uma boa absorção acústica.

A eficiência de um enclausuramento depende de quatro fatores principais: o volume do invólucro, o número de aberturas necessárias para entrada de ar de refrigeração e inspeção, o tipo

de parede (simples, dupla, composta etc.) que determina a perda de transmissão das paredes e o revestimento interno responsável pela energia sonora absorvida dentro do invólucro. Além disso, é necessária uma série de medidas suplementares, como vedação do invólucro, isolamento da fonte por meio de materiais resilientes ou coxins, montagem adequada do equipamento etc. A **Figura 28** mostra uma sequência de medidas de controle do ruído via trajetória. À esquerda estão indicadas ações de controle e à direita os gráficos mostram as atenuações obtidas nas diferentes faixas de frequência.

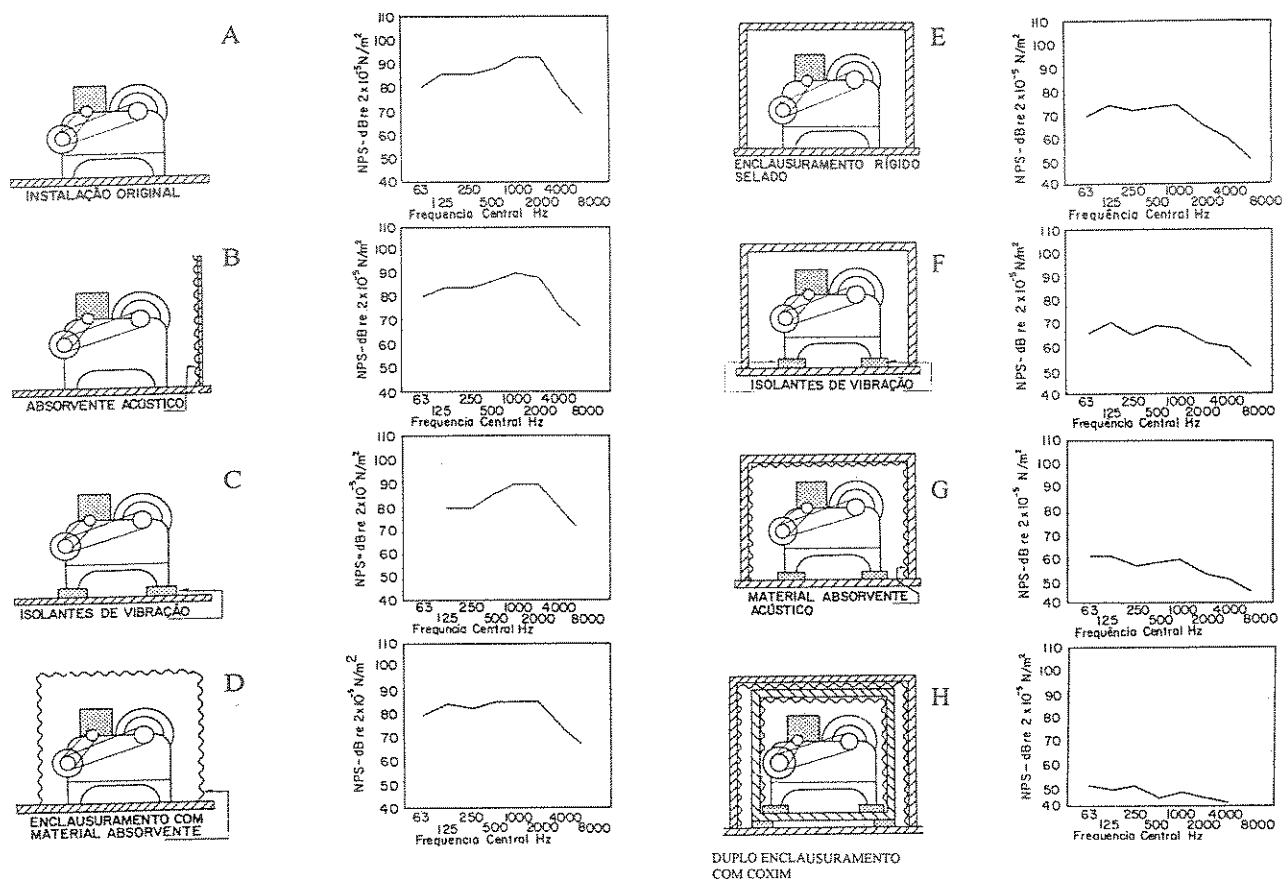


Figura 28. Controle do ruído via trajetória.

Fonte: ASTETE E KITAMURA (1978).

7.1.3 Medidas específicas de controle de ruído em canteiros de obras

As medidas gerais de controle apontam para as medidas específicas que devem ser desenvolvidas segundo a capacidade técnico-financeira e os recursos humanos de cada empresa.

Com o intento de melhorar as condições acústicas especificamente em canteiros de obras e apresentar uma contribuição real na atenuação do ruído, apresentamos os resultados de nossa pesquisa, identificando as máquinas mais utilizadas por carpinteiros e ajudantes gerais, descrevendo seus níveis médios de pressão sonora, descrevendo as causas do ruído gerado e indicando algumas medidas especiais de controle de ruído, inclusive algumas idéias inéditas.

a) Serras circulares de bancada



Serra circular de bancada é uma máquina de corte, cuja ferramenta é constituída de um disco circular, provido de arestas cortantes na periferia, montado num eixo, que lhe transmite o movimento rotativo e a potência de corte, sendo o conjunto acionado por um motor elétrico, por meio de polias e correias. É um equipamento obrigatório na Construção Civil, principalmente para o corte de madeira na execução das formas que moldam as peças de concreto armado. É utilizado também na execução de estruturas de madeira para telhado e em serviços auxiliares, como fabricação de caixas, sarrafos, réguas etc.

Serra circular é um equipamento precário, montado geralmente no próprio canteiro de obras que, sem os devidos requisitos técnicos necessários ou a adequada utilização, leva a riscos de acidente e níveis sonoros maiores que os aceitáveis para essas máquinas. O ruído produzido caracteriza-se por espectros de alta frequência que variam com o diâmetro e a velocidade de rotação do disco, o tamanho e o perfil dos dentes, o material trabalhado e o desbalanceamento do disco. Quando em operação, a peça serrada atenua as altas frequências do som, razão pela qual o ruído, nessas frequências, é mais intenso quando a serra gira “em vazio”.

Nível Sonoro

100 - 107 dB (A). Local de medição: a um metro do ponto de operação. Ressalte-se que o ruído na operação de afiação do disco pode ser ainda mais elevado porque sua lâmina pode entrar em ressonância.

Causa do Ruído

Radiação sonora emitida pelo motor elétrico, pela transmissão e pelo disco da serra, além da vibração do material trabalhado.

Medidas Sugeridas

O disco de serra deve ser firmemente fixado no eixo da bancada. Em operação, utilizar disco com dimensão adequada para cada tarefa executada. Discos de diâmetros elevados trazem o inconveniente do aumento de vibração e ruído, razão pela qual hoje são fabricados discos com dentes de metal duro, cuja perda projetada, na operação de afiação, em sua vida útil é de apenas 15 mm. Recomenda-se a escolha do perfil de dente apropriado para o material a ser serrado, a substituição de discos danificados, a sua afiação periódica, além de evitar que a serra funcione “em vazio” por muito tempo.

O desenvolvimento de lâminas providas de dentes de metal duro (vídia) possibilita a escolha de discos de diâmetros relativamente menores, reduzindo seu custo, aumentando sua durabilidade, bem como diminuindo o ruído proveniente da vibração. No entanto, em vista dos altos níveis sonoros gerados em alta frequência, recomenda-se o uso de protetores auditivos, mesmo para exposições de curta duração.

Para reduzir o ruído causado pela ressonância do sistema (serra, material e bancada) em operação, acoplar a cada lado do disco da serra uma flange de aço sobre discos de borracha, como mostra a **Figura 29**, para aumentar simultaneamente a massa e o amortecimento da lâmina.

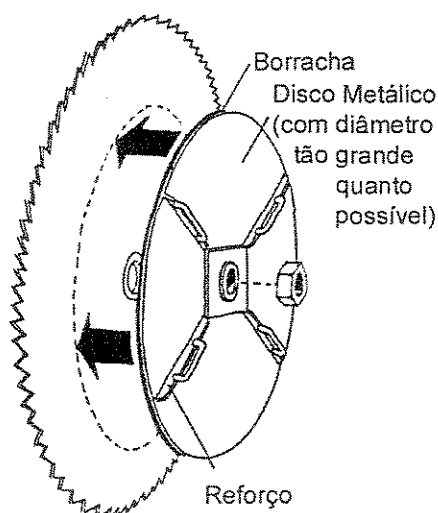
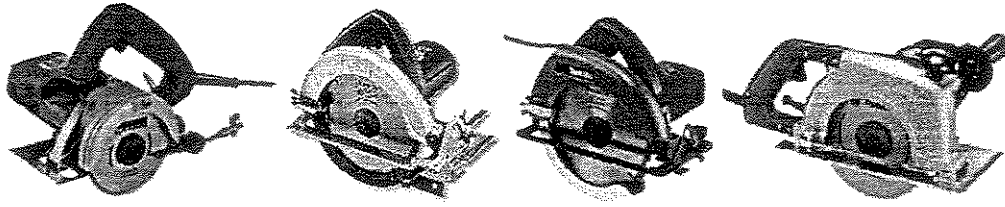


Figura 29. Lâmina de serra com sistema para evitar a ressonância.
 FONTE: MATOS (1994), p. 129.

34

b) Serras circulares portáteis



Serras portáteis são máquinas elétricas utilizadas para o corte de diversos materiais, como madeiras, pedras (ardósia, mármore, granito), pisos cerâmicos etc. O ruído predominante é de alta frequência, e depende do material trabalhado, da velocidade de rotação, do diâmetro da serra, do perfil dos dentes e das vibrações causadas por um eventual desequilíbrio do disco.

Nível Sonoro

101 - 109 dB (A). Local de medição: ao nível do ouvido do operador.

Causa do Ruído

O ruído gerado pelas serras portáteis decorre da radiação sonora emitida pelo motor elétrico e seus elementos de transmissão e principalmente pelo contato entre o disco abrasivo e o material trabalhado.

Medidas Sugeridas

O intenso ruído gerado por essas máquinas pode ser atenuado adotando, no que couber, as medidas sugeridas para serra de bancada e pela fixação do material de trabalho de forma a evitar sua vibração apoiando-o sobre material resiliente.

Embora a adoção dessas medidas atenuem o ruído gerado, os níveis resultantes certamente serão maiores que os limites diários admissíveis, razão pela qual se faz necessário o uso de protetores auditivos, mesmo para exposições de curta duração.

c) Lixadeiras manuais elétricas e pneumáticas



Lixadeiras e esmerilhadeiras são máquinas elétricas ou pneumáticas utilizadas para lixamento, nivelamento, corte e desbaste de diferentes materiais, como concreto, madeira, pedras, ferro etc. O ruído dessas máquinas depende do material trabalhado, do disco abrasivo ou de corte e da potência da máquina.

Nível Sonoro

98 - 108 dB(A). Local de medição: ao nível do ouvido do trabalhador.

Causa do Ruído

As causas do ruído devem-se ao atrito do disco abrasivo no material, ao funcionamento do motor e à vibração transmitida ao material trabalhado.

Quando essas máquinas são pneumáticas, o ruído gerado dá-se também pelo escoamento turbulento da exaustão de ar.

Medidas Sugeridas

Os trabalhadores que operam lixadeiras e esmerilhadeiras deverão usar protetores auriculares do tipo concha simultaneamente com o tipo *plug*, dados os elevadíssimos níveis sonoros, ainda que em exposições de curta duração.

Para lixadeiras pneumáticas desenvolveu-se uma manopla (braço silenciador) preenchida com um material poroso (absorvente sonoro) entre duas telas finas. A passagem do ar através desse material quebra a turbulência de maneira que o fluxo que deixa o braço torna-se menos turbulento atenuando o ruído causado pela exaustão do ar, conforme mostra a Figura 30.

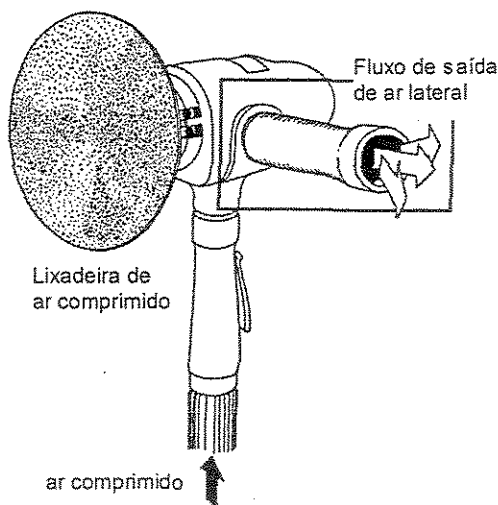
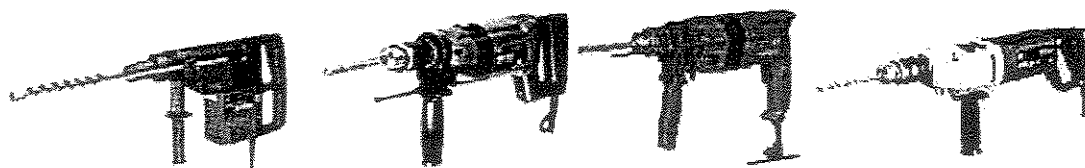


Figura 30. Lixadeira manual pneumática.
Fonte: NATIONAL SAFETY COUNCIL, p. 57.

e) Furadeiras elétricas portáteis



Furadeiras são máquinas portáteis acionadas por motores elétricos utilizadas para perfuração de pisos, paredes, tetos e outras estruturas de madeira, concreto, cerâmica, pedras etc. Podem ser supridas de dispositivo de impacto. As furadeiras de impacto quando utilizadas apenas no modo de perfuração geram ruído semelhante às furadeiras comuns, mas quando usadas no modo de impacto (2.200 a 2.600 impactos por minuto) são mais ruidosas, mesmo nas baixas frequências.

A escolha da ferramenta a elas acopladas depende do material a ser furado, porém aumentando-se o diâmetro e o tamanho das brocas, elevam-se os níveis sonoros. Testes mostram que a variação da velocidade não modifica sensivelmente o ruído gerado.

Nível Sonoro

90 - 99 dB(A). Furadeira comum, local de medição: ao nível do ouvido do operador.

92 - 101 dB(A). Furadeira de impacto, local de medição: a um metro do ponto de operação, em local fechado.

Causa do Ruído

O ruído é gerado pelo motor elétrico, por elementos de transmissão e pelas vibrações do corpo da própria furadeira, broca ou outra ferramenta acoplada, além da radiação sonora emitida pelo material trabalhado.

No caso de perfuração combinada com percussão (2.200 a 2.600 impactos por minuto), predomina o som devido à percussão. Para material leve e/ou fino, o nível de pressão sonora aumenta, ainda que para as baixas frequências.

Medidas Sugeridas

Para atenuar o ruído de furadeiras é necessário utilizar broca de diâmetro e comprimento adequado para cada tarefa, pois a utilização de ferramentas inadequadas, além de causar ruído excessivo, pode dar origem a quebra, travamento e superaquecimento da máquina, especialmente da broca.

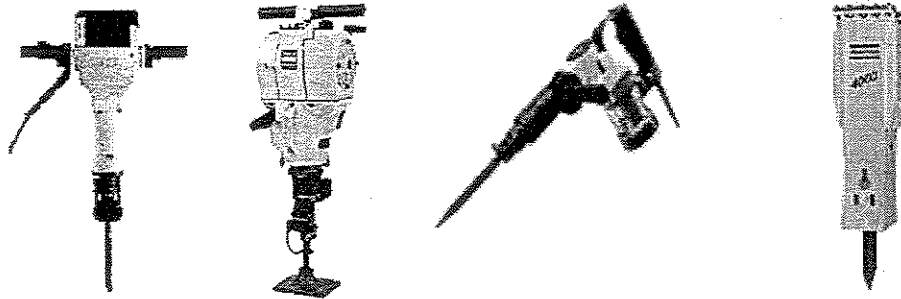
Sempre que possível, as peças finas ou de material leve deverão ser firmemente fixadas de preferência contra um material com propriedades resilientes, como borracha ou espuma de alta densidade.

As furadeiras deverão de passar por manutenção preventiva e/ou preditiva para substituir os rolamentos e as buchas gastas.

O uso do dispositivo de percussão deverá ser racionalizado em relação ao tempo e à dureza do material.

Essas medidas sobre as furadeiras e o material trabalhado certamente resultarão em níveis sonoros menores que os produzidos em operações de perfuração, porém a atenuação apenas diminuirá o risco de perdas auditivas induzidas pelo ruído, razão pela qual se recomenda aos operadores dessas máquinas o uso de protetores auriculares. Geralmente o ruído é suficientemente atenuado por protetores do tipo concha.

e) Rompedores elétricos e pneumáticos



Esses equipamentos são utilizados para rompimento e perfuração de concreto, alvenaria e pavimentos asfálticos; rasgos de tubulação, correções em vigas e pilares e retirada de pisos cerâmicos e ladrilhos. São também muito empregados em demolição.

O nível sonoro dessas ferramentas é praticamente o mesmo em qualquer material trabalhado. Encontram-se, no entanto, diferenças nas baixas e altas frequências quando se quebra piso cerâmico ou concreto leve. Os usuários desses equipamentos não podem fazer praticamente nada quanto à redução do ruído na fonte sonora, exceto na escolha do equipamento. Equipamentos pneumáticos com silenciadores incorporados são menos ruidosos. Mesmo assim, os níveis são altíssimos de maneira que se faz necessário o uso de protetores auriculares do tipo concha simultaneamente com os do tipo tampão, que podem ser de espuma ou plástico.

Nível Sonoro

103 - 115 dB(A). Local de medição: um metro em ambiente fechado.

Causa do Ruído

O ruído é gerado pelo corpo da máquina, mas principalmente pelo contato entre a ferramenta (ponteira, entalhador ou outra ferramenta acoplada) do rompedor e a superfície do material trabalhado e, quando o equipamento é pneumático, pelo escoamento turbulento de exaustão do ar.

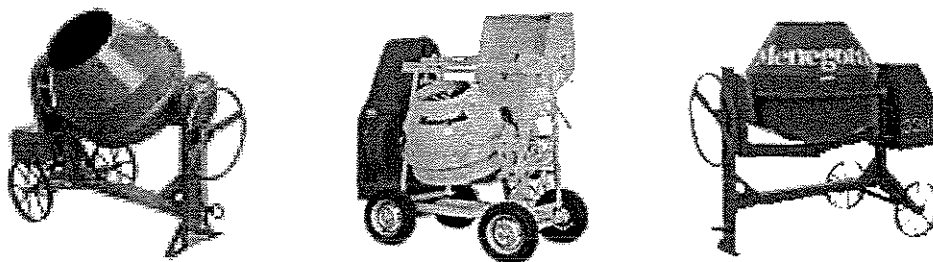
Medidas Sugeridas

Existem no mercado equipamentos de vários tamanhos e potências de forma que a sua escolha adequada pode ser uma medida administrativa de controle de ruído. O emprego de ferramentas pequenas, quando possível, é preferível.

Outra medida de controle é a aquisição de certas máquinas com revestimento especial para evitar a transmissão da vibração do corpo da ferramenta para o ar do ambiente, dotadas de silenciadores acústicos para impedir a transmissão sonora emitida pela exaustão e com amortecedores de contato antivibratório para apoiar-se sobre o material trabalhado, o que atenua as vibrações transmitidas pela máquina.

Além disso, a escolha do período de uso é importante no sentido de limitar o número de trabalhadores expostos. Pode-se, também, utilizar o revezamento do operador para distribuir a exposição entre os trabalhadores e minimizar a possibilidade de dano auditivo.

De qualquer forma, o uso simultâneo de protetores auriculares do tipo *plug* e concha deve ser obrigatório.

f) Betoneiras

Largamente usados na Construção Civil, esses equipamentos servem para preparar o concreto e argamassas diversas com a mistura de cimento, água e agregados.

As betoneiras são constituídas por caçamba carregadora, cuba de mistura, dosador de água e motor elétrico, a gasolina ou diesel. As betoneiras mais simples não têm caçamba carregadora nem dosadores de água, sendo usadas em pequenas obras.

O ruído dessas máquinas depende das condições de instalação, da potência, da capacidade volumétrica, do nível de carga (vazia, meia carga, cheia), do material trabalhado, da manutenção etc.

Nível de Ruído

82 – 92 dB(A). Local de medição: ao nível do ouvido do trabalhador.

Causa do Ruído

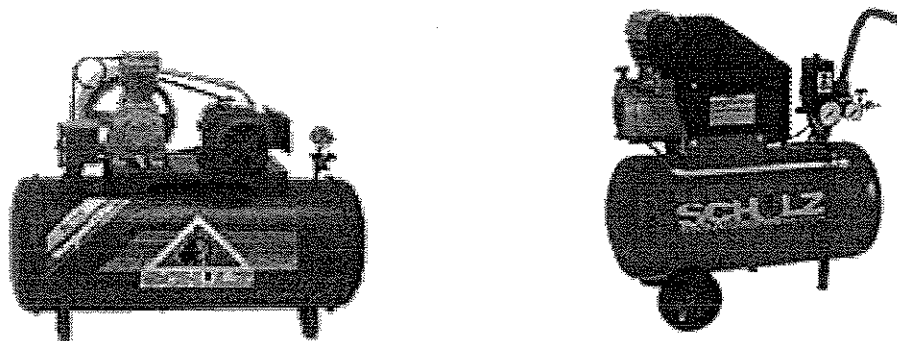
A radiação sonora é emitida pelo conjunto motor/redutor e pelos impactos dos agregados com o corpo ou parede da cuba de mistura.

Medidas Sugeridas

A escolha do piso para disposição da betoneira pode evitar a transmissão da vibração à estrutura da obra, por isso devem-se, se possível, instalar esses equipamentos diretamente sobre o solo e garantir o seu nivelamento. Para atenuar o ruído causado pelo atrito entre o material processado e o corpo da máquina, pode-se revestir internamente a betoneira com um tipo de borracha resistente ao atrito das britas e aos efeitos químicos do cimento.

Para prevenir o aumento dos níveis sonoros, as partes móveis de transmissão das betoneiras têm de ser mantidas limpas e lubrificadas e seus parafusos e porcas, devidamente apertados.

g) Compressores



Compressores são sistemas mecânicos compostos de uma parte fixa e uma rotativa ou alternativa, destinados a aumentar a pressão dos fluidos. As partes rotativas dos compressores são

chamadas genericamente de pás, apesar de assumirem formas de dentes, lóbulos, palhetas etc. São máquinas ruidosas que geram altas pressões em baixa rotação.

Na Construção Civil utiliza-se o ar comprimido para pintura e acionamento de máquinas pneumáticas como martelos, rompedores, perfuradores, tubulões etc.

Os compressores podem produzir altos níveis de ruído de baixa frequência, mesmo que sejam equipados com silenciadores na entrada e na saída de ar, pois o ruído propaga-se por fendas e aberturas. Assim, nas proximidades de um compressor não isolado acusticamente, em geral o nível sonoro é elevado. No entanto, os compressores isolados apresentam uma ótima atenuação, cerca de 15 a 25 dB.

Nível Sonoro

85 – 95 dB(A). Compressor sem tratamento acústico. Local de medição: a um metro do compressor.

70 dB(A). Compressor isolado. Local de medição: a um metro do compressor.

Causa do Ruído

De acordo com GERGES (1992), as principais fontes de ruído em compressores centrífugos são:

- a) turbulência do fluxo de ar devido à passagem não suave do fluido pelo interior do compressor;
- b) separação do fluxo causado pela sua interação nas partes rotativas (rotores) e nas partes fixas (estatores);
- c) fluxo não estacionário (irregular) nas pás dos rotores, que gera ruído na frequência de rotação e nos seus harmônicos. Somam-se a isso as irradiações sonoras do motor e do sistema de refrigeração.

Medidas Sugeridas

Para atenuar o ruído de compressores, recomendam-se a instalação de silenciadores reativos na entrada e na saída do ar e a sua isolação acústica com o uso de molas ou coxins sobre uma base de inércia. Devem-se também utilizar juntas flexíveis nas tubulações e enclausurar a carcaça, quando necessário. No caso de enclausuramento, o invólucro tem de ser revestido internamente com material absorvente e as janelas para inspeção devem prover meios para fechamento hermético. É importante ressaltar porém, que o controle mediante o enclausuramento

é possível apenas quando, junto com o isolamento acústico, se projeta o seu sistema interno de ventilação.

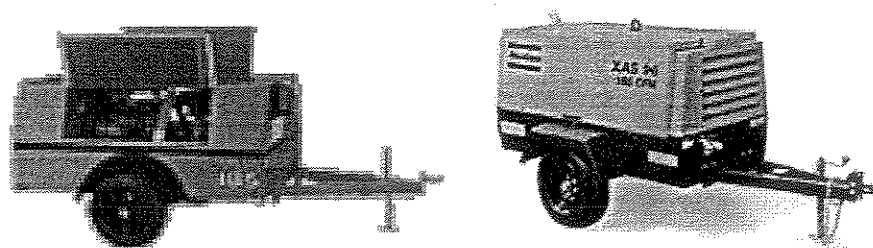


Figura 31. Compressores com tratamento acústico.

f) Martelos



Martelo é uma ferramenta de percussão usada para trabalhos em superfícies diversas. Na Construção Civil ele é bastante utilizado por carpinteiros para construir os telhados, fazer as formas de madeira de pilares, vigas, escadas e pisos de concreto e também para desmontá-las (desforma). Essas atividades geram impacto de altíssimos níveis de pressão sonora influenciando muito na composição dos níveis de exposição diária ao ruído dos carpinteiros.

Nível Sonoro

Os níveis médios de pressão sonora podem atingir valores de 109 a 142 dB (linear), principalmente em tarefas de desforma de pisos, vigas, pilares e escadas de concreto, podendo ultrapassar, inclusive, os limites máximos admissíveis de exposição sonora (140 dB medido na escala linear), o que, na falta de proteção adequada, caracterizaria a tarefa como de grave e iminente risco.

Causa do Ruído

O impacto da base do corpo do martelo com a cabeça de pregos ou sobre determinada superfície. Na Construção Civil por exemplo, geralmente os carpinteiros golpeiam o

madeiramento de formas de madeira utilizadas na construção de pisos, escadas, vigas e pilares de concreto para desmontá-las.

Medidas Sugeridas

Até o momento não houve progresso na substituição do martelo por outra ferramenta ou equipamento menos ruidoso. Existem porém, equipamentos pneumáticos de pregar para construção de engradados de madeira utilizados para exportação de máquinas. Esses equipamentos são efetivamente mais rápidos que o martelo nessa tarefa, mas geram um ruído maior por causa do efeito de saída do ar comprimido.

Para atenuar esse tipo de ruído, sugere-se um estudo para desenvolvimento de um novo equipamento pneumático de impacto, que seja suprido com silenciador semelhante aos utilizados em armas de fogo, conforme **Figura 32**. Dado o risco de acidente de um equipamento como esse, seu acionamento deve ser feito apenas pelo contato direto na superfície trabalhada.

Outro estudo poderia ser feito com compressores de alta pressão ou com motor elétrico cujo acionamento somente empurraria o prego eliminando, assim, todo o ruído da operação.

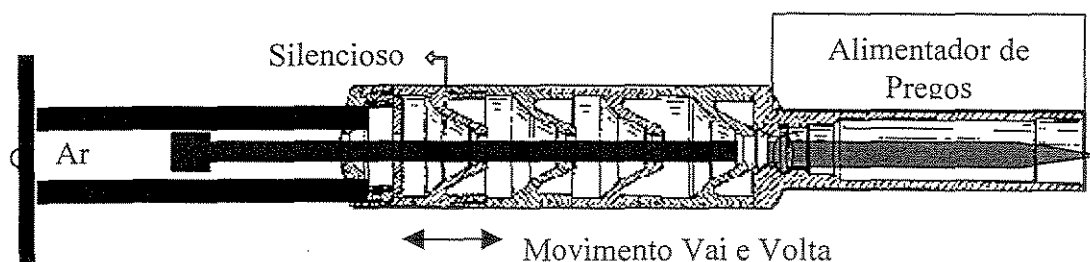


Figura 32. Croqui de um martelo pneumático silencioso.

i) Serrotes



Serrotes são ferramentas utilizadas para cortar madeiras em geral e derivados, dando-lhes formas e dimensões adequadas, acionadas exclusivamente pela força da mão e do braço do operador.

Nível Sonoro

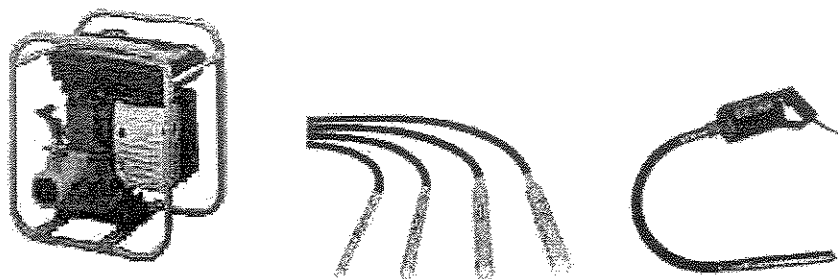
75 - 81 dB(A). Local de medição: ao nível do ouvido do trabalhador.

Causa do Ruído

O ruído é gerado pelo contato direto entre a serra e o material trabalhado.

Medidas Sugeridas

Embora o ruído causado por serrotes não seja suficiente para causar danos auditivos, podem-se evitar maiores níveis sonoros apenas posicionando e/ou fixando o material a ser serrado.

j) Vibradores de concreto

Vibradores de concreto são equipamentos utilizados para obtenção de um melhor adensamento e uma distribuição homogênea dos agregados. Asseguram o enchimento das formas e facilitam a penetração do concreto em todos os vãos aumentando sua capacidade de carga.

Nível Sonoro

85 - 90 dB(A). Local de medição: a um metro da operação.

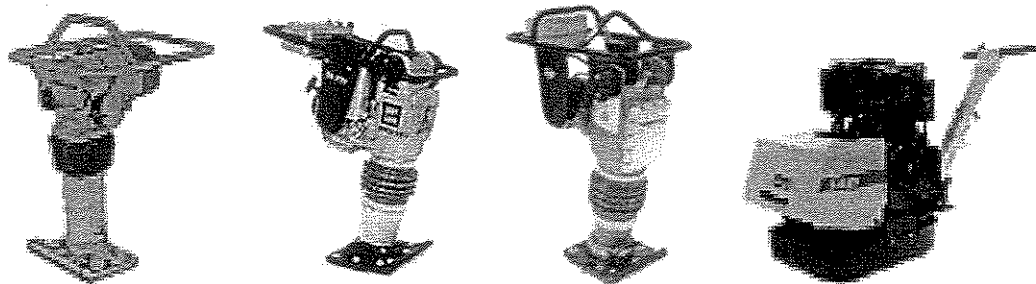
Causa do Ruído

A haste emite um som “desagradável” de alta frequência, que se nota sobretudo quando o vibrador toca na armadura metálica e na forma de trabalho. Quando funciona “em vazio”, o ruído é idêntico ao registrado no curso da operação, porém em nível mais alto. O som gerado pelos vibradores não é sempre o mesmo, o que provavelmente se dá em razão das diferenças nos mancais e nas partes móveis (giratórias) da máquina.

Medidas Sugeridas

A substituição dos mancais e das partes móveis desgastadas pode contribuir para redução do ruído. Deve-se evitar também o funcionamento da máquina “em vazio”. De qualquer forma, recomenda-se aos operadores desses equipamentos o uso de protetores auriculares.

m) Compactadores



Compactadores são máquinas elétricas ou à combustão utilizadas na preparação da área a ser construída. Por meio de uma base ou placa vibratória compactam o solo aumentando-lhe a densidade, a resistência e a estabilidade. São importantes em obras de saneamento, instalações hidráulicas, elétricas, telefônicas, galerias em geral, onde é necessário um alto grau de compactação.

Nível sonoro

91 dB(A). Compactador à combustão. Local de medição: ao nível do ouvido do operador.

Causa do Ruído

O ruído é gerado pelo motor e pelos elementos de percussão. No caso de compactadores à combustão, o ruído é maior em razão do tipo de motor utilizado e do escape de gases.

Medidas Sugeridas

A escolha do equipamento é muito importante nesse caso, já que os compactadores elétricos são menos ruidosos que os movidos a combustível. No caso de inviabilidade financeira ou técnica para aquisição dos compactadores elétricos, aconselha-se o uso de silenciadores na saída de exaustão dos gases, a manutenção freqüente da máquina e o emprego de protetores auriculares.

7.2 Controle na esfera administrativa

A exposição ao ruído em certas tarefas como por exemplo, as que requerem o uso de martelos pneumáticos, policortes e betoneiras pode ser reduzida por meio de medidas administrativas. Essas medidas consistem em:

- a) treinamento do trabalhador para evitar exposições desnecessárias, escolher equipamentos adequados à atividade executada, se distanciarem um do outro quando realizarem tarefas ruidosas simultaneamente para diminuir o nível de exposição individual;
- b) planejamento, implantação e disposição adequada das operações e máquinas, como a segregação de tarefas muito ruidosas sempre que possível;
- c) limitação de acesso de trabalhadores em áreas onde se vão realizar tarefas bastante ruidosas para diminuir o número de expostos;
- d) implantação de um sistema rígido de uso e fiscalização do uso de protetores auriculares.

7.3 Controle na esfera médica

O controle médico relacionado ao ruído ocupacional é feito, sobretudo, por meio de exames do ouvido que devem ser iniciados antes que o trabalhador comece suas atividades na empresa e repetidos pelo menos uma vez por ano até sua demissão, embora atue em programas de conservação auditiva na fase de formação e motivação, na implantação do uso de protetores, em análise e registros de dados audiométricos etc.

No BRASIL (1998), o Ministério do Trabalho editou a Portaria nº 19, de 9 abril de 1998, que estabelece as diretrizes e os parâmetros mínimos para avaliação e acompanhamento dos trabalhadores expostos a níveis de pressão sonora elevados visando ao controle médico do ruído dentro das empresas. Estas diretrizes foram incorporadas na forma do anexo I, na norma regulamentadora 7 (NR-7) da Portaria 3.214 de 8 de junho de 1978, cujo tema é “Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional.”

A Portaria nº 19 define as perdas auditivas induzidas pelo ruído (PAIRs) como “alterações dos limiares auditivos, do tipo neurossensorial, decorrente da exposição ocupacional sistemática a níveis de pressão sonora elevados. Tem como características principais a irreversibilidade e a progressão gradual com o tempo de exposição ao risco. Inicialmente se dá o acometimento dos limiares auditivos em uma ou mais frequências da faixa de 3000 a 6000 Hz, sendo que as frequências mais altas e mais baixas poderão levar mais tempo para serem afetadas. Uma vez cessada a exposição, não haverá progressão da redução auditiva”.

Uma dessas diretrizes é a realização de um exame de referência para comparação com os exames posteriores, chamados de seqüenciais. Esses exames visam à avaliação da audição do trabalhador ao longo do tempo de exposição e devem incluir:

- a) anamnese clínico-ocupacional;
- b) exame otológico;
- c) exame audiométrico;
- d) outros exames audiológicos complementares solicitados a critério médico.

A Portaria nº 19 (1988) estabelece ainda os seguintes parâmetros de interpretação dos resultados dos exames audiométricos de referência e seqüencial.

I - Exames de referência

1) Resguardando o caráter preventivo, são considerados dentro dos limites aceitáveis os casos cujos audiogramas mostram limiares auditivos menores ou iguais a 25 dB(NA), em todas as freqüências examinadas.

2) São considerados sugestivos de perda auditiva induzida por níveis de pressão sonora elevados os casos cujos audiogramas, nas freqüências de 3000 e/ou 4000 e/ou 6000 Hz, apresentam limiares auditivos acima de 25 dB(NA) e mais elevados do que nas outras freqüências testadas, estando estas comprometidas ou não, tanto no teste da via aérea quanto da via óssea, em um ou em ambos os lados.

3) Não são sugestivos de perda auditiva induzida por níveis de pressão sonora elevados os casos cujos audiogramas não se enquadram nas descrições citadas.

II - Exames seqüenciais

São considerados sugestivos de desencadeamento de PAIR os casos em que os limiares auditivos em todas as freqüências testadas no exame audiométrico de referência e no seqüencial permanecem menores ou iguais a 25 dB(NA)⁹, mas a comparação do audiograma seqüencial com o de referência mostra uma evolução dentro dos moldes da definição da PAIR desta norma, e preenche um dos critérios abaixo:

- a) a diferença entre as médias aritméticas dos limiares auditivos no grupo de freqüências de 3000, 4000 e 6000 Hz iguala ou ultrapassa 10 dB(NA);

⁹ Os limiares auditivos são expressos por meio dos níveis de audibilidade (NAs)

b) a piora em pelo menos uma das frequências de 3000, 4000 ou 6000 Hz iguala ou ultrapassa 15 dB(NA).

São considerados sugestivos de agravamento de PAIR os casos já confirmados em exame audiométrico de referência, nos quais a comparação de exame audiométrico sequencial com o de referência mostra uma evolução característica de PAIR conforme descrito por essa Portaria e preenche um dos critérios abaixo:

a) a diferença entre as médias aritméticas dos limiares auditivos no grupo de frequências de 500, 1000 e 2000 Hz, ou no grupo de frequências de 3000, 4000 e 6000 Hz iguala ou ultrapassa 10 dB(NA);

b) a piora em uma frequência isolada iguala ou ultrapassa 15 dB(NA).

Para fins da Portaria nº 19 (1998), o exame audiométrico de referência permanece o mesmo até o momento em que algum dos exames audiométricos sequenciais for preenchido por algum dos critérios apresentados para caracterização ou agravamento da PAIR. Uma vez preenchido algum desses critérios, deve-se realizar um novo exame audiométrico, dentro dos moldes previstos pela norma, que será, a partir de então, o novo exame audiométrico de referência. Os exames anteriores passam a constituir o histórico evolutivo da audição do trabalhador.

III - Diagnóstico da PAIR e definição da aptidão para o trabalho

No Brasil, o diagnóstico conclusivo, o diagnóstico diferencial e a definição da aptidão para o trabalho, na suspeita de PAIR, estão a cargo dos médicos coordenadores dos Programas de Controle Médico em Saúde Ocupacional (PCMSOs) de cada empresa, ou do médico encarregado pelo mesmo para realizar o exame médico, na ausência destes, do médico que assiste ao trabalhador.

A PAIR por si só, não é indicativa de inaptidão para o trabalho, devendo-se levar em consideração na análise de cada caso, além do traçado audiométrico ou da evolução sequencial de exames audiométricos, os seguintes fatores:

- a) a história clínica e ocupacional do trabalhador;
- b) o resultado da otoscopia e de outros testes audiológicos complementares;
- c) a idade do trabalhador;
- d) o tempo de exposição anterior e atual a níveis de pressão sonora elevados;

e) os níveis de pressão sonora a que o trabalhador estará, está ou esteve exposto no exercício do trabalho;

f) a demanda auditiva do trabalho ou da função;

g) a exposição não ocupacional a níveis de pressão sonora elevados;

h) a exposição ocupacional a outro(s) agente(s) de risco ao sistema auditivo;

i) a exposição não ocupacional a outro(s) agente(s) de risco ao sistema auditivo;

j) a capacitação profissional do trabalhador examinado;

k) os programas de conservação auditiva aos quais tem ou terá acesso o trabalhador.

As ações de controle de ruído até aqui apresentadas devem ter carácter contínuo, já que a empresa em geral é dinâmica e apresenta transformações nos processos, nas máquinas e nos procedimentos. O carácter contínuo dessas ações pode ser conseguido por um programa de conservação auditiva de modo que não só sejam implantadas as ações de controle, mas sejam mantidas e monitoradas e atinjam as metas para as quais foram planejadas.

7.4 Programa de conservação auditiva

O principal objetivo dos programas de conservação auditiva no trabalho (PCAs) é evitar as perdas auditivas provocadas pela exposição perigosa ao ruído ocupacional, embora busque-se também educar e motivar as pessoas para proteger-se das exposições perigosas ao ruído não ocupacional.

Um estudo realizado por ROYSTER e ROYSTER (1998) representado pela **Figura 33**

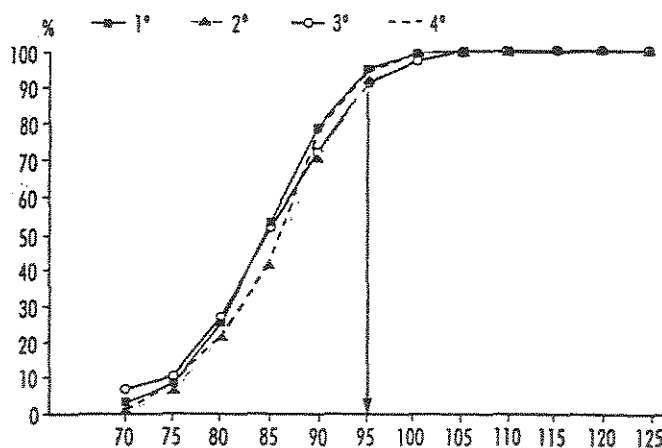


Figura 33. Estimativa do risco derivado da exposição ao ruído em diferentes populações
FONTE: ROYSTER e ROYSTER (1998).

mostra a distribuição de mais de 10 mil amostras de exposições ao ruído, incluindo as de trabalhadores de diversos ambientes de trabalho industrial, mineiros e militares. As amostras são valores médios ponderados em períodos de oito horas baseados em incrementos de acumulação de dose de 3, 4 e 5 dB. Esses dados mostram que aproximadamente 90% das exposições diárias expressas em nível equivalente são iguais ou menores que 95 dB(A) ou apenas 10% superam os 95 dB(A).

Supondo que esses dados de exposição sejam aplicáveis à maioria dos países e das populações, para eliminar o risco da surdez ocupacional os protetores auriculares (PAs) teriam de oferecer pelo menos uma atenuação de 15 dB(A), o que resultaria em níveis sonoros dentro do ouvido de apenas 80 dB(A). No caso de adoção desses protetores, os responsáveis pela saúde dos trabalhadores devem equipar cada trabalhador com um protetor que seja confortável e prático no seu ambiente, que leve em conta suas necessidades auditivas (capacidade para ouvir sinais de aviso, conversas etc.) e seja eficaz na atenuação do ruído.

7.4.1 Benefícios da conservação da audição

A prevenção de perdas auditivas no trabalho beneficia os trabalhadores porque preserva a capacidade auditiva que é vital para que desfrutem de boa qualidade de vida, a qual, além de outros fatores, depende da comunicação interpessoal, do prazer de ouvir música e da detecção de sons de alarme e perigo. O PCA proporciona ainda um benefício em termos de saúde pública, já que as perdas auditivas de origem não ocupacional e as enfermidades com possíveis tratamentos podem ser detectadas por audiometrias anuais. Por outro lado, a redução da exposição ao ruído também reduz a fadiga e o estresse relacionados com o ruído.

O empresário é beneficiado diretamente pela implantação de um PCA eficaz, pois os trabalhadores tenderão a ser mais produtivos e versáteis se não houver deterioração da capacidade de comunicação. Outro efeito dos PCAs eficazes é que eles podem reduzir os acidentes de trabalho relacionados com sons de alarmes de segurança pessoal e do sistema produtivo.

7.4.2 Fases de um PCA

ROYSTER e ROYSTER (1988) dividem o PCA em cinco fases: determinação da exposição ao ruído, controles técnicos e administrativos do ruído, formação e motivação,

proteção auditiva e avaliação audiométrica. Geralmente o engenheiro intervém em todas as fases, exceto nas avaliações audiométricas, seja atuando em relação a máquinas, processos e locais ruidosos, seja realizando treinamentos para trabalhadores, especificação de protetores auriculares e encaminhamento ou registro de informações referentes às suas ações preventivas relacionadas com o PCA. No entanto, idealmente, cada fase tem de ser controlada por um responsável de preferência especializado. O conjunto de todos os responsáveis deve compor a equipe de gestão do PCA. As cinco fases são descritas resumidamente a seguir.

7.4.2.1 Determinação da exposição ao ruído

Os medidores de níveis sonoros e os dosímetros de ruído são utilizados para medir os níveis sonoros nos locais de trabalho e calcular a exposição dos trabalhadores ao ruído para determinar a necessidade de um PCA. Os dados assim coletados permitem estabelecer políticas apropriadas para proteger os trabalhadores. Os resultados da avaliação identificam que trabalhadores (por departamento ou posto de trabalho) serão incluídos no PCA, em que áreas deverá ser exigido o uso de protetores auditivos e os protetores auditivos considerados adequados.

A fim de priorizar as medidas de controle é necessário tomar amostras representativas dos níveis sonoros dos ambientes de trabalho para classificar as exposições em intervalos (menos de 85 dB(A), 85 – 89, 90 – 94 dB(A) etc.). As medições dos níveis sonoros durante a avaliação geral podem identificar as fontes dominantes de ruído em cada área da empresa, onde posteriores estudos devem ser realizados para determinar as melhores ações de controle técnico visando reduzir de maneira significativa a exposição dos trabalhadores.

7.4.2.2 Controles técnicos e administrativos do ruído

O controle de ruído pode reduzir a exposição dos trabalhadores até um nível seguro, eliminando a necessidade de um programa de conservação da audição. O controle em nível técnico consiste em modificar as fontes de ruído (incorporando silenciadores em bocais de saídas de ar), a via de transmissão (isolando um grupo de trabalhadores de locais ruidosos por meio de barreiras acústicas) ou o receptor (enclausurando o posto de trabalho). Geralmente o trabalhador precisa participar dessas modificações para que sejam práticas e não dificultem o trabalho.

Entre os controles administrativos do ruído cabe citar a substituição dos equipamentos ruidosos por novos mais silenciosos, a implantação dos programas de manutenção de equipamentos relativos ao controle de ruído e a realização do rodízio dos postos de trabalho dos empregados para reduzir as doses de ruído limitando o tempo de exposição. Outro controle administrativo importante é o planejamento e projeto para reduzir o ruído a níveis aceitáveis no momento da implantação de novas instalações de produção, o que pode inclusive eliminar a necessidade de um PCA.

7.4.2.3 Formação e motivação

Os membros da equipe do PCA e trabalhadores não devem participar do programa até que compreendam seu objetivo, os benefícios diretos do programa e que o cumprimento dos requisitos de segurança e higiene da empresa é uma condição de emprego. Sem uma adequada formação que motive as ações individuais, o PCA fracassa. Entre outros, deve-se tratar dos seguintes temas: a finalidade e os benefícios do PCA, os métodos e os resultados da avaliação do ruído, o uso e a manutenção de medidas técnicas de controle do ruído para reduzir a exposição, a maneira como as exposições ao ruído fora do trabalho prejudicam a audição, as conseqüências das perdas auditivas na vida diária, a escolha e a adaptação dos protetores auriculares, o modo de identificação das mudanças da capacidade auditiva por meio de exames audiométricos para indicar a necessidade de aumentar a proteção e as políticas de PCA da empresa. O ideal é que se explique esses temas a pequenos grupos de trabalhadores em reuniões de segurança, dispondo de tempo suficiente para que façam perguntas. Nos PCAs eficazes, a fase de formação é um processo contínuo, não apenas uma apresentação anual.

7.4.2.4 Proteção auditiva

A empresa deve proporcionar aos empregados, pelo menos, protetores auditivos (PAs) do tipo tampão e concha. Como não existem medidas viáveis de controle técnico para muitos tipos de equipamento industrial, os PAs passaram a ser a melhor opção para prevenir a perda auditiva induzida por ruído nessas situações. Os protetores auriculares em geral atenuam mais que os 15 dB necessários para proteger a maioria dos trabalhadores expostos (90%). Atualmente há

um grande número de PAs disponíveis no mercado, o que facilita conseguir uma atenuação adequada.

Uma medida que visa à melhor escolha do tipo de PA e conseqüentemente sua maior eficácia seria testar a sua atenuação em cada trabalhador exposto ao ruído em exames audiométricos simultâneos, com e sem protetor. A diferença entre essas medidas resultaria na atenuação real do PA. Os fatores importantes para garantir a proteção do PA são: tipo do PA, tempo diário de uso, o grau de adaptação do PA ao ouvido do trabalhador e o grau de conscientização da importância do uso dos PAs.

7.4.2.5 Avaliações audiométricas

Cada trabalhador a ser exposto ao ruído ocupacional tem de submeter-se a um primeiro teste auditivo seguido de outros testes anuais para avaliar seu estado auditivo e detectar qualquer alteração. Utiliza-se para tanto uma cabine audiométrica para determinar os limiares auditivos do trabalhador a 0,5, 1, 2, 3, 4, 6 e 8 kHz. Se o PCA é eficaz, os resultados audiométricos dos empregados não mostrarão mudanças significativas associadas com danos auditivos induzidos por ruído no trabalho. Se houver suspeita de alteração, o operador do audiômetro ou o médico que revisa as audiometrias deverá aconselhar o empregado a usar o PA de forma mais eficaz, ressaltando a importância da adaptação do protetor ao ouvido e o tempo diário de uso. Deve também motivar a pessoa a assumir um comportamento positivo em relação à proteção do seu ouvido dentro e fora do trabalho.

O controle audiométrico só é eficaz quando há um controle constante dos procedimentos de medições dos limiares auditivos e quando os resultados são utilizados para realimentar o PCA, o que determina a implantação de novas medidas de controle para prevenir alterações auditivas significativas.

7.4.3 Manutenção de registros

Os documentos a serem registrados e o respectivo tempo de conservação variam para cada país. No Brasil, segundo NR-7 da Portaria 3214 do Ministério do Trabalho, é preciso manter os arquivos de exames de trabalhadores por 20 anos, já que frequentemente são utilizados como prova em processos trabalhistas e em indenizações cíveis. O objetivo da manutenção dos registros

é documentar de que modo os trabalhadores são protegidos em relação ao ruído. Entre os arquivos importantes podem-se citar os procedimentos de avaliação do ruídos e seus resultados, a calibração audiométrica e seus resultados, as ações de acompanhamento em resposta às alterações auditivas dos trabalhadores e a documentação sobre a adoção dos protetores auditivos, bem como sua utilização e seu treinamento. Os registros devem citar os nomes das pessoas que se ocuparam das tarefas do PCA assim como de seus resultados.

7.4.4 Características dos programas de conservação auditiva eficazes

Para finalizar este capítulo de controle do ruído e fechar o conteúdo de nossa tese apresentamos a seguir algumas características dos Programas de Conservação Auditiva citadas por ROYSTER e ROYSTER (1998), as quais promovem uma “cultura de segurança” junto com todos os outros programas de segurança (óculos de segurança, capacetes, comportamentos seguros para a elevação de cargas, plano de emergências, etc.).

7.4.4.1 Um líder

A estratégia mais importante para que as cinco fases do PCA funcionem eficazmente e em conjunto é uni-las sob supervisão de um líder. Nas empresas menores, onde uma pessoa pode ocupar-se de todas as fases do PCA, há poucos problemas quanto à coordenação. Porém, à medida que aumenta o tamanho da organização, participam do PCA pessoas de diferentes departamentos: médicos, engenheiros, higienistas industriais, supervisores de produção etc., e quando pessoas de diversas disciplinas se ocupam de diferentes aspectos do programa a coordenação se torna mais difícil a menos que um líder supervisione todo o PCA. A eleição dessa pessoa é crucial para o êxito do programa. Uma de suas principais qualificações deve ser o interesse autêntico pelo sucesso do PCA da empresa.

O líder tem de estar sempre acessível e interessado nos comentários ou queixas que possam contribuir para melhorar o PCA. Não deve adotar uma atitude distanciada dos demais, dirigindo o PCA mediante ordens escritas. Pelo contrário, deve visitar freqüentemente os locais de produção e todas as áreas onde o ruído for considerado elevado, a fim de relacionar-se com os trabalhadores expostos e estudar de que modo pode evitar ou resolver os problemas relacionados com o ruído.

7.4.4.2 Funções e comunicações

Os principais membros da equipe do PCA devem reunir-se regularmente para examinar os progressos do programa e assegurar-se de que todos cumpram suas obrigações. Uma vez que as pessoas encarregadas de diferentes tarefas compreendem de que forma suas próprias funções podem contribuir para o resultado global do programa, cooperam melhor para prevenir as perdas auditivas. O líder pode estabelecer essa comunicação e cooperação se a direção lhe delegar o poder necessário para tomar decisões relacionadas ao PCA e lhe fornecer os recursos necessários para colocar em prática as decisões tomadas. O êxito do PCA depende de todos, dos diretores até os funcionários menos qualificados; todos têm uma função importante. O papel da direção é principalmente respaldar o PCA e aplicar sua política como uma das fases do programa global de segurança e higiene da empresa. O trabalho dos chefes intermediários e dos supervisores é mais direto: contribuem para executar as cinco fases do PCA. O papel do trabalhador é participar ativamente do programa obedecendo a suas regras e motivar a si mesmo e aos outros a proteger sua audição contra qualquer tipo de ruído excessivo. Porém, para conseguir a participação dos trabalhadores, a direção e a equipe do PCA devem ser receptivas aos seus comentários e dar-lhes *feedback*.

7.4.4.3 Os protetores auditivos: eficazes e de utilização obrigatória

A política de proteção auditiva para o êxito do PCA tem de enfatizar duas diretrizes: a imposição de uso de protetores auditivos (deve existir uma obrigação real, não somente uma política no papel) e a disponibilidade de protetores eficazes durante o trabalho. Os protetores devem ser adequados e confortáveis para que os empregados os usem de maneira coerente e proporcionem uma atenuação acústica adequada sem atrapalhar a comunicação por um excesso de proteção.

7.4.4.4 Limitações das influências externas sobre PCA

Se as decisões tomadas em nível local em relação ao PCA são limitadas por políticas impostas pela administração central da empresa, talvez o líder necessite de ajuda da alta direção para obter exceções de normas corporativas externas a fim de satisfazer as necessidades locais. O

líder também deve manter um controle rígido sobre todo serviço prestado por assessores externos e contratados (como avaliação de ruído ou exames audiométricos). Quando se utilizam profissionais terceirizados, torna-se mais difícil a integração dos serviços do PCA, mas é crucial que se consiga essa integração, embora a experiência indique que é muito complicado estabelecer e manter um PCA eficaz que dependa principalmente de pessoas externas à empresa.

Nesses casos, o PCA pode ser ineficaz pelos seguintes motivos:

- a) comunicação e coordenação inadequadas entre os responsáveis pelo PCA;
- b) utilização de informação insuficiente ou errônea para tomar decisão;
- c) formação inadequada de pessoas responsáveis pela distribuição e pela adaptação de protetores auditivos;
- d) escolha inadequada dos protetores;
- e) treinamento inadequado sobre o uso de PA;
- f) excesso de dependência de fontes externas para realização dos serviços do PCA;
- g) não-utilização dos resultados do controle audiométrico para motivar os trabalhadores;
- h) não-utilização dos dados audiométricos para avaliar a eficácia do PCA.

7.4.4.5 Avaliação objetiva dos dados audiométricos

Os dados audiométricos da população exposta ao ruído proporcionam evidências de que o PCA está prevenindo as perdas auditivas no trabalho. Ao longo do tempo as alterações auditivas dos trabalhadores expostos ao ruído não devem ser maiores que as dos que operam equipamentos não ruidosos. Para obter uma primeira indicação da eficácia do PCA, devem-se desenvolver procedimentos para análise de bases de dados audiométricos utilizando a variação anual dos valores dos limiares da audição.

Como já citamos, o controle do ruído tem de ser realizado dentro dos Programas de Conservação Auditiva para que seja eficaz tanto na atenuação e/ou eliminação do ruído como no diagnóstico e na prevenção das perdas auditivas induzidas pelo ruído. Por sua vez, esse programa deve ser inserto nos sistemas de gestão de qualidade da empresa objetivando a melhoria contínua dos procedimentos de identificação, avaliação e controle dos ambientes ruidosos, dos procedimentos e exames médicos, e da gestão do próprio programa. Tratando dessa forma a questão do ruído industrial, espera-se conseguir ambientes de trabalho mais saudáveis que os

atuais e uma sensível diminuição das perdas auditivas induzidas pela exposição ao ruído ocupacional, dando ao trabalhador a segurança de que, na sua relação de emprego com a empresa, troca-se apenas o salário pelo serviço prestado, e que a sua saúde e o bem-estar não fazem parte dessa relação.

8 DISCUSÃO E CONCLUSÕES

O método de estimativa de exposições não contínuas ao ruído foi desenvolvido e analisado no Capítulo 5. Neste, teceremos alguns comentários sobre o seu uso e abrangência, e reservaremos mais espaço para as conclusões de sua aplicação sobre as duas categorias profissionais estudadas.

O método proposto cobre uma lacuna do conhecimento sobre a relação existente entre o ruído e as perdas auditivas induzidas pelo ruído (PAIRs), pois abrange também as exposições não contínuas. A inclusão das **exposições não contínuas** nessa relação faz-se por uma associação com as **exposições contínuas** utilizando como parâmetro a quantidade de energia sonora presente no ambiente de trabalho por um longo período. No caso da Construção Civil, de pelo menos cinco anos.

A idéia de associar exposições não contínuas às contínuas surgiu com WARD (1986). Todavia, na época, nenhuma formulação foi desenvolvida, pois, a nosso ver, faltaram-lhe a elaboração e a adoção de novos pressupostos aceitáveis que permitissem essa associação.

Esta tese baseia-se no princípio de igual energia. Embora haja questionamentos sobre a adoção exclusiva desse princípio para fins de estimativa de PAIR, mesmo quando se trata de exposições contínuas, normas internacionais como a BS 5330 (1976) e a ISO 1999 (1990) e vários estudos científicos atuais continuam sendo realizados com esse fundamento. Neste contexto a distribuição da energia sonora no tempo pode ser considerada irrelevante, desde que se contabilizem apenas níveis suficientes para causar danos à audição. Alguns trabalhos apontam para um nível mínimo próximo a 80 dB(A) nas altas frequências. Acima desse nível é possível calcular uma média da energia sonora em um ciclo de exposições não contínuas com duração de um dia, um mês, um ano, dez anos ou mais, a qual produzirá as mesmas perdas auditivas produzidas pelas exposições diárias a um nível sonoro constante em igual período (duração). A

duração do ciclo de exposição depende da categoria profissional estudada, isto é, do número de suas tarefas ruidosas e não ruidosas, da frequência e da duração de cada tarefa executada, e do número de condições acústicas encontrado nos ambientes de trabalho quando se executa cada tarefa.

O método proposto vale para qualquer população cuja atividade possa ser caracterizada por exposições não contínuas ao ruído, não podendo ser aplicado para estimar exposições individuais. Neste contexto ele é geral.

A estimativa da exposição não contínua ao ruído ocupacional de determinada população, conforme o método proposto, passa por três etapas sucessivas:

- a) coleta e tratamento de dados audiométricos. Desses dados são determinados os limiares auditivos da população estudada (H');
- b) estimativa das perdas auditivas de audição associadas à idade, H , segundo procedimento adotado na norma ISO 7029 (1984);
- c) cálculo do nível de exposição normalizado.

A interpretação do resultado do método é simples, pois é dado por um nível contínuo de exposição normalizada (NEN), amplamente conhecido na literatura, podendo ser diretamente confrontado com os limites de tolerância estabelecidos em normas internacionais.

Quanto à aplicação realizada no âmbito da Construção Civil, seus resultados mostraram que o método proposto de avaliação da exposição não contínua ao ruído ocupacional é coerente com os resultados de campo e pode ser uma ferramenta de decisão importante sobre:

- controle de riscos de PAIR ocupacional;
- concessão de benefícios das legislações celetista e previdenciária;
- diretrizes de pesquisas e investimentos relativos à saúde auditiva de trabalhadores.

Os dados de campo, por sua vez, revelaram que a exposição diária ao ruído dos trabalhadores da Construção Civil não pode ser considerada constante ou contínua. Mostraram também que nas atividades de ajudantes gerais e carpinteiros existem fontes ruidosas (máquinas e procedimentos) com risco de danos irreversíveis ao ouvido do trabalhador. Ficou também evidente que tarefas ruidosas são intercaladas com as não ruidosas e que os efeitos do ruído na audição dependem da frequência, da realização de tarefas ruidosas e do repouso auditivo decorrente de tarefas não ruidosas.

Embora existam condições de risco nessas duas categorias profissionais, tais condições devem ser estudadas separadamente já que as fontes de ruído e/ou as exposições são muito diferentes.

O risco de perdas auditivas pode ser desprezível, moderado ou relevante conforme a categoria estudada. Pode-se inferi-lo, como já exposto, por comparação do NEN calculado pelo método proposto com os limites de exposição permissíveis estabelecidos por normas nacionais e internacionais, considerando exposições diárias de oito horas. Esses valores expressam o nível de ação de 82 dB(A) e o limite de tolerância de 85 dB(A) para exposições contínuas ao ruído de forma que tal comparação nos permite decidir sobre a necessidade ou não de medidas de controle.

Explicam-se as perdas auditivas encontradas na categoria de ajudantes gerais pela existência de “repouso auditivo” devido à permutação de tarefas ruidosas e não ruidosas, sendo estas muito mais freqüentes e de maior duração que as ruidosas, e pelo NEN de 84 dB(A) calculado pelo método proposto. Desses resultados, conclui-se que os ajudantes gerais necessitam de algumas medidas preventivas e de um monitoramento do ruído para evitar que mudanças tecnológicas no processo produtivo possam contribuir com o aumento dos níveis de exposição atuais nos canteiros de obra.

Na categoria de carpinteiros o mesmo não ocorre. As PAIRs das últimas três faixas etárias são consideráveis. Foram estimadas entre 8 e 9 dB e são causadas pelo nível de exposição de 86 dB(A) calculado conforme o método proposto. Essas perdas, somadas àquelas associadas à idade e outros fatores, podem resultar em prejuízos auditivos capazes de influenciar a comunicação e em conseqüência a qualidade de vida dos trabalhadores dessa função. Nela, a exposição a altos níveis de ruído contínuo e de impactos causados pelo uso de martelos que, não raramente, ultrapassam o limite de tolerância e, às vezes, o valor teto, são as responsáveis pelas PAIRs encontradas neste estudo. Como outros, o estudo de THIERY e MEYER-BISCH (1988) mostrou que em locais onde, simultaneamente, haja ruído de impacto e ruído uniforme, as PAIRs são maiores que apenas para ruído uniforme. Daí se conclui que as medidas de controle de ruído que vêm sendo aplicadas nas tarefas executadas por carpinteiros são **insuficientes** para prevenir perdas significativas causadas pelo ruído.

É bom ressaltar que perdas significativas são as que implicam danos permanentes capazes de afetar a comunicação verbal depois de um longo período de exposição ao ruído

excessivo, razão pela qual novas medidas de controle têm de ser tomadas para garantir a integridade do órgão auditivo dos carpinteiros. Essas novas medidas devem reforçar as já existentes visando à redução do ruído na fonte sonora ou na sua trajetória. Na inviabilidade dessas medidas, deve-se implantar um programa de controle auditivo que envolva a especificação, a escolha e o uso correto de protetores auriculares concomitantemente ao controle médico e administrativo.

Antes que se possa adotar o novo método para aplicação geral é necessário realizar vários estudos de modo que a adoção do método proposto seja uma consequência da convergência dos resultados desses estudos à teoria de igual energia.

Para que se determinem a abrangência de aplicação e a eficácia do método proposto sugerem-se novas aplicações sobre categorias profissionais, dentro e fora da Construção Civil, cuja exposição ao ruído seja considerada não contínua.

Sugerem-se, também, estudos para compreensão de como o índice de duplicação de dose influencia o valor do nível de exposição normalizado decorrente desse tipo de exposição.

Outros estudos devem validar ou alterar a adoção do período de cinco anos de exposição como tempo mínimo para estimar as perdas induzidas pelo ruído devido à **exposição não contínua** de uma população.

Um trabalho multidisciplinar entre as áreas de Engenharia, Medicina e Fonoaudiologia poderia ser realizado visando o aperfeiçoamento do método proposto utilizando uma nova base de dados de limiares auditivos da população otologicamente normal brasileira.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, S. I. C. História natural da disacusia induzida por ruído industrial e implicações médico-legal. São Paulo, 1992. 151 p. /Dissertação-Mestrado-Otorrinolaringologia da Escola Paulista de Medicina/.
2. AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS Threshold limit values (TLVs) for chemical substances and physical agents and biological exposure indices (BELs). Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists. 1996.
3. AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE, INC. New York. ANSI S3.1; Criteria for Permissible Ambient Noise during Audio Metric Testing. New York, 1977. 7 p.
4. _____. New York. ANSI S1.25; Specification for personal noise dosimeters, New York, 1991. 13 p.
5. _____. New York. ANSI S3.6; American National Standard Specification for Audiometers. New York, 1969. 21 p.
6. AMERICAN SPEECH-LANGUAGE-HEARING ASSOCIATION TASK FORCE. On the definition of hearing handicap. ASHA 23:293-297. 1981.
7. ANIANSSON, G. Methods for assessing high frequency hearing loss in every-day listening situations. Acta Otolaryngol. (Suppl 320): 7-50. 1974.
8. ANUÁRIO RAIS, Brasília, Secretaria de Políticas e Emprego/MTb, 1990-1991.
9. ASTETE, M. G. M.; KITAMURA, S. Manual Prático de Avaliação do Barulho Industrial. São Paulo: FUNDACENTRO, 1978. 120 p.
10. ATHERLEY, G. R. C., MARTIN, A. M. Equivalent-continuous noise level as a measure of injury from impact and impulse noise. Ann.Occup.Hyg. 14:11-28. 1971.
11. ATHERLEY, G. R. C. Noise-induced hearing loss: the energy principle for recurrent impact noise and noise exposure close to the recommended limits. Ann.Occup.Hyg. 16:183-193. 1973.
12. BERGER, E. H. et al. (eds.) Noise Hearing Conservation Manual. 4. Ed. Akron, American Industrial Hygiene Association, 1986. p. 195.
13. BERANEK, L. L. Noise and Vibration Control. Washington: Institute of Noise Control Engineering, 1988. 671 p. 2 -21.
14. BOTSFORD, J. H. Simple method for identifying acceptable noise exposures. J. Acous. Soc. Am. 42(4):810-819. 1967.
15. BRASIL. Ministério do Trabalho. Portaria nº 3.214 de 8 de junho de 1978: Normas Regulamentadoras relativas a segurança e medicina do trabalho. In: Manual de Legislação Atlas de Segurança e Medicina do Trabalho, 33ª ed., São Paulo: Atlas, 1996. 523 p.

16. BRASIL. Ministério do Trabalho. Portaria nº 19 de 9 de abril de 1998. *In*: Revista CIPA. São Paulo: CIPA, ano XIX, nº 222, 1998.
17. BURNS, W., ROBINSON, D.W. Hearing and noise in industry. London: Her Majesty's Stationery Office. 1970.
18. CLARK, W. W., BOHNE, B. A. Animal model for the 4 kHz tonal dip. *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol.* 87 (Suppl 57) (No. 4, Part 2):1-16. 1978.
19. CONRAUX, C. Surdités professionnelles. *La Revue du Praticien*, 40(19):1762-5, 1990.
20. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Public health and welfare criteria for noise. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, EPA Report No. 550/9-73-002. 1973.
21. _____. Information on levels of environmental noise requisite to protect public health and welfare with an adequate margin of safety. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, EPA Report nº 550/9-74-004. 1974.
22. FUNDACENTRO, São Paulo. NHO/01. Avaliação da exposição ocupacional ao ruído. São Paulo, 1999. 37 p.
23. FRANCO, E. M. Características do Setor da Construção Civil. *In*: Uma análise do Posto de Mestre-de-obras. Florianópolis. Dissertação de Mestrado. EPS/UFSC, 1995. Disponível na Internet. [Http:// www.bu.sfsc.br/home](http://www.bu.sfsc.br/home) 98.html. 07/ dezembro/1999.
24. GERGES, S. N. Y. Ruído: fundamentos e controle. Florianópolis: CBSSI, 1992.
25. GLOBO. Coleção interativa Galileu em CD. 2001.
26. GLORIG, A., WARD, W. D., NIXON, J. Damage risk criteria and noise-induced hearing loss. *Archives of Otolaryngology* 74:413-423, 1961.
27. GUBERAN, E., FERNANDEZ, J., CARDINET, J., TERRIER, G. Hazardous exposure to industrial impact noise. *Ann. Occup. Hyg.* 14: 345-350. 1971.
28. HAMERIK, R. P., HENDERSON, D., SALVI, R. Potential for interaction of low-level impulse and continuous noise. Wright Patterson Air Force Base, OH: U.S. Air Force Aerospace Medical Research Laboratory, Report No. AFAMRL-TR-80-68. 1981.
29. HAMERIK, R. P.; HENDERSON, D.; CROSSLEY, J. J.; SALVI, R. J. Interaction of continuous and impulse noise: audiometric and histological effects. *J. Acoust. Soc. Am.* 55(1):117-121. 1974.
30. HENDERSON, D., HAMERIK R. P. Impulse noise: critical review. *J. Acoust. Soc. Am.* 80(2):569-584. 1986.
31. HENDERSON, D., SUBRAMANIAM, M., GRATTON, M.A., SAUNDERS, S.S. Impact noise: the importance of level, duration, and repetition rate. *J. Acoust. Soc. Am.* 89(3):1350-1357. 1991.
32. HÉTU, R., DUMONT, L., LEGARE, D. TTS at 4 kHz among school-age children following continuous exposure to a broadband noise. *J. Acoust. Soc. Am.* 62, suppl. 1, 596. 1977.
33. INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, Genève. IEC 651; Sound Level Meters. Genève, 1993. 53 p.
34. _____. Genève. IEC 804; Integrating-averaging sound level meters. Genève, 1985, 48 p.
35. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Genève. ISO 1996-1; Acoustics - Description and measurement of environment noise - Part 2: Acquisition of data pertinent to land use, Genève, 1982. 7 p.

36. _____, Genève. ISO 1999; Acoustics - Assessment of occupational noise exposure for hearing conservation purposes. 1 st ed. Geneva, Switzerland: Reference No. ISO/R 1999. 1971 (E).
37. _____, Genève. ISO 8253-1; Acoustics – Audiometric test method – Part 1 - Basic pure tone. 1 st ed. Genève, 1989.
38. _____, Genève. ISO 1999; Acoustics - Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment. Genève, 1990. 17 p.
39. _____, Genève. ISO 2204; Acoustic - Guide to International Standards on the measurement of airborne acoustical noise and evaluation of its effects on human being. Genève, 1979. 7 p.
40. _____, Genève. ISO 7029; Acoustics - Threshold of hearing by air conduction as a function of age and sex for atologically normal persons. Genève, 1984, 8 p.
41. _____, Genève. ISO 1683; Acoustics - Preferred reference quantities for acoustic levels. Genève, 1983. 2 p.
42. _____, Genève. ISO 389; Acoustics - Standard reference zero for the calibration for pure-tone air conduction audiometers. Genève, 1989. 6 p.
43. INTERSOCIETY COMMITTEE. Guidelines for noise exposure control. J. Occup. Med. 12(1): 276-281. 1970.
44. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Estatísticas da Construção Civil. Suplemento Internet: www.ibge.gov.br (Data de acesso: 18/julho/2000).
45. _____. Pesquisa mensal de emprego, julho de 2000. Suplemento Internet: <http://www.ibge.gov.br/estatistica/indicadores> (Data de acesso: 18/agosto/2000).
46. JOHANSSON, B, KYLIN, B., REOPSTORFF, S. Evaluation of the hearing damage risk from intermittent noise according to the ISO recommendations. In: Proceedings of the International Congress on Noise as a Public Health Problem, Dubrovnik, Yugoslavia. Washington, DC: U.S Environmental Protection Agency, EPA Report No. 550/9-73-008. 1973.
47. JUNIOR, M. F. Perda Auditiva Induzida por Ruído: Bom Senso e Concenso. São Paulo: VK. 1998. pp. 61-78.
48. KRYTER K. D., WARD W. D., MILLER J. D., ELDREDGE, D. H. Hazardous exposure to intermittent and steady-state noise. J. Acous. Soc. Am. 39:451-464. 1966.
49. LACERDA, A. P. Audiologia Clínica. São Paulo: Guanabara Koogan, 1976. p. 195.
50. LEMPERT, L. ISO estimations of noise-induced hearing impairment. J. Acoust Soc. Am., vol. 90, nº 4, out. 1991.
51. INTERSOCIETY COMMITTEE. Guidelines for noise exposure control. J. Occup. Med. 12(1):276-281. 1970.
52. MAIA, P. A. O ruído nas obras da construção civil e o risco de surdez ocupacional. Campinas, 1999. 152 p. /Dissertação-Mestrado-Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas/.
53. MATOS, M. P., MORATA, T. C., SANTOS, U. P., OKAMOTO, V. A. Ruído: Riscos e Prevenção. São Paulo: Editora Hucitex, 1994. 157 p.
54. MENDES, R. Medicina do trabalho: doenças profissionais. São Paulo: Sarvier, 1980. pp. 415-36.
55. MINE SAFETY APPLIANCES COMPANY. MSA Sound Measuring Equipment. Pittsburgh: MSA. 1978. p. 52.

56. MORATA, C. M. (1997). Perda auditiva induzida e a exposição ocupacional a agentes químicos. In NUDELMANN et al. Perda auditiva induzida pelo ruído. Porto Alegre: Bagagem Comunicação Ltda. 1997. pp. 189-203.
57. NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (NIOSH). Criteria for a recommended standard: occupational exposure to noise. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Health Services and Mental Health Administration. Publication No. HSM 73-11001. 1972.
58. _____. Occupational exposure sampling strategy manual. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, DHEW (NIOSH) Publication No. 77-173. 1977.
59. _____. Criteria for a recommended standard: occupational noise exposure. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Health Services and Mental Health Administration. DHHS Publication No. 98-126. 1998.
60. NEITZEL, R. Noise Exposure Standards Page. Disponível na internet <http://staff.washington.edu/rneitzel/index.htm>. 23 de setembro de 1999.
61. NEPOMUCENO, L. X. ACÚSTICA. São Paulo: Edgard Blücher, 1977. 188 p.
62. NILSSON, R., LIDÉN G., SANDÉN, A. Noise exposure and hearing impairment in the shipbuilding industry. Scand Audiol 6:59-68. 1977.
63. OLIVEIRA, J. A. A. Fisiologia Clínica da Audição – Cóclea Ativa. In: NUDELMANN et al. Perda Auditiva Induzida pelo Ruído. Porto Alegre: Bagagem Comunicação, 1997. pp. 101-21.
64. PASSCHIER-VERMEER, W. Steady-state and fluctuating noise: its effects on the hearing of people. In: ROBINSON, D. W (ed.). Occupational hearing loss. New York: Academic Press. 1971.
65. _____. Noise-induced hearing loss from exposure to intermittent and varying noise. In: Proceedings of the International Congress on Noise as a Public Health Problem, Dubrovnik, Yugoslavia. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, EPA Report No. 550/9-73-008. 1973.
66. PEKKARINEN, J. Exposure to impulse noise, hearing protection and combined risk factors in the development of sensory neural hearing loss. Kuopio, Finland: University of Kuopio. 1989.
67. PHANEUF, R., HÉTU, R. An epidemiological perspective of the causes of hearing loss among industrial workers. The journal of Otolaryngology 19:1, 1990. pp. 31-40.
68. PHANEUF, R., HÉTU, R., HANLEY, J. A. A bayesian approach for predicting jugged hearing disability. American Journal of Industrial Medicine 7:343-352 (1985).
69. PRINCE M. M., STAYNER L. T., SMITH R. J., GILBERT S. J. A re-examination of risk estimates from the NIOSH Occupational Noise and Hearing Survey (ONHS). J. Acous. Soc. Am. 101(2):950-963. 1997.
70. QUEST TECHNOLOGIES. Instruction for Q-400 and Q-500 Noise Dosimeters. 1997.
71. _____. Instructions for 1900 and 2900 integrating and logging sound level meter. Rev. E. 1997.
72. RAMAZZINI, B. As doenças dos trabalhadores. Trad. FUNDACENTRO, São Paulo, 1988, p. 180. (Tradução de: *De Morbis Artificum Diatriba*)

73. ROBINSON, D. W. The relationships between hearing loss and noise exposure. Teddington, United Kingdom: National Physical Laboratory, NPL Aero Report Ac 32. 1968.
74. ROBINSON, D. W. Estimating the risk of hearing loss due to continuous noise. In: ROBINSON, D. W. (ed). Occupational hearing loss. Academic Press, Londres. 1971. p. 43-62.
75. ROBINSON, D. W. Threshold of hearing as a function of age and sex for the typical unscreened population. British Journal. Audiology, 1988. 22, 5-20.
76. ROYSTER, L. H., ROYSTER, J. D., THOMAS N.G. Representative Hearing Levels by Race and Sex in North Carolina Industry. J. Acoust. Soc. Am. 68, 551-566. 1980.
77. _____. Hearing Conservation programmes. In: Encyclopaedia of Occupational Health and Safety. 4 ed. Geneva: International Labour Office, 1998. V.2, p. 47.12.
78. RUSSO, I. C. P. Acústica e psicoacústica aplicadas à fonoaudiologia. São Paulo: Lovise, 1993. pp. 162-3.
79. SANTOS, U. P. Programa de Conservação Auditiva em trabalhadores expostos a ruído. Rev. Bras. de Saúde Ocupacional. 17(67): 7-17, jul./ago. de 1989.
80. SATALOFF, J., VASSALLO, L., MENDUKE, H. Hearing loss from exposure to interrupted noise. Arch Environ Health 18:972-981. 1969.
81. SEIXAS, N., NEITZEL, R., CAMP, J., YOST, M. An Assessment of Occupational Noise Exposure in For Construction Trades. University of Washington. Department of Environmental Health. Washington. July 9, 1998. 49 p.
82. SENFF, C. E., PANTAROLLI, M.A. Óbitos na Construção Civil. Curitiba, 1997. 109 p. / Monografia - Especialização - Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná/.
83. SERVIÇO SOCIAL DA INDÚSTRIA (SESI). Departamento Nacional. Diagnóstico da Mão-de-Obra do Setor da Construção Civil. Brasília: SESI, 1991a. 212 p.
84. _____. Condições de Segurança do Trabalho em Canteiros de Obra. Revista CIPA. São Paulo: CIPA, ano XV, nº 177, 1994.
85. _____. Projeto SESI na Construção Civil. Operação de Serviços em Canteiros de Obra
86. SERVIÇO SOCIAL DA INDÚSTRIA (SESI). Departamento Nacional. SESI 1991b. 269 p.
87. SHAW, E. A. G. Occupational noise exposure and noise-induced hearing loss: scientific issues, technical arguments and practical recommendations, APS 707. Report prepared for the Special Advisory Committee on the Ontario Noise Regulation. NRCC/CNRC No. 25051. National Research Council, Ottawa, Ontario, Canada. 1985.
88. STARCK, J., PEKKARINEN, J. Industrial impulse noise: crest factor as an additional parameter in exposure measurements. Appl. Acous. 20:263-274. 1987.
89. STARCK, J., PEKKARINEN, J., PYYKKÖ, I. Impulse noise and hand-arm vibration in relation to sensory neural hearing loss. Scand J Work Environ Health 14:265-271. 1988.
90. STEPHENSON, M. R., NIXON, C. W., JOHNSON, D. L. Identification of the minimum noise level capable of producing an asymptotic temporary threshold shift. Aviat Space Environ. Med. 51(4):391-396. 1980.
91. SULKOWSKI, W. J., LIPOWCZAN, A. Impulse noise-induced hearing loss in drop forge operators and the energy concept. Noise Control Eng 18:24-29. 1982.
92. TAYLOR, W., LEMPERT, B., HEMSTOCH, I., KERSHAW, J. Noise levels and hearing thresholds in the drop forging industry. J. Acoust. Soc. Am., 76(3), September de 1984. pp. 807-19.

93. THIERY, L., MEYER-BISCH, C. Hearing loss due partly impulsive industrial noise exposure at levels between 87 and 90 dB(A). *J. Acoust. Soc. Am.*, Vandoeuvre, v. 84 No. 2, Ago.1988. p. 651-8.
94. THIESSEN, G. J. Hearing distribution in a population that has suffered hearing loss. *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 61, No. 3, March 1977.
95. TRÉMOLIÈRES, C., HÉTU, R. A multi-parametric study of impact of noise-induced TTS. *J. Acoust. Soc. Am.* 68(6), Dez. 1980. pp. 1652-9.
96. VOIGT, P., GODENHIELM B., OSTLUND, E. Impulse noise-measurement and assessment of the risk of noise induced hearing loss. *Scand Audiol Suppl* 12:319-325. 1980.
97. WARD W. D., TURNER C. W. The total energy concept as a unifying approach to the prediction of noise trauma and its application to exposure criteria. In: Hamerik RP, Henderson D, Salvi R, (eds). *New perspectives on noise-induced hearing loss*. New York: Raven Press. 1982.
98. WARD, W. D. Proposed damage-risk criterion for impulse noise (gunfire) (U). Washington, DC: National Academy of Sciences, National Research Council Committee on Hearing, Bioacoustics, and Biomechanics. 1968.
99. _____.Temporary threshold shift and damage-risk criteria for intermittent noise exposures. *J Acoust. Soc. Am.* 48:561-574. 1970.
100. _____. Auditory effects of noise. In: BERGER, E. H. *Noise Hearing Conservation Manual*. 4. Ed. Akron, American Industrial Hygiene Association, Cap. 5, 1986 a. pp. 177-217.

ANEXOS

ANEXO A. Relação entre o incremento de duplicação de dose (IDD) e a energia

Em acústica, a notação decibel é utilizada para a maioria das quantidades. Decibel é uma unidade adimensional baseada no logaritmo da relação entre uma quantidade medida e uma quantidade de referência. Assim, os decibéis são definidos como segue:

$$N = k \log_{10} (A/B)$$

onde N é o nível em decibéis, A e B são quantidades de mesma unidade e k é um multiplicador, 10 ou 20, dependendo se A e B são medidas de energia ou pressão, respectivamente. Em acústica todos os níveis se referem a alguma quantidade de referência, que é o denominador, B, na equação apresentada.

Aplicando essa relação matemática nos cálculos seguintes, demonstra-se como uma duplicação de energia resulta em um aumento de 3 dB:

Seja X = incremento de duplicação de dose por meio do qual a energia (A/B) é duplicada:

$$10 \log_{10} (A/B) + X = 10 \log_{10} (2 A/B)$$

$$X = 10 \log_{10} (2 A/B) - 10 \log_{10} (A/B)$$

$$X = 10 \log_{10} (2)$$

$$X = 10 (0,301)$$

$$X = 3,01 \text{ dB}$$

Como se vê, essa mesma relação não é verdadeira para o incremento de duplicação de dose de 5 dB. Para produzir um X = 5 dB, a relação de intensidade sonora, nesta equação, teria de ser maior que 2.

ANEXO B. Dados e resultados dos audiogramas

B1. Perdas audivas referenciais

Nº do Audiograma	Idade	Zero de Calibração Melhor Ouvido						
		250	500	1000	2000	3000	4000	6000
1	15	15	10	10	5	15	20	10
2	18	5	5	10	10	10	10	10
3	18	5	5	5	0	10	0	0
4	18	5	5	10	10	10	10	10
5	18	15	10	5	10	5	15	10
6	18	10	10	20	20	10	10	20
7	18	15	10	10	15	20	5	10
8	18	10	10	10	10	15	10	10
9	18	10	10	10	0	5	0	15
10	18	10	5	5	10	10	10	10
11	18	10	10	5	10	10	5	5
12	18	10	10	5	0	15	10	5
13	19	10	10	10	10	20	15	10
14	19	10	10	5	5	5	10	10
15	19	5	10	15	15	10	10	20
16	19	20	20	20	20	20	20	15
17	19	10	15	15	25	30	25	25
18	19	10	10	15	20	30	40	40
19	19	5	5	5	0	0	10	25
20	19	5	5	0	0	10	20	25
21	19	10	5	10	10	5	10	40
22	19	10	5	5	15	15	15	15
23	19	10	10	20	25	15	5	10
24	19	10	15	15	0	5	15	20
25	19	15	20	15	15	15	5	5
26	19	10	10	10	10	15	20	15
27	19	10	5	10	20	10	5	5
28	19	15	10	15	15	15	0	0
29	19	10	10	5	0	15	5	5
30	19	10	10	10	10	10	10	15
31	19	10	5	5	5	15	5	25
32	19	20	0	10	10	15	10	0
33	19	15	15	15	10	15	20	15
34	19	10	20	20	20	20	15	10
35	19	10	10	10	15	15	10	5
36	19	13	10	10	0	-5	0	0
37	19	14	10	5	0	15	15	45
38	19	10	5	5	0	10	10	5
39	19	5	5	5	10	10	-0	5
40	19	10	10	15	15	10	20	5
41	19	20	10	10	0	10	10	20
42	19	10	10	10	0	5	5	10
43	20	0	0	0	-10	10	20	30
44	20	10	5	5	10	5	10	10
45	20	10	5	10	10	20	10	10
56	20	10	10	0	5	20	10	0
47	20	5	10	10	0	0	10	5

B1. Perdas auditivas referenciais (continuação)

		Zero da Calibração Melhor Ouvido						
Nº do udiograma	Idade	250	500	1000	2000	3000	4000	6000
48	20	10	10	15	15	15	10	15
49	20	5	5	10	5	5	10	30
50	20	10	10	10	10	10	20	15
51	20	10	5	10	10	10	20	10
52	20	15	5	15	20	15	15	20
53	20	5	5	10	10	10	15	0
54	20	10	10	10	10	20	20	20
55	20	10	10	15	15	15	15	10
56	20	10	10	15	10	10	15	0
57	20	15	15	15	15	10	20	20
58	20	5	5	10	0	5	0	0
59	20	10	10	10	20	15	10	10
60	20	10	10	0	10	10	10	0
61	20	15	10	15	15	20	10	5
62	20	20	10	10	10	20	10	20
63	20	15	10	10	10	15	10	15
64	20	10	10	10	10	10	5	5
65	20	15	10	10	15	20	15	10
66	20	5	5	0	10	5	0	10
67	20	20	20	10	10	10	20	10
68	20	5	10	10	0	5	10	10
69	20	10	20	10	10	10	10	10
70	20	15	15	20	15	15	15	15
71	20	10	10	10	10	20	10	0
72	20	10	5	5	0	5	0	5
73	20	10	10	20	30	25	30	20
74	20	5	10	5	5	10	15	20
75	20	10	10	15	10	10	10	15
76	20	10	5	5	20	15	10	10
77	20	9	15	15	19	9	5	5
78	20	15	10	5	5	19	5	5
79	20	10	10	5	0	5	0	5
80	20	15	15	10	10	10	20	15
81	20	10	10	10	5	10	10	10
82	20	15	10	10	15	20	10	5
83	20	20	10	5	5	10	15	10
84	20	15	15	10	10	20	15	10
85	20	10	15	10	10	10	10	0
86	20	20	10	10	10	20	40	10
87	20	10	10	10	15	20	20	10
88	20	10	10	20	20	15	10	10
89	20	10	10	10	10	10	10	5
90	20	5	10	5	10	15	20	15
91	20	10	10	10	10	30	20	20
Idade Média	19,4							
Nível Auditivo Mediano Calculado		10	10	10	10	10	10	10
Nível Auditivo Mediano Idealizado		10	10	10	10	10	10	10

B2. Limiares auditivos dos ajudantes gerais

Categoria: Ajudante Geral			Limiar Auditivo Melhor Ouvido						
No. do Audiograma	Idade	Tempo de Exposição	250	500	1000	2000	3000	4000	6000
1	18	0,3	10	10	10	10	20	20	20
2	18	0,3	0	5	0	10	15	20	15
3	19	1,75	10	20	10	10	10	10	10
4	19	4	5	10	5	5	10	15	15
5	20	1	10	10	10	20	20	20	20
6	20	2	10	5	5	5	0	5	10
7	20	0,9	5	20	20	20	15	20	20
8	20	0,75	5	0	0	10	15	10	10
9	20	2	10	5	10	5	5	10	20
10	21	1	15	10	5	5	0	5	10
11	21	3	10	10	5	5	15	20	25
12	21	1,4	5	10	15	5	15	20	15
13	21	7	5	5	10	0	10	10	10
14	21	1,4	15	15	10	15	20	20	15
15	21	4	15	10	5	10	20	20	25
16	22	1,6	10	10	5	5	10	10	10
17	22	0,5	10	10	0	10	10	0	10
18	22	4	15	10	10	15	25	10	15
19	22	1,9	5	5	5	15	20	25	25
20	22	2	10	15	5	5	10	15	10
21	22	3,3	5	5	5	5	15	5	10
22	23	1,3	5	10	5	10	10	0	15
23	23	0,2	10	15	20	20	10	10	5
24	23	1	5	5	5	10	10	10	10
25	23	5	5	10	15	20	25	20	25
26	23	2	10	15	20	20	20	10	15
27	23	2	5	10	15	5	10	10	5
28	23	3	15	10	5	5	5	20	15
29	23	4	10	15	20	15	15	10	10
30	24	5	10	10	5	10	10	25	25
31	24	0,8	10	10	10	0	15	5	10
32	24	0,4	10	20	10	10	10	10	10
33	24	6	15	5	5	0	10	30	25
Média	21,6	2,3	10	10	5	10	10	10	15
Nível Auditivo Mediano Calculado			10	10	10	10	10	12,5	15
Nível Auditivo Mediano Idealizado			10,0	10,0	10,1	10,1	10,1	12,5	11,0

B2. Limiares auditivos dos ajudantes gerais (continuação)

Categoria: Ajudante Geral			Limiar Auditivo Melhor Ouvido						
Nº do Audiograma	Idade	Tempo de Exposição	250	500	1000	2000	3000	4000	6000
1	25	0,5	5	10	5	10	20	20	25
2	25	7	10	10	10	20	20	15	20
3	25	1,7	10	5	10	5	10	0	15
4	25	3	20	10	10	10	20	20	20
5	25	3	10	15	10	5	20	15	10
6	25	3	10	10	10	10	5	5	20
7	25	3,5	5	5	10	10	15	5	10
8	26	7	10	10	10	10	10	10	20
9	26	2	15	10	10	10	10	15	20
10	26	6	10	10	10	0	10	20	20
11	27	0,9	15	5	10	10	10	10	25
12	27	5	10	10	10	15	10	10	20
13	27	8	0	5	-5	0	0	10	10
14	28	1,2	10	5	5	20	15	15	10
15	28	3	10	10	10	15	5	15	10
Média	26,0	3,8							
Nível Auditivo Mediano Calculado			10	10	10	10	10	13,5	20
Nível Auditivo Mediano Idealizado			10,2	10,2	10,3	10,4	10,7	13,5	12,5
1	30	10	10	5	15	10	15	25	20
2	30	10	10	10	5	0	0	0	10
3	31	3	10	15	10	10	15	10	15
4	32	10	5	10	-10	5	10	25	25
5	32	2	5	10	10	10	10	10	10
6	32	0,6	10	5	0	10	10	10	25
7	32	11	5	5	5	5	20	10	20
8	32	14	10	15	10	5	10	15	25
9	34	9	10	10	15	15	15	10	15
10	35	5	0	10	10	10	15	10	20
11	35	8	20	10	10	10	10	20	10
12	37	7	5	10	15	5	20	35	25
Média	32,7	7,2							
Nível Auditivo Mediano Calculado			10	10	10	10	12,5	10	20
Nível Auditivo Mediano Idealizado			10,6	10,8	10,9	11,5	12,5	17,5	16,5

B2.1 Demonstrativo de cálculo das PAIRs dos ajudantes gerais

Categoria: Ajudante **Geral**

PERDAS TOTAIS	250	500	1000	2000	3000	4000	6000
FE=18-24; IM=21,6; EM=2,3	10,0	10,0	10,1	10,1	11,1	12,5	11,0
FE=25-29; IM=26,0; EM=3,8	10,2	10,2	10,3	10,4	10,7	13,5	12,5
FE=30-39; IM=32,7; EM=7,2	10,6	10,8	10,9	11,5	12,5	17,5	16,5

PERDAS REFERENCIAIS EM dB(A)

	250	500	1000	2000	3000	4000	6000
	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0

PERDAS POR IDADE EM dB(A)

	250	500	1000	2000	3000	4000	6000
FE=18-24; IM=21,6; EM=2,3	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
FE=25-29; IM=26,0; EM=3,8	0,2	0,2	0,3	0,4	0,7	1,0	1,2
FE=30-39; IM=32,7; EM=7,2	0,6	0,8	0,9	1,5	2,5	3,4	3,9

PERDAS TOTAIS - PERDAS REFERENCIAIS EM dB(A)

	250	500	1000	2000	3000	4000	6000
FE=18-24; IM=21,6; EM=2,3	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	2,5	1,0
FE=25-29; IM=26,0; EM=3,8	0,2	0,2	0,3	0,4	0,7	3,5	2,5
FE=30-39; IM=32,7; EM=7,2	0,6	0,8	0,9	1,5	2,5	7,5	6,5

PAIR = PERDAS TOTAIS - PERDAS REFERENCIAIS - PERDAS POR IDADE EM dB(A)

	250	500	1000	2000	3000	4000	6000
FE=18-24; IM=21,6; EM=2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,8
FE=25-29; IM=26,0; EM=3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	1,3
FE=30-39; IM=32,7; EM=7,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	2,6

B2.1. Demonstrativo de cálculo das PAIRs dos ajudantes gerais (continuação)

Função: Ajudante Geral

PERDAS POR EXPOSIÇÃO A 84 dB(A)

	250	500	1000	2000	3000	4000	6000
FE=18-24; IM=21,6; EM=2,3	0,0	0,00	0,00	0,17	1,20	2,02	1,05
FE=25-29; IM=26,0; EM=3,8	0,0	0,00	0,00	0,22	1,57	2,65	1,38
FE=30-39; IM=32,7; EM=7,2	0,0	0,00	0,00	0,29	2,11	3,55	1,85

PERDAS TOTAIS - PERDAS REFERENCIAIS - PERDAS POR IDADE - PERDAS POR EXPOSIÇÃO A 84 dB(A)

	250	500	1000	2000	3000	4000	6000
FE=18-24; IM=21,6; EM=2,3	0,0	0,0	0,0	-0,2	-1,2	0,3	-0,3
FE=25-29; IM=26,0; EM=3,8	0,0	0,0	0,0	-0,2	-1,6	-0,2	-0,1
FE=30-39; IM=32,7; EM=7,2	0,0	0,0	0,0	-0,3	-2,1	0,6	0,8

onde: FE = Faixa etária
IM = Idade média
EM = Exposição média

B3. Limiares auditivos dos carpinteiros

Função: Carpinteiro					Limiar Auditivo Melhor Ouvido							
Empresa	Idade	T. Const.	T. Funç.	Outras Funções	250	500	1000	2000	3000	4000	6000	8000
Tecmo	28	11	11		10	10	0	10	10	15	10	0
Suarez	24	6	3	Ajud. (2); Pedreiro (1)	15	10	10	5	10	10	25	15
Flexicom	21	3,5	3,5	Ajud. (1,5)	10	5	5	-5	0	10	30	10
Constran	24	6	6		10	15	20	0	65	50	15	0
CBE	26	5	5	Ajud. (2)	10	10	5	10	5	25	20	10
Constran	29	11	11	Ajud. (0,5)	5	5	0	0	0	5	5	0
Flexicom	21	2	2		5	10	5	10	10	10	15	5
Constran	23	6	6	Ajud. (2)	10	10	18	10	18	18	12	2
Constran	29	12	7	Pedreiro (5)	9	6	9	15	15	15	30	20
Basile	26	3	3	Ajud. (2,2)	20	15	10	5	15	15	15	5
Metodo	29	15	15		20	15	15	15	15	60	35	25
BKO	26	5,3	3	Serviço geral (2,5)	5	5	5	5	15	5	5	0
Constran	27	8	8		10	10	5	5	10	15	20	5
Berno	28	3	3		10	10	15	5	15	20	15	5
Ikal	26	8	8		20	20	25	20	20	30	20	15
BKO	28	8	8		10	10	10	5	10	15	15	5
Bogner	28	10	10		10	15	15	35	30	60	35	10
Flexicom	20	2	2	Ajud. (1,5)	10	10	5	5	10	5	10	5
Constran	22	4	3,6	Ajud. de pedreiro (0,4)	0	5	5	5	0	15	5	5
PBK	21	3	3	Ajud. (1)	10	10	5	0	15	10	10	0
Basile	29	4	4	Ajud. (0,5)	5	5	10	15	10	20	5	0
Sintec	24	6	6		10	5	5	15	35	20	15	5
Isfel	24	5	5	Servente (1)	15	10	10	20	20	30	35	25
Constran	24	4	4	Ajud. (2)	12	11	3	3	16	7	11	2
Gafisa	25	5	5		15	15	15	10	10	20	20	10
PPR	29	9	9	Ajud. (5)	15	5	5	5	5	5	10	0
Francon	28	4	3	Ajud. (0,4); Guincho (0,6)	5	10	15	10	25	30	35	20
Constran	26	10	10	Ajud. (2)	10	10	10	0	0	0	10	0
Constran	27	9	9	Ajud. (0,75)	8	8	2	2	8	8	12	3
Ikal	25	6	4	Ajud. (4)	10	5	5	10	0	15	10	5
Constran	29	7	7	Ajud. (2)	17	10	15	5	10	15	15	10
Constran	27	10	10	Ajud. (1)	8	8	10	5	5	30	30	0
Flexicom	26	7	1	Servente (0,6); Pedreiro (6)	10	10	0	5	5	15	15	5
Sintec	29	10	10		10	5	10	10	20	10	25	15
Cnstrucap	29	10	9	Ajud. de pedreiro (1)	10	10	10	15	10	30	20	0
Flexicom	25	15	14,2	Reforma (0,3); Pintura (0,5)	20	15	10	10	20	15	15	20
Rossi	24	6	5	Ajud. de pedreiro (1)	10	10	15	20	20	5	15	10
Isfel	29	7	4	Pedreiro (1) Ajud. (2)	10	15	10	0	30	30	20	0
Rossi	27	8	7	Ajud. (1)	25	15	10	5	15	30	35	15
Constran	28	5	3	Ajud. (2)	8	10	11	10	15	5	6	5

B3. Limiares auditivos dos carpinteiros (continuação)

Função: Carpinteiro					Limiar Auditivo Melhor Ouvido							
Empresa	Idade	T.Const	T. func	Outras Funções	250	500	1000	2000	3000	4000	6000	8000
Suarez	27	5	3,5	Ajud. (1,5)	5	10	5	5	0	10	5	0
Zaidan	25	9	9		10	10	5	5	10	0	10	0
Suares	22	2,6	1,1	Ajud. (1,5)	7	7	5	5	9	14	17	4
Constran	29	7	5	Servente (2)	10	6	10	10	20	15	10	0
Beter	26	15	15		0	5	10	10	5	15	20	20
Constran	28	10	5	Ajud. (5)	5	5	5	10	30	10	15	5
Constran	29	11	9,1	Ajud. (1,2); Faxin. (0,2); Porteiro (1,7)	10	15	15	10	10	15	20	10
Constran	23	6	6		10	10	10	10	15	10	10	10
Constran	23	4	4	Oper. Mâq. (0,7)	5	5	15	15	10	10	20	5
Solubras	29	6	4	Ajud. (0,5); Aux. almox. (1,5)	10	5	5	5	10	0	5	10
Camarota	24	3,5	3,5		5	5	10	10	15	15	20	15
Basile	26	3	3		20	15	10	5	15	15	15	5
Exata	29	10	6	Ajud. (4)	5	5	15	10	15	20	15	10
Compencil	28	9	7	Ajud. (1); Pedreiro (1)	5	5	10	10	25	60	25	15
Método	24	4	3	Ajud. (1)	10	15	20	25	10	5	5	5
Gafisa	23	3	1	Ajud. (2)	5	0	5	5	5	5	20	5
Constran	25	8	4	Pedreiro (4)	7	2	3	2	15	20	16	1
Beter	29	10	8,5	Ajud. (1,5)	10	5	5	0	25	45	20	10
Constran	28	10	10		10	15	15	10	15	10	5	0
Média	26,0	7,0	5,9	Nível Auditivo Mediano Real =>	10	10	10	10	15	15	15	5
				Nível Auditivo Mediano Esperado =>	10	10	10	10	12,5	15	15	5
Beter	31	9	4,8	Pedreiro (3)	10	5	10	10	5	15	15	0
Exata	34	18	16,5	Ajud. de pedreiro (1,5)	20	20	10	10	10	20	20	10
Lider	32	8	8	Ajud. (5)	10	10	10	15	20	15	15	10
Itambé	37	20	19	Pedreiro (1); Ajud. (2)	10	5	10	10	35	55	30	10
Suarez	37	12	12	Ajud. (2)	5	5	10	5	10	25	20	10
Beter	30	10	10	Ajud. (1)	10	15	20	15	10	10	20	5
BKO	35	15	15		10	10	15	20	25	25	20	5
Constran	31	13	12,5	Ajud. (0,5)	2	-2	2	2	12	2	2	-2
Método	38	17	17		5	10	15	10	15	35	25	15
Flexicom	33	10	10		10	10	10	15	15	30	45	10
Gomes Lourenço	31	1,5	1,5		11	11	19	11	8	22	22	11
Suarez	32	6	6	Ajud. (0,3)	15	15	10	10	10	35	25	20
Ikal	31	11	11	Ajud. (2)	5	10	10	20	15	30	5	10
Constran	39	19	19	Ajud. (3)	5	10	0	5	5	10	10	0
PPR	37	20	19,4	Pintor (0,6)	10	5	5	0	10	25	30	5
Supermix	37	17	17		10	10	10	5	5	20	20	10
EBM	34	10	10		10	10	10	15	20	20	15	5
Berno	35	17	17	Ajud. (1,5)	5	10	15	10	5	50	30	10

B3. Limiares auditivos dos carpinteiros (continuação)

Função: Carpinteiro					Limiar Auditivo Melhor Ouvido							
Empresa	Idade	T.Const	T. funç.	Outras Funções	250	500	1000	2000	3000	4000	6000	8000
Guasa	37	4	4		10	10	5	5	5	20	15	0
Suarez	35	15	15	Ajud. (5)	5	5	0	5	30	30	15	5
Bermo	31	15	15	Ajud. (2)	10	5	10	15	35	35	30	25
SIDE	37	2	2		10	15	10	15	20	50	55	25
SIDE	37	2	2		5	10	5	15	20	40	50	25
Exata	32	16	16	Ajud. (4)	15	10	10	15	20	15	15	10
Flexicom	33	14	14		5	0	15	15	20	15	25	15
Método	35	12	12		10	10	15	15	25	35	25	10
Comprecil	33	10	10	Ajud. (0,6)	10	15	5	0	10	15	10	5
Método	34	13	13	Ajud. (2)	15	15	10	20	35	55	25	20
CostaHirota	35	15	15	Ajud. (6)	5	10	10	10	15	30	25	10
Basile	34	10	10		5	5	10	10	10	20	30	15
C. Ikal	34	12	12		5	5	15	10	10	15	10	0
CBE	31	11	11	Ajud. (0,25)	5	10	10	5	15	10	20	5
BKO	36	12	12	Ajud. (2)	15	10	20	15	15	30	20	5
Erevan	36	12	12		10	5	10	5	15	30	25	20
Constran	33	15	15		10	10	15	10	15	10	20	10
Camarota	30	8	8	Ajud. (0,9)	10	5	5	5	10	15	10	10
Cnstrucap	34	8	8		10	5	5	5	10	10	15	5
Camarota	32	5	5	ajud (2)	10	10	15	5	15	45	40	25
Zeni reis	37	13	13		15	10	10	10	10	25	25	10
Gomes Lourenço	35	6	6		20	20	10	15	10	30	40	35
Constran	39	16	14	Pedreiro (2)	15	10	20	20	20	35	30	25
Isfel	31	10	10		0	5	5	5	10	15	20	5
Constran	32	10	10	Ajud. (2,5)	5	5	10	15	20	10	5	0
Constran	30	10	10	Ajud. (0,6)	12	18	10	10	18	8	10	8
CostaHirota	32	10	10	Ajud. (0,3)	10	5	5	20	30	55	50	20
Camarota	34	15	15		15	10	10	10	15	20	35	15
Flexicom	38	19	19	Ajud. (5)	15	10	15	40	55	50	55	45
Basile	39	11	11	Ajud. (2)	5	5	5	10	15	10	10	5
Método	35	23	22	Guincheiro (1)	20	20	20	20	30	35	20	20
Tarumã	32	11	5	Servente (1); Pedreiro (5)	5	10	5	5	10	10	10	5
Exata	30	12	12		5	5	10	10	15	15	20	15
Fichberg	35	13	13	Ajud. (1,5)	5	10	15	15	15	25	20	5
Itambê	34	9	9	Ajud. (1,5)	5	10	5	5	5	10	10	5
Sandley	38	13	13		15	10	10	10	30	45	50	40
Tarumã	36	17	17	Ajud. (1)	15	20	10	10	10	20	20	10
Constran	35	10	10	Ajud. (0,8)	15	10	5	20	20	25	35	35
Exata	35	16	14,2	Ajud. pedreiro (0,9); Guincheiro (0,9)	15	18	14	14	14	43	34	3
Basile	30	8	8	Ajud. (0,5)	10	10	15	5	10	25	10	5

B3. Limiars auditivos dos carpinteiros (continuação)

Função: Carpinteiro					Limiar Auditivo Melhor Ouvido							
Empresa	Idade	T.Const	T. func.	Outras Funções	250	500	1000	2000	3000	4000	6000	8000
JHS	35	12	12		5	5	20	25	20	20	15	5
Rossi	37	15	14	Ajud. (2); Pedreiro (1)	10	5	20	15	15	10	15	5
Flexicom	38	19	19		15	10	5	10	15	10	15	10
PPR	32	4	4	Ajud. (2)	10	10	10	15	20	15	15	25
Exata	32	11	11	Ajud. (2)	10	5	5	0	10	15	15	0
Constran	35	13	13	Ajud. (2)	0	5	5	5	15	10	10	5
CGN	37	17	13	Pedreiro (4)	10	5	5	10	30	25	30	5
Suarez	36	9	9		15	10	20	30	35	25	35	20
Lider	30	13	13		5	5	0	15	10	30	45	40
Suarez	30	5	5		10	5	20	40	40	45	20	5
Beter	31	10	10	Ajud. (1)	15	10	15	10	15	40	15	5
Beter	36	8	8	Pinor (1,5)	10	15	15	20	20	25	25	15
Ikal	39	8	8		10	5	15	10	50	55	35	25
RGM	32	13	13	Ajud. (4)	10	15	10	15	20	30	20	5
Beter	36	6	6	Ajud. (0,6)	10	5	15	10	10	20	20	5
Flexicom	37	20	20		10	10	5	15	10	20	15	10
Camarote	38	19	19	Servente (0,6)	12	12	17	11	16	21	22	1
Civitec	30	10	10		9	9	9	12	18	60	50	32
Gomes Lourenço	37	18	18		5	5	5	10	15	20	15	20
Francon	36	16	16		15	10	15	20	15	20	25	10
EBM	37	18	18		20	10	0	5	15	20	30	0
Flexicom	36	20	20		6	11	10	10	27	31	20	11
Basile	36	16	16	Ajud. (8)	10	5	5	5	10	15	15	0
TPA	35	16	16		15	10	10	0	10	10	15	5
BKO	37	17	17		10	5	10	20	35	65	25	10
Constran	36	5	5	Ajud. (3)	10	10	15	15	15	20	35	20
Flexicom	37	15	15	Servente (5)	10	10	15	10	5	15	20	10
Itambé	38	10	10	Guarda (0,5)	5	5	10	15	20	25	20	15
Exata	30	10	10		5	0	5	5	20	20	25	15
Exata	39	20	20		10	10	25	20	15	15	10	15
Constran	31	8	8	Ajud. (0,8)	5	10	20	15	10	15	10	0
Camarote	35	17	17		20	15	5	20	15	15	25	25
Exata	36	15	15		10	15	20	20	20	25	25	20
Rossi	30	10	10	Ajud. (1)	5	10	10	26	35	46	24	25
Erevan	35	21	19	Ajud. (4); Op. de betoneira (3)	10	5	10	10	10	20	25	20
Média	34,4	12,5	12,1	Nível Auditivo Mediano Real =>	10	10	10	10	15	20	20	10
				Nível Auditivo Mediano Esperado =>	10	10	10	10	15	22,5	20	10
Tarumã	44	20	19,5	Pedreiro (0,5)	5	5	10	5	10	5	15	-5
Constran	43	20	20		10	5	10	20	25	20	20	15

B3. Limiares auditivos dos carpinteiros (continuação)

Função: Carpinteiro					Limiar Auditivo Melhor Ouvido							
Empresa	Idade	T.Const.	T. funç.	Outras Funções	250	500	1000	2000	3000	4000	6000	8000
Flexicom	43	15	14,5	Pedreiro (0,5); ajud. (2)	10	5	10	15	20	40	35	30
Silvio R. A.	48	24	24		5	10	0	5	10	20	25	40
Flexicom	49	12	12		20	10	10	15	35	35	30	15
Sintec	48	20	20		10	5	10	15	20	30	20	15
Itambê	42	18	18		10	10	10	15	20	20	20	20
Isfel	46	27	27		10	10	0	20	20	20	15	5
Isfel	42	24	24	Ajud. (6)	5	10	15	15	10	30	35	10
SIDE	41	0,25	0,25		11	15	10	5	40	35	40	50
Constran	42	15	8	Pedreiro (5); Armador (2)	2	2	1	2	11	16	65	33
Flexicom	42	25	15	Pedreiro (10)	5	5	10	20	50	45	50	35
Comprecil	45	15	15	Ajud. (2)	5	5	0	0	10	35	25	10
Basile	42	12	12		5	5	10	15	30	25	25	20
Exata	47	21	21		15	20	20	15	25	50	40	35
PPR	43	11	11	Servente (1)	5	5	10	25	5	20	25	15
Elmo	46	20	20		20	10	20	40	40	50	50	30
EBM	48	13	10	Pedreiro (3)	15	10	20	40	70	65	55	40
CostaHirota	40	21	21		5	5	10	15	20	50	40	10
PPR	44	16	16		10	5	10	5	20	5	20	35
Flexicom	44	26	26		10	5	25	36	30	35	24	15
Bermo	44	22	22	Ajud. (5)	10	15	15	20	50	55	45	25
Constran	42	17	17		8	9	13	13	14	38	24	13
Exata	40	19	19	Ajud. (3)	17	14	10	16	35	57	48	20
Constran	41	22	22		10	10	15	10	35	40	45	25
Edipal	43	12	12	Servente (10)	5	5	5	10	5	10	25	20
Costa Hirota	43	16	16		5	0	10	15	25	20	15	10
Exata	46	20	20		15	10	15	20	45	40	35	15
Rossi	41	10	10		10	10	5	15	15	20	25	20
Flexicom	48	20	19,5	Pintura (0,5)	10	15	15	18	22	30	8	4
Flexicom	44	13	13		15	10	10	10	30	50	45	45
Suarez	48	18	18		20	20	10	15	17	27	22	12
Erevan	43	22	21,5	Soldador (0,5)	10	5	10	10	10	25	10	5
Suarez	42	23	23	Ajud. (1)	10	0	0	10	45	45	3	20
Suarez	49	25	25	Servente (8)	15	15	10	5	20	25	20	15
Erevan	41	8	8	Vigia (1,3)	10	5	5	5	10	20	20	15
Erevan	41	10	10		15	10	15	15	10	25	20	15
Bermo	43	22	22	Ajud. (1)	5	5	10	10	15	20	15	10
Camarota	43	22	21,5	Soldador (0,5)	6	17	15	21	38	56	50	26
C. Ikal	46	25	25		10	10	10	10	30	35	20	25
Suarez	46	25	25	Servente (1,5)	5	10	15	15	20	25	30	25
Erevan	43	19	19		10	5	5	15	10	25	25	15

B3. Limiares auditivos dos carpinteiros (continuação)

Função: Carpinteiro					Limiar Auditivo Melhor Ouvido							
Empresa	Idade	T.Const	T. funç.	Outras Funções	250	500	1000	2000	3000	4000	6000	8000
Flexicom	45	23	23	Ajud. (2)	20	10	10	15	10	20	22	22
Exata	42	17	16	Pinor (1); Ajud (2)	20	5	10	5	15	25	15	20
Constran	44	20	20		5	10	10	5	25	45	45	20
Costa Hirota	46	32	32	Ajud. (0,6)	20	10	20	35	40	50	20	5
Edipal	42	23	23		20	15	15	5	55	40	35	20
Tarumã	49	19	19	Ajud. (5)	10	5	10	5	25	25	20	10
Flexicom	49	20	20		10	10	15	30	40	35	20	15
Flexicom	46	21	21		10	10	5	5	30	20	15	5
Exata	42	21	21		15	5	5	10	25	40	35	30
Lider	45	23	23		10	5	5	10	10	10	20	10
Camarota	47	23	23	Ajud. (5)	10	5	5	-5	15	25	20	5
G. Lourenço	41	23	23	Ajud. (10)	15	25	25	20	15	45	40	85
Mont. Machado	48	13	13		5	5	15	10	10	5	20	20
Grilli	49	30	30		12	6	18	21	31	52	51	16
Camarota	41	22	22	Ajud. (2)	10	5	10	15	35	45	30	40
Sintec	42	22	22	Ajud. (0,6)	20	10	10	10	10	25	20	15
Exata	44	4	4		15	10	15	15	5	20	25	15
Gomes Lourenço	47	1,5	1,5		15	10	15	10	15	20	15	15
Lider	40	19	19	Servente (1,6)	15	15	15	15	40	35	30	20
Método	43	23	23		10	10	15	20	40	35	25	10
EBM	40	10	10		5	10	20	25	20	35	15	5
Isfel	44	25	25		10	10	5	10	50	45	50	15
Flexicom	43	23	23		20	15	15	10	20	20	25	15
Morais Dantas	43	24	24		15	15	30	20	25	35	25	15
Média	44,1	18,9	18,3	Nível Auditivo Mediano Real =>	10	10	10	15	20	30	25	15
				Nível Auditivo Mediano Esperado =>	10	10	10	15	23,5	30	25	15,5
Solubras	50	23	23	Ajud. (10)	10	10	15	20	50	35	15	10
Dissei	54	30	30	Encarregado (18)	10	10	20	20	25	45	40	45
Constran	52	24	24		10	5	10	10	20	25	35	5
Elage	54	33	33		20	20	20	20	30	40	65	65
Mont.Machado	57	20	20		30	35	30	20	25	35	45	15
Exata	58	20	20		10	5	10	10	45	65	65	45
Cnstrucap	58	20	20		15	10	15	20	20	45	45	55
PPR	52	24	24		10	10	10	15	15	25	40	15
Flexicom	56	20	19	Servente de pedr. (1)	32	26	21	31	46	56	32	2
Civiltec	59	26	26	Servente (2)	10	10	15	25	15	30	30	5
MDOServ	52	30	30		10	10	5	15	30	60	65	50
Erevan	59	29	29	Servente (0,5)	5	10	15	25	35	40	25	15
Lider	55	30	30		15	10	10	15	30	40	35	30

B3. Limiars auditivos dos carpinteiros (continuação)

Função: Carpinteiro					Limiar Auditivo Melhor Ouvido							
Empresa	Idade	T.Const.	T. funç.	Outras Funções	250	500	1000	2000	3000	4000	6000	8000
PPR	63	30	30	Ajud. (2)	5	10	10	15	30	55	65	70
PPR	50	23	22,5	Pedreiro (0,5)	10	0	10	10	10	45	50	30
Tarumã	55	20	20		10	5	10	20	32	32	31	22
Exata	50	26	25,4	Ajud. (0,3); Concreto (0,6)	10	10	15	15	10	40	40	25
Gutierrez	53	23,5	23,5	Servente (1,5)	20	20	30	45	45	45	40	20
PPR	51	15	15	Servente (1)	15	10	10	20	25	25	30	30
Exata	52	22	22		10	5	5	10	25	30	20	15
Estub	52	24	12	Eletricista (12)	10	10	10	15	10	20	25	30
Flexicom	50	20	8	Serviços gerais (12)	11	11	18	21	18	41	17	22
Exata	52	10	10		10	15	15	10	30	25	25	20
Itambé	68	46	46	Encanador (2)	25	25	30	25	60	55	55	45
SocCom	57	30	28	Pedreiro (2)	15	15	10	15	15	15	20	15
PPR	50	28	28		20	20	15	25	25	45	60	35
PBK	50	20	20		10	10	10	10	15	52	30	40
PPR	57	35	35		15	10	30	50	50	50	65	30
Tarumã	58	22	22		10	10	15	25	45	55	60	55
Exata	50	35	35	Servente (0,4)	10	15	20	15	25	30	35	30
Zarvos	51	29	29	Ajud. (1,5)	20	10	10	15	30	60	30	10
Média	54,3	25,4	24,5	Nível Auditivo Mediano Real =>	10	10	15	20	25	40	35	30
				Nível Auditivo Mediano Esperado =>	10	10	15	20	25	40	37,5	30

B3.1 Demonstrativo de cálculos das PAIRs de carpinteiros

Função: Carpinteiros

PERDAS POR IDADE EM dB

	250	500	1000	2000	3000	4000	6000	8000
FE= 20-29; IM= 26,0; EM = 5,9	0,2	0,2	0,3	0,4	0,7	1,0	1,2	1,4
FE= 30-39; IM= 34,4; EM=12,1	0,8	0,9	1,1	1,9	3,1	4,3	4,8	5,9
FE= 40-49; IM= 44,1; EM=18,3	2,0	2,4	2,7	4,8	7,8	10,9	12,3	15,0
FE > 50; IM= 54,3; EM= 24,5	4,0	4,6	5,3	9,2	15,2	21,1	23,7	29,0

PERDAS TOTAIS EM dB

	250	500	1000	2000	3000	4000	6000	8000
FE= 20-29; IM= 26,0; EM = 5,9	10,0	10,0	10,0	10,0	12,5	15,0	15,0	5,0
FE= 30-39; IM= 34,4; EM= 12,1	10,0	10,0	10,0	12,5	15,0	22,5	20,0	10,0
FE= 40-49; IM= 44,1; EM= 18,3	10,0	10,0	10,0	15,0	23,5	30,0	25,0	15,5
FE > 50; IM= 54,3; EM= 24,5	10,0	10,0	15,0	20,0	30,0	40,0	37,5	30,0

PERDAS REFERENCIAIS EM dB

	250	500	1000	2000	3000	4000	6000	8000
	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0

PERDAS TOTAIS - PERDAS REFERENCIAIS EM dB

	250	500	1000	2000	3000	4000	6000	8000
FE= 20-29; IM= 26,0; EM = 5,9	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	5,0	5,0	-5,0
FE= 30-39; IM= 34,4; EM= 12,1	0,0	0,0	0,0	2,5	5,0	12,5	10,0	0,0
FE= 40-49; IM= 44,1; EM= 18,3	0,0	0,0	0,0	5,0	13,5	20,0	15,0	5,5
FE > 50; IM= 54,3; EM= 24,5	0,0	0,0	5,0	10,0	20,0	30,0	27,5	20,0

PERDAS TOTAIS - PERDAS REFERENCIAIS - PERDAS POR IDADE

	250	500	1000	2000	3000	4000	6000	8000
FE= 20-29; IM= 26,0; EM = 5,9	-0,2	-0,2	-0,3	-0,4	1,8	4,0	3,8	-6,4
FE= 30-39; IM= 34,4; EM= 12,1	-0,8	-0,9	-1,1	0,6	1,9	8,2	5,2	-5,9
FE= 40-49; IM= 44,1; EM= 18,3	-2,0	-2,4	-2,7	0,2	5,7	9,1	2,7	-9,5
FE > 50; IM= 54,3; EM= 24,5	-4,0	-4,6	-0,3	0,8	4,8	8,9	3,8	-9,0

PERDAS POR EXPOSIÇÃO A 82 dB

	250	500	1000	2000	3000	4000	6000
FE= 20-29; IM= 26,0; EM= 5,9	0,0	0,0	0,0	0,1	1,0	2,0	0,9
FE= 30-39; IM= 34,4; EM=12,1	0,0	0,0	0,0	0,1	1,3	2,6	1,1
FE= 40-49; IM= 44,1; EM=18,3	0,0	0,0	0,0	0,2	1,5	2,8	1,2
FE > 50; IM= 54,3; EM= 24,5	0,0	0,0	0,0	0,2	1,6	2,9	1,3

onde: FE = Faixa etária
IM = Idade média
EM = Exposição média

B3.1 Demonstrativo de cálculos das PAIRs em carpinteiros (continuação)

Função: Carpinteiros

PERDAS TOTAIS - PERDAS REFERENCIAIS - PERDAS POR IDADE - PERDAS POR EXPOSIÇÃO A 82 dB(A)

	250	500	1000	2000	3000	4000	6000
FE= 20-29; IM= 26,0; EM = 5,9	-0,2	-0,2	-0,3	-0,5	0,8	2,0	2,9
FE= 30-39; IM= 34,4; EM= 12,1	-0,8	-0,9	-1,1	0,5	0,6	5,7	4,1
FE= 40-49; IM= 44,1; EM= 18,3	-2,0	-2,4	-2,7	0,1	4,2	6,3	1,5
FE > 50; IM= 54,3; EM= 24,5	-4,0	-4,6	-0,3	0,6	3,2	6,0	2,5

PERDAS POR EXPOSIÇÃO A 86 dB(A)

	250	500	1000	2000	3000	4000	6000
FE= 20-29; IM= 26,0; EM = 5,9	0,0	0,0	0,0	0,6	3,2	4,9	2,8
FE= 30-39; IM= 34,4; EM= 12,1	0,0	0,0	0,0	1,0	4,2	6,3	3,6
FE= 40-49; IM= 44,1; EM= 18,3	0,0	0,0	0,0	1,4	4,8	6,8	4,0
FE > 50; IM= 54,3; EM= 24,5	0,0	0,0	0,0	1,7	5,1	7,2	4,2

PERDAS TOTAIS - PERDAS REFERENCIAIS - PERDAS POR IDADE - PERDAS POR EXPOSIÇÃO A 86 dB(A)

	250	500	1000	2000	3000	4000	6000
FE= 20-29; IM= 26,0; EM = 5,9	-0,20	-0,20	-0,30	-1,01	-1,40	-0,87	0,99
FE= 30-39; IM= 34,4; EM= 12,1	-0,80	-0,90	-1,10	-0,35	-2,32	1,90	1,56
FE= 40-49; IM= 44,1; EM= 18,3	-2,00	-2,40	-2,70	-1,18	0,94	2,26	-1,29
FE > 50; IM= 54,3; EM= 24,5	-4,00	-4,60	-0,30	-0,88	-0,34	1,67	-0,44

onde: FE = Faixa etária
IM = Idade média
EM = Exposição média

B4 Perdas auditivas associadas à idade de ajudantes gerais

B4.1 Ajudantes gerais de idade média igual a 21,6 anos

Faixa Etária: 18 a 24 anos, IM = 21,6 anos							
Percentil	Frequências						
	250	500	1000	2000	3000	4000	6000
0,10	9	8	8	9	10	11	12
0,20	6	5	5	6	7	7	8
0,30	4	3	3	4	4	5	5
0,40	2	2	2	2	2	2	3
0,50	0	0	0	0	0	0	0
0,60	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-2
0,70	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-4
0,80	-4	-4	-4	-5	-5	-5	-6
0,90	-7	-6	-6	-7	-8	-8	-10

B4.2 Ajudantes gerais de idade média igual a 26,0 anos

Faixa Etária: 25 a 29 anos, IM = 26 anos							
Percentil	Frequências						
	250	500	1000	2000	3000	4000	6000
0,10	9	8	8	10	11	12	14
0,20	6	5	6	7	8	8	10
0,30	4	3	4	4	5	6	6
0,40	2	2	2	2	3	3	4
0,50	0	0	0	0	1	1	1
0,60	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
0,70	-3	-2	-2	-3	-3	-3	-3
0,80	-4	-4	-4	-5	-5	-5	-6
0,90	-7	-6	-6	-7	-8	-8	-9

B4.3 Ajudantes gerais de idade média igual a 32,7 anos

Faixa Etária: 30 a 39 anos, IM = 32,7anos							
Percentil	Frequências						
	250	500	1000	2000	3000	4000	6000
0,10	10	9	9	12	14	16	18
0,20	7	6	6	8	10	12	13
0,30	4	4	4	6	7	9	10
0,40	2	2	3	4	5	6	7
0,50	1	1	1	2	2	3	4
0,60	-1	-1	0	0	1	1	2
0,70	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1
0,80	-4	-4	-4	-4	-4	-3	-4
0,90	-6	-6	-6	-7	-7	-7	-8

B5 Perdas auditivas associadas à idade dos Carpinteiros

B5.1 Carpinteiros de idade média de 26,0 anos

Faixa Etária: 20 a 29 anos, IM = 26 anos							
Percentil	Frequências						
	250	500	1000	2000	3000	4000	6000
0,10	9	8	8	10	11	12	14
0,20	8	5	6	7	8	8	10
0,30	4	3	4	4	5	6	6
0,40	2	2	2	2	3	3	4
0,50	0	0	0	0	1	1	1
0,60	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
0,70	-3	-2	-2	-3	-3	-3	-3
0,80	-4	-4	-4	-5	-5	-5	-6
0,90	-7	-6	-6	-7	-8	-8	-9

B5.2 Carpinteiros de idade média de 34,4 anos

Faixa Etária: 30 a 39 anos, IM = 34,4 anos							
Percentil	Frequências						
	250	500	1000	2000	3000	4000	6000
0,10	10	9	10	12	15	17	20
0,20	7	6	7	9	11	13	15
0,30	4	4	5	6	8	10	11
0,40	3	3	3	4	5	7	8
0,50	1	1	1	2	3	4	5
0,60	-1	0	0	0	1	2	2
0,70	-2	-2	-2	-1	-1	0	0
0,80	-4	-3	-3	-4	-3	-3	-3
0,90	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-7

B5.3 Carpinteiros de idade média de 44,1 anos

Faixa Etária: 40 a 49 anos, IM = 44,1anos							
Percentil	Frequências						
	250	500	1000	2000	3000	4000	6000
0,10	12	12	12	17	22	28	31
0,20	8	8	9	13	17	22	25
0,30	6	6	7	10	14	18	20
0,40	4	4	5	7	11	14	16
0,50	2	2	3	5	8	11	12
0,60	1	1	1	3	6	8	9
0,70	-1	-1	0	1	3	5	6
0,80	-3	-2	-2	-2	0	2	2
0,90	-6	-5	-5	-5	-4	-3	-3

B5.4 Carpinteiros de idade média de 54,3 anos

Faixa Etária: => 50 anos, IM = 54,3 anos							
Percentil	Frequências						
	250	500	1000	2000	3000	4000	6000
0,10	15	15	16	24	34	44	49
0,20	11	11	12	19	27	36	41
0,30	8	9	10	15	23	30	34
0,40	6	7	7	12	19	25	29
0,50	4	5	5	9	15	21	24
0,60	2	3	4	7	12	17	20
0,70	0	1	2	4	9	14	15
0,80	-2	-1	0	2	5	9	10
0,90	-5	-4	-3	-2	0	3	3

B6 Distribuição de Perdas auditivas induzidas pelo ruído (PAIR)

B6.1 Grupo de ajudantes gerais expostos ao NEN = 81 dB(A)

Faixa Etária: 18 a 24 anos						
Percentil	Frequências					
	500	1000	2000	3000	4000	6000
0,05	0,0	0,00	0,06	0,73	1,39	0,76
0,10	0,0	0,00	0,05	0,65	1,28	0,67
0,15	0,0	0,00	0,04	0,60	1,20	0,61
0,20	0,0	0,00	0,04	0,56	1,15	0,56
0,25	0,0	0,00	0,03	0,53	1,10	0,51
0,30	0,0	0,00	0,03	0,50	1,05	0,48
0,35	0,0	0,00	0,02	0,47	1,01	0,44
0,40	0,0	0,00	0,02	0,44	0,97	0,41
0,45	0,0	0,00	0,01	0,42	0,93	0,37
0,50	0,0	0,00	0,01	0,39	0,90	0,34
0,55	0,0	0,00	0,01	0,34	0,83	0,29
0,60	0,0	0,00	0,01	0,29	0,76	0,24
0,65	0,0	0,00	0,00	0,23	0,69	0,19
0,70	0,0	0,00	0,00	0,18	0,61	0,13
0,75	0,0	0,00	0,00	0,12	0,53	0,07
0,80	0,0	0,00	0,00	0,05	0,43	0,00
0,85	0,0	0,00	-0,01	-0,03	0,33	-0,08
0,90	0,0	0,00	-0,01	-0,13	0,19	-0,18
0,95	0,0	0,00	-0,02	-0,3	-0,01	-0,33

Faixa Etária: 25 a 29 anos						
Fração	Frequências					
	500	1000	2000	3000	4000	6000
0,05	0,0	0,00	0,06	0,94	1,78	0,91
0,10	0,0	0,00	0,05	0,85	1,65	0,81
0,15	0,0	0,00	0,04	0,78	1,56	0,74
0,20	0,0	0,00	0,04	0,73	1,49	0,69
0,25	0,0	0,00	0,03	0,69	1,43	0,64
0,30	0,0	0,00	0,03	0,65	1,37	0,60
0,35	0,0	0,00	0,03	0,61	1,32	0,56
0,40	0,0	0,00	0,02	0,58	1,27	0,52
0,45	0,0	0,00	0,02	0,55	1,22	0,49
0,50	0,0	0,00	0,01	0,51	1,18	0,45
0,55	0,0	0,00	0,01	0,47	1,11	0,40
0,60	0,0	0,00	0,01	0,42	1,04	0,35
0,65	0,0	0,00	0,01	0,37	0,97	0,30
0,70	0,0	0,00	0,01	0,32	0,90	0,25
0,75	0,0	0,00	0,00	0,26	0,82	0,19

B6.1 Grupo de ajudantes gerais expostos ao NEN = 81 dB(A) (continuação)

Faixa Etária: 25 a 29 anos						
Percentil	Frequências					
	500	1000	2000	3000	4000	6000
0,80	0,0	0,00	0,00	0,20	0,73	0,13
0,85	0,0	0,00	0,00	0,13	0,62	0,05
0,90	0,0	0,00	-0,01	0,04	0,49	-0,04
0,95	0,0	0,00	-0,01	-0,1	0,30	-0,18

Faixa Etária: 30 a 39 anos						
Percentil	Frequências					
	500	1000	2000	3000	4000	6000
0,05	0,0	0,00	0,07	1,23	2,33	1,13
0,10	0,0	0,00	0,06	1,11	2,17	1,01
0,15	0,0	0,00	0,05	1,03	2,05	0,93
0,20	0,0	0,00	0,04	0,97	1,96	0,87
0,25	0,0	0,00	0,04	0,91	1,89	0,82
0,30	0,0	0,00	0,03	0,86	1,82	0,77
0,35	0,0	0,00	0,03	0,82	1,76	0,73
0,40	0,0	0,00	0,03	0,77	1,70	0,68
0,45	0,0	0,00	0,02	0,73	1,64	0,64
0,50	0,0	0,00	0,02	0,69	1,58	0,60
0,55	0,0	0,00	0,02	0,65	1,52	0,56
0,60	0,0	0,00	0,01	0,61	1,45	0,51
0,65	0,0	0,00	0,01	0,56	1,38	0,47
0,70	0,0	0,00	0,01	0,52	1,31	0,42
0,75	0,0	0,00	0,01	0,47	1,23	0,37
0,80	0,0	0,00	0,00	0,41	1,15	0,31
0,85	0,0	0,00	0,00	0,35	1,05	0,24
0,90	0,0	0,00	0,00	0,27	0,92	0,15
0,95	0,0	0,00	-0,01	0,2	0,73	0,02

B6.2 Grupo de carpinteiros exposto ao NEN = 86 dB(A)

Faixa Etária: 20 a 29 anos						
Percentil	Frequência					
	500	1000	2000	3000	4000	6000
0,05	0,0	0,00	2,35	5,77	7,25	5,36
0,10	0,0	0,00	1,97	5,20	6,73	4,80
0,15	0,0	0,00	1,71	4,82	6,37	4,41
0,20	0,0	0,00	1,50	4,52	6,09	4,11
0,25	0,0	0,00	1,32	4,25	5,85	3,85
0,30	0,0	0,00	1,16	4,02	5,63	3,62
0,35	0,0	0,00	1,02	3,80	5,43	3,40
0,40	0,0	0,00	0,88	3,59	5,24	3,20
0,45	0,0	0,00	0,74	3,39	5,05	3,00
0,50	0,0	0,00	0,61	3,20	4,87	2,81
0,55	0,0	0,00	0,54	2,98	4,65	2,58
0,60	0,0	0,00	0,46	2,75	4,43	2,34
0,65	0,0	0,00	0,39	2,53	4,20	2,10
0,70	0,0	0,00	0,31	2,29	3,96	1,85
0,75	0,0	0,00	0,22	2,03	3,69	1,57
0,80	0,0	0,00	0,12	1,74	3,40	1,26
0,85	0,0	0,00	0,01	1,41	3,06	0,91
0,90	0,0	0,00	-0,13	0,99	2,63	0,46
0,95	0,0	0,00	-0,34	0,4	2,00	-0,21

B6.1 Grupo de carpinteiros exposto ao NEN = 86 dB(A) (continuação)

Faixa Etária: 30 a 39 anos						
Percentil	Frequência					
	500	1000	2000	3000	4000	6000
0,05	0,0	0,00	2,66	7,46	9,24	6,53
0,10	0,0	0,00	2,28	6,74	8,59	5,89
0,15	0,0	0,00	2,03	6,26	8,15	5,46
0,20	0,0	0,00	1,83	5,88	7,80	5,12
0,25	0,0	0,00	1,65	5,55	7,50	4,83
0,30	0,0	0,00	1,50	5,25	7,24	4,56
0,35	0,0	0,00	1,35	4,97	6,99	4,32
0,40	0,0	0,00	1,22	4,72	6,75	4,09
0,45	0,0	0,00	1,08	4,46	6,52	3,86
0,50	0,0	0,00	0,95	4,22	6,30	3,64
0,55	0,0	0,00	0,88	4,03	6,09	3,44
0,60	0,0	0,00	0,81	3,84	5,88	3,23
0,65	0,0	0,00	0,73	3,65	5,66	3,01
0,70	0,0	0,00	0,65	3,45	5,42	2,78
0,75	0,0	0,00	0,56	3,22	5,17	2,53
0,80	0,0	0,00	0,47	2,98	4,89	2,25
0,85	0,0	0,00	0,36	2,69	4,57	1,93
0,90	0,0	0,00	0,21	2,33	4,15	1,52
0,95	0,0	0,00	0,01	1,8	3,55	0,92

B6.1 Grupo de carpinteiros exposto ao NEN = 86 dB(A) (continuação)

Faixa Etária: 40 a 49 anos						
Percentil	Frequência					
	500	1000	2000	3000	4000	6000
0,05	0,00	0,00	3,07	8,38	10,10	7,07
0,10	0,00	0,00	2,69	7,58	9,38	6,39
0,15	0,00	0,00	2,44	7,04	8,89	5,93
0,20	0,00	0,00	2,24	6,61	8,51	5,57
0,25	0,00	0,00	2,07	6,24	8,18	5,26
0,30	0,00	0,00	1,92	5,91	7,88	4,97
0,35	0,00	0,00	1,77	5,60	7,60	4,71
0,40	0,00	0,00	1,64	5,31	7,34	4,47
0,45	0,00	0,00	1,51	5,03	7,09	4,23
0,50	0,00	0,00	1,38	4,76	6,84	3,99
0,55	0,00	0,00	1,31	4,59	6,64	3,80
0,60	0,00	0,00	1,23	4,42	6,43	3,60
0,65	0,00	0,00	1,16	4,25	6,22	3,40
0,70	0,00	0,00	1,08	4,06	5,99	3,18
0,75	0,00	0,00	0,99	3,86	5,74	2,95
0,80	0,00	0,00	0,89	3,64	5,47	2,69
0,85	0,00	0,00	0,78	3,38	5,15	2,39
0,90	0,00	0,00	0,64	3,06	4,75	2,00
0,95	0,00	0,00	0,43	2,57	4,16	1,44

B6.1 Grupo de carpinteiros exposto ao NEN = 86 dB(A) (continuação)

Faixa Etária: acima de 50 anos						
Percentil	Frequência					
	500	1000	2000	3000	4000	6000
0,05	0,00	0,00	3,35	9,03	10,71	7,45
0,10	0,00	0,00	2,98	8,17	9,94	6,74
0,15	0,00	0,00	2,73	7,59	9,42	6,26
0,20	0,00	0,00	2,54	7,13	9,01	5,88
0,25	0,00	0,00	2,37	6,73	8,66	5,56
0,30	0,00	0,00	2,21	6,38	8,34	5,26
0,35	0,00	0,00	2,07	6,04	8,04	4,99
0,40	0,00	0,00	1,94	5,73	7,76	4,73
0,45	0,00	0,00	1,81	5,43	7,49	4,48
0,50	0,00	0,00	1,68	5,14	7,23	4,24
0,55	0,00	0,00	1,61	4,98	7,03	4,05
0,60	0,00	0,00	1,53	4,83	6,82	3,87
0,65	0,00	0,00	1,46	4,67	6,61	3,67
0,70	0,00	0,00	1,38	4,49	6,39	3,46
0,75	0,00	0,00	1,29	4,31	6,15	3,24
0,80	0,00	0,00	1,20	4,10	5,88	2,99
0,85	0,00	0,00	1,08	3,87	5,57	2,71
0,90	0,00	0,00	0,94	3,57	5,18	2,34
0,95	0,00	0,00	0,73	3,12	4,60	1,80

ABSTRACT

The general purpose of this work was developing an estimate method of noncontinuous exposures to noise. The application of this method results in a representative index of the actual exposure to the occupational noise of workers whose activities present a great variation of the average noise levels when computed on a daily basis. This index shall, named **normalized level of noncontinuous exposure**, enable the implementation of more effective actions in the prevention of auditory damages associated to noise and a more accurate treatment than the current one in relation to the legal benefits for certain professional categories, such as carpenters, undertaker, masons, etc.

The proposed method is based on the principle of equivalent energy. According to this principle, the sound energy is the only responsible for the development of auditory damages induced by noise (PAIRs) in a population exposed to noise, so that the type of noise and its daily duration do not interfere in the auditory damage process. This assumption, already adopted by the international standard ISO 1999 (1990), allowed the establishment of a statistical relation between the **continuous exposure** and the auditory damages caused by noise. In this work, using other assumptions, the principle of equal energy for noncontinuous exposures is included, allowing the estimates of auditory damages also caused in environments with great variation of sound levels.

The results of the proposed method are related by the effectiveness of causing auditory damages, that is, the damages caused by the noise originated from noncontinuous exposure are expressed herein by a normalized exposure level (NEN) of continuous exposure.

In this work the proposed method on two groups of professionals in the Civil Construction is also applied: general assistants and carpenters, for whom the exposure to noise was evaluated and the distribution of PAIRs was determined. The method results were compared to the actual labor conditions in the work sites observed through examinations of the productive

process and quantitative evaluations of the sound exposure of each group studied, with the purpose of studying the consistency between the results of the proposed method and the field results.

Finally, we present several technical steps for noise control of specific sound sources of the Civil Construction.

Keyword: noise, hearing loss, civil construction

GLOSSÁRIO

Para os fins deste trabalho aplicam-se as seguintes definições:

Ciclo de exposição: conjunto de situações acústicas ao qual é submetido o trabalhador, em sequência definida, que se repete de forma contínua no decorrer da jornada de trabalho.

Dosímetro de ruído: medidor integrador de uso pessoal que fornece a dose da exposição ocupacional ao ruído.

Exposição sonora ponderada A, $E_{A,T}$: integração no tempo das pressões sonoras ponderadas A ao quadrado em um período de tempo determinado.

$$E_{A,T} = \int P_A^2(t) dt$$

onde $P_A(t)$ é a pressão acústica instantânea ponderada no filtro A no período de tempo T começando em t_1 e terminando em t_2 . O período T, medido em segundos, é usualmente escolhido como o que cobre um dia inteiro de exposição ocupacional ao ruído (em geral oito horas, ou 28.800 segundos) ou, ainda, um longo período determinado, por exemplo, uma semana de trabalho.

Exposição sonora ponderada A diária, $E_{A,D}$: a exposição sonora ponderada A total de um dia único de 24 horas expressa em Pascal ao quadrado por segundo ($\text{Pa}^2 \cdot \text{s}$).

Grupo homogêneo: grupo de trabalhadores que apresentam condições semelhantes de exposição a ruído.

Incremento de duplicação de dose (q): incremento em decibéis que, quando adicionado a determinado nível, implica a duplicação da dose de exposição ou a redução para a metade do tempo máximo permitido.

Limite de exposição valor teto: corresponde ao valor máximo, acima do qual não é permitida exposição em nenhum momento da jornada de trabalho.

Medidor integrador de uso pessoal: todo e qualquer medidor que possa ser fixado no trabalhador durante o período de medição fornecendo por meio da integração a dose ou o nível médio.

Mudança permanente do limiar de audição, N: mudança permanente, real ou potencial, em decibéis, dos níveis dos limiares de audição causada somente por exposição ao ruído.

Nível de ação: valor acima do qual devem ser iniciadas ações preventivas de forma a minimizar a probabilidade de que as exposições ao ruído ultrapassem o limite de exposição.

Nível de exposição ao ruído normalizados para jornada de trabalho diária de oito horas:

$$NEN = : L_{Aeq,Te} + 10 \log(te/to)$$

onde: te é a duração efetiva do dia de trabalho;

to é a duração de referência (= oito horas).

Nível de exposição normalizado: nível médio representativo da exposição ocupacional, normalizado para uma jornada-padrão de oito horas diárias.

Nível de pressão sonora, L_p : nível em decibéis dado pela equação

$$L_p = 10 \cdot \log(p/p_0)^2$$

onde p é a pressão sonora em Pascal. A pressão sonora de referência, p_0 , é $20 \mu Pa$ ou $2,0 \cdot 10^{-5} N/m^2$, de acordo com a ISO 1683.

Nível de pressão sonora ponderado A: nível de pressão sonora, em decibéis, ponderado em relação à frequência segundo a curva de compensação A estabelecida pela IEC 651. É expresso pela seguinte equação:

$$L_{p_A} = 10 \cdot \log (p_A/p_0)^2$$

onde p_A é a pressão sonora ponderada no filtro A, em Pascal.

Nível equivalente: nível, em decibéis, dado pela equação

$$L_{Aeq,T} = 10 \cdot \log [1 / (t_1 - t_2) \int_{t_1}^{t_2} (P_A^2(t) / P_0^2) \cdot dt]$$

onde $t_2 - t_1$ é o período T no qual a avaliação é feita, começando em t_1 e terminando em t_2 .

Nível equivalente: nível médio relativo ao período de medição que considera o incremento de duplicação de dose igual a 3 ($q = 3$), baseado na equivalência de energia.

Nível limiar de audição associado à idade, H: nível limiar de audição, em decibéis, associado, somente, com a idade sem nenhuma influência da exposição ao ruído.

Nível limiar de audição associado a idade e ruído, H': limiar permanente de audição, em decibéis, de uma população (como a definida na ISO 389 (NLA) - Nível Limiar de Audição).

Nível médio: nível de ruído representativo da exposição ocupacional relativo ao período de medição, que considera os diversos valores de níveis instantâneos ocorridos no período e os parâmetros de medição pré-definidos.

Prejuízo auditivo: desvio ou mudança para pior do limiar de audição normal.

Risco de danos auditivos: fração da população que sofre perdas auditivas.

Risco de dano auditivo induzido pelo ruído: risco de dano auditivo de uma população exposta ao ruído diminuído do risco de danos auditivos em uma população não exposta ao ruído, mas, por outro lado, equivalente à população exposta ao ruído.

Ruído contínuo ou intermitente: todo e qualquer ruído que não se classifique como ruído de impacto ou impulsivo.

Ruído de impacto ou impulsivo: o ruído que apresenta picos de energia acústica de duração inferior a 1 (um) segundo, a intervalos superiores a 1 (um) segundo.

Ruído impulsivo (impacto): embora o ruído de impulso possa ser definido de várias maneiras (ver ISO 2204 e ISO 1996-2), para os fins da norma ISO 1999 e, portanto, desta dissertação, todo ruído não permanente na indústria, em geral caracterizado como de impacto ou impulsivo, será incluído na medida de exposições sonoras.

Situação acústica: cada parte do ciclo de exposição na qual as condições de exposição a ruído podem ser consideradas constantes.

Zona auditiva: região do espaço delimitada por um raio de 150 mm $\pm$ 50 mm, medido a partir da entrada do canal auditivo.