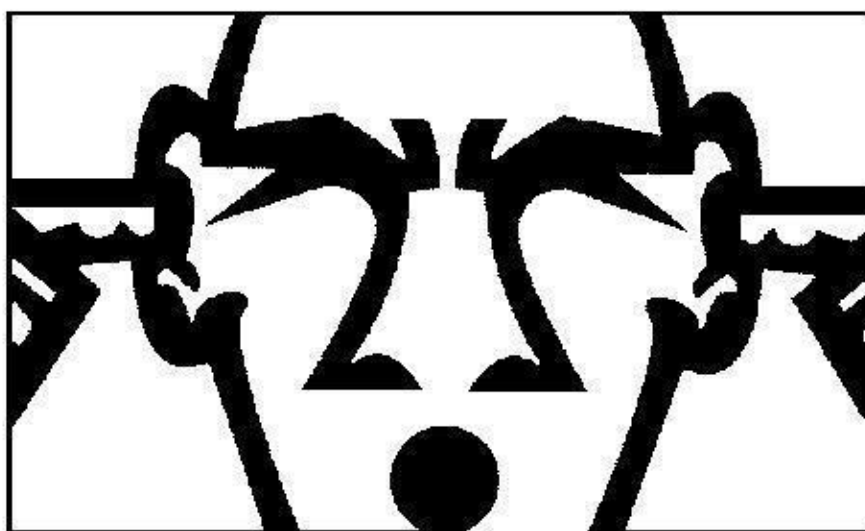


Acústica e Ruídos

Segunda Parte



Prof. Dr. João Candido Fernandes

2002



CAPÍTULO 6

O Ruído Ambiental

Os altos níveis de ruído urbano têm se transformado, nas últimas décadas, em uma das formas de poluição que mais tem preocupado os urbanistas e arquitetos. Os valores registrados acusam níveis de desconforto tão altos que a poluição sonora urbana passou a ser considerada como a forma de poluição que atinge o maior número de pessoas. Assim, desde o congresso mundial sobre poluição sonora em 1989, na Suécia, o assunto passou a ser considerado como questão de saúde pública. Entretanto, a preocupação com os níveis de ruído ambiental já existia desde 1981 pois, no Congresso Mundial de Acústica, na Austrália, as cidades de São Paulo e do Rio de Janeiro passaram a ser consideradas as de maiores níveis de ruído do mundo. Nas cidades médias brasileiras, onde a qualidade de vida ainda é preservada, o ruído já tem apresentado níveis preocupantes, fazendo com que várias delas possuam leis que disciplinem a emissão de sons urbanos.

Numa visão mais ampla, o silêncio não deve ser encarado apenas como um fator determinante no conforto ambiental, mas deve ser visto como um direito do cidadão. O bem-estar da população não deve ser tratado apenas com projetos de isolamento acústico tecnicamente perfeitos mas, além disso, exige uma visão crítica de todo o ambiente que vai receber a nova edificação. É necessária uma discussão a nível urbanístico.

Outro conceito importante a ser discutido se refere às comunidades já assentadas ameaçadas pela poluição sonora de novas obras públicas. A transformação de uma tranquila rua em avenida, a construção de um aeroporto ou de uma auto-estrada, ou uma via elevada, podem elevar o ruído a níveis insuportáveis.

1. – Avaliação do Ruído Ambiental

O método mais utilizado para avaliar o ruído em ambientes é a aplicação das curvas NC (*Noise Criterion*) criadas por Beranek em pesquisas a partir de 1952 (ver na bibliografia os vários trabalhos desse autor). Em 1989 o mesmo autor publicou as Curvas NCB (*Balanced Noise Criterion Curves*), com aplicação mais ampla. São várias curvas representadas em um plano cartesiano que apresenta no eixo das abscissas as bandas de frequências e, no eixo das ordenadas, os níveis de ruído. Cada curva representa o limite de ruído para uma atividade, tendo em vista o conforto acústico em função da comunicação humana.

A Fig. 6.1 apresenta as curvas NCB e a Tabela 6.1 o limite de utilização para várias atividades. Por exemplo, a curva NC-10 estabelece o limite de ruído para salas de concerto, estúdios de rádio ou TV; a curva NC-20 o limite para auditórios e igrejas; a curva NC-65 (*a de maior nível*) o limite para qualquer trabalho humano, com prejuízo da comunicação mas sem haver o risco de dano auditivo. A Norma Brasileira NBR 10.151 adotou estas curvas como padrão, estabelecendo uma tabela (Tabela 6.2) com limites de utilização.

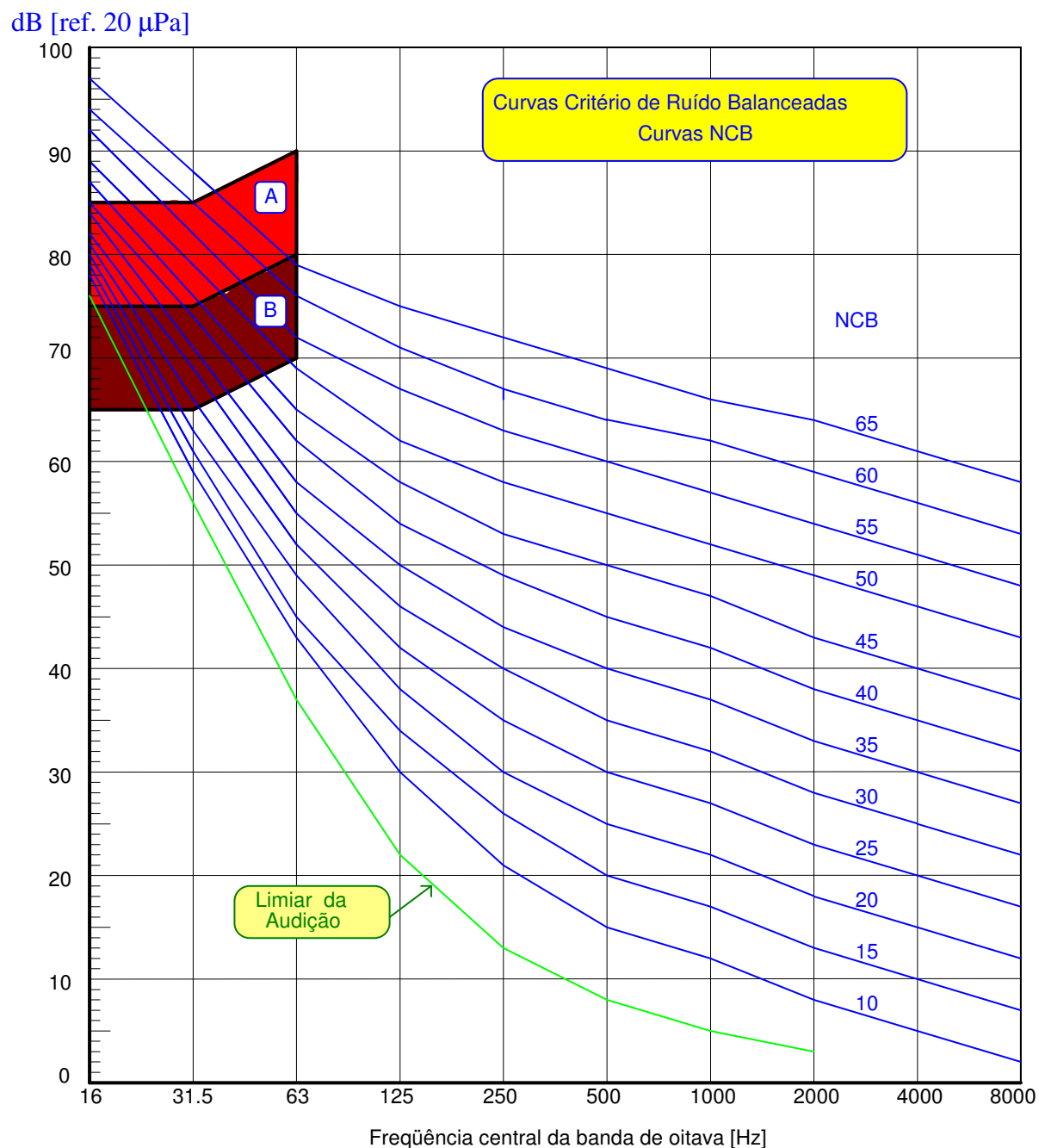


Fig. 4.1 - Curvas Critério de Ruído Balanceadas (NCB) (BERANEK, 1989 e BERANEK, 1989).

No Brasil, os critérios para medição e avaliação do ruído em ambientes são fixados pelas Normas Brasileiras da Associação Brasileira de Normas Técnicas. As principais são :

→ NBR 7731 - Guia para execução de serviços de medição de ruído aéreo e avaliação dos seus efeitos sobre o homem;



- NBR 10151 - Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade;
- NBR 10152 (NB-95) - Níveis de ruído para conforto acústico.

Nesta última norma, a fixação dos limites de ruído para cada finalidade do ambiente é feita de duas formas : pelo nível de ruído encontrado em medição normal (em dB(A)), ou com o uso das curvas NC ou NCB (Tabela 6.2).

Tabela 6.1 - Limite de utilização para várias atividades humanas em função das curvas NCB, estabelecidas por Beranek.	
Curva NCB	Tipo de ambiente que pode conter como máximo ruído, os níveis da da curva correspondente
10	Estúdios de gravação e de rádio (com uso de microfones à distância)
10 a 15	Sala de concertos, de óperas ou recitais (para ouvintes de baixos níveis sonoros)
20	Grandes auditórios, grandes teatros, grandes igrejas (para médios e grandes intensidades sonoras)
25	Estúdios de rádio, televisão, e de gravação (com uso de microfones próximos e captação direta)
30	Pequenos auditórios, teatros, igrejas, salas de ensaio, grandes salas para reuniões, encontros e conferências (até 50 pessoas), escritórios executivos.
25 a 40	Dormitórios, quartos de dormir, hospitais, residências, apartamentos, hotéis, motéis, etc. (ambientes para o sono, relaxamento e descanso).
30 a 40	Escritórios com privacidade, pequenas salas de conferências, salas de aulas, livrarias, bibliotecas, etc. (ambientes de boas condições de audição).
30 a 40	Salas de vivência, salas de desenho e projeto, salas de residências (ambientes de boas condições de conversação e audição de rádio e televisão).
35 a 45	Grandes escritórios, áreas de recepção, áreas de venda e depósito, salas de café, restaurantes, etc. (para condições de audição moderadamente boas).
40 a 50	Corredores, ambientes de trabalho em laboratórios, salas de engenharia, secretarias (para condições regulares de audição).
45 a 55	Locais de manutenção de lojas, salas de controle, salas de computadores, cozinhas, lavanderias (condições moderadas de audição).
50 a 60	Lojas, garagens, etc. (para condições de comunicações por voz ou telefone apenas aceitáveis). Níveis acima de NCB – 60 não são recomendadas para qualquer ambiente que exija comunicação humana.
55 a 70	Para áreas de trabalho onde não se exija comunicação oral ou por telefone, não havendo risco de dano auditivo.

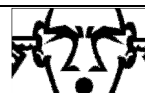


Tabela 6.2. - Níveis de som para conforto, segundo a NBR 10152

LOCAIS	dB(A)	Curvas NC
Hospitais		
Apartamentos, Enfermarias, Berçários, Centros Cirúrgicos	35 -45	30 -40
Laboratórios, Áreas para uso público	40 - 50	35 -45
Serviços	45 -55	40 -50
Escolas		
Bibliotecas, Salas de música, Salas de desenho	35 -45	30 - 40
Salas de aula, Laboratórios	40 -50	35 - 45
Circulação	45 - 55	40 - 50
Hotéis		
Apartamentos	35 – 45	30 - 40
Restaurantes, Salas de estar	40 – 50	35 - 45
Portaria, Recepção, Circulação	45 – 55	40 - 50
Residências		
Dormitórios	35 – 45	30 - 40
Salas de estar	40 – 50	35 - 45
Auditórios		
Salas de concerto, Teatros	30 - 40	25 - 30
Salas de Conferências, Cinemas, Salas de uso múltiplo	35 - 45	30 – 35
Restaurantes	40 - 50	35 - 45
Escritórios		
Salas de reunião	30 - 40	25 - 35
Salas de gerência, Salas de projetos e de administração	35 - 45	30 - 40
Salas de computadores	45 - 65	40 - 60
Salas de mecanografia	50 - 60	45 - 55
Igrejas e Templos	40 - 50	35 - 45
Locais para esportes		
Pavilhões fechados para espetáculos e ativ. esportivas	45 - 60	40 - 55

Trabalhos científicos relacionados com o ruído ambiental demonstram que uma pessoa só consegue relaxar totalmente durante o sono, em níveis de ruído abaixo de 39 dB_(A), enquanto a Organização Mundial de Saúde estabelece 55 dB_(A) como nível médio de ruído diário para uma pessoa viver bem. Portanto, os ambientes localizados onde o ruído esteja acima dos níveis recomendados necessitam de um isolamento acústico.

Acima de 75 dB_(A), começa a acontecer o desconforto acústico, ou seja, para qualquer situação ou atividade, o ruído passa a ser um agente de desconforto. Nessas condições há uma perda da inteligibilidade da linguagem, a comunicação fica prejudicada, passando a ocorrer distrações, irritabilidade e diminuição da produtividade no trabalho. Acima de 80 dB_(A), as pessoas mais sensíveis podem sofrer perda de audição, o que se generaliza para níveis acima de 85 dB_(A).



2. – Avaliação da Perturbação da Comunidade

Para a avaliação dos níveis de ruído aceitáveis em comunidades, existem 3 instrumentos legais que devemos seguir:

☒ **A Resolução CONAMA N.º 001** - É a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente que visa controlar a poluição sonora. Fixa que são prejudiciais à saúde e ao sossego público os níveis de ruído superiores aos estabelecidos na Norma NBR 10.151; para edificações, os limites são estabelecidos pela NBR 10.152.

☒ **A Norma NBR 10.151** – que fixa as condições exigíveis para a avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades

☒ **As Leis Municipais** – que devem ser criadas pela Câmara de Vereadores de cada município, compatíveis com a Resolução CONAMA N.º 001.

A Norma NBR 10.151 estabelece o método de medição e os critérios de aceitação do ruído em comunidades. No final deste capítulo é apresentado um resumo da aplicação desta norma.





CAPÍTULO 7

A Acústica no Interior de Ambientes

O projeto acústico de ambientes é um dos maiores desafios enfrentados por Arquitetos e Engenheiros Civis. Isto em razão da rara literatura em língua portuguesa e do enfoque pouco prático das publicações estrangeiras. A Acústica Arquitetônica, como é designada essa área da acústica, preocupa-se, especificamente, com dois aspectos:

★ **Isolamento contra o ruído** : duas são as situações onde deve ocorrer o isolamento contra o ruído:

→ o ambiente interno deve ser isolado dos ruídos externos e dos ruídos produzidos no próprio interior (por exemplo teatros, salas de aulas, igrejas, bibliotecas, etc.);

→ deseja-se que o ruído interno não perturbe os moradores próximos (por exemplo boates, clubes, salões de festas, etc.).

★ **Controle dos sons no interior do recinto** : nos locais onde é importante uma comunicação sonora, o projeto acústico deve propiciar uma distribuição homogênea do som, preservando a inteligibilidade da comunicação e evitando problemas acústicos comuns, como ecos, ressonâncias, reverberação excessiva, etc.

1. - Isolamento Contra o Ruído

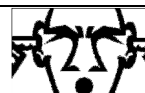
Inicia-se o projeto do isolamento de um ambiente ao ruído obtendo-se dois parâmetros essenciais :

- ↩ o nível de ruído externo [L_{ex}]
- ↩ o nível de ruído interno [L_{in}].

Para o caso de isolamento contra ruídos externos (projeto de um ambiente silencioso), o L_{ex} é obtido pela medição do ruído externo ao recinto (*normalmente toma-se o valor máximo, ou o nível equivalente L_{eq}*), e o L_{in} é fixado pelos dados da NBR 10.152, que estabelece os valores máximos de ruído para locais. Quando pretende-se que o ruído gerado no interior do ambiente seja isolado do exterior, o L_{ex} é determinado pelo máximo nível de ruído permitido para aquela região da cidade (fixado em leis municipais, ou pela Norma NBR 10.151) e o L_{in} é obtido pelo máximo de som que se pretende gerar no interior do recinto.

O isolamento mínimo necessário para o ambiente será :

$$ISOL = L_{ex} - L_{in} \quad \text{ou} \quad ISOL = L_{in} - L_{ex}$$



conforme o caso.

Esse isolamento deve prevalecer em todas as superfícies que compõem o ambiente : paredes, laje do teto, laje do piso, portas, janelas, visores, sistema de ventilação, etc. A atenuação de alguns materiais foram apresentadas na Tabela 3.5. A Tabela 7.1 complementa estes dados.

Deve-se lembrar que quanto maior a densidade (peso por área) do obstáculo ao som, maior será o isolamento. Assim, as paredes de tijolos maciços ou de concreto e de grande espessura apresentam as maiores atenuações; as paredes de tijolos vazados atenuam menos; as lajes maciças de concreto atenuam mais que as lajes de tijolos vazados.

Outro fenômeno importante é o do aumento da espessura : ao se dobrar a espessura de um obstáculo, a atenuação não dobra; mas se colocar-se dois obstáculos idênticos o isolamento será dobrado. Desta forma, usa-se portas com 2 chapas de madeira, ou janelas com 2 vidros separados em mais de 20 cm.

Tabela 7.1 - Isolamento acústico de algumas superfícies

Material	Atenuação (PT)
Parede de tijolo maciço com 45 cm de espessura	55 dB
Parede de 1 tijolo de espessura de 23 cm	50 dB
Parede de meio tijolo de espessura com 12 cm e rebocado	45 dB
Parede de concreto de 8 cm de espessura	40 dB
Parede de tijolo vazado de 6 cm de espessura e rebocado	35 dB
Porta de madeira maciça dupla com 5 cm cada folha	45 dB
Janela de vidro duplos de 3 mm cada separados 20 cm	45 dB
Janela com placas de vidro de 6 mm de espessura	30 dB
Porta de madeira maciça de 5 cm de espessura	30 dB
Janela simples com placas de vidro de 3 mm de espessura	20 dB
Porta comum sem vedação no batente	15 dB
Laje de concreto rebocada com 18 cm de espessura	50 dB

O mecanismo de transmissão de som através de paredes planas exige modelos matemáticos muito complexos. Uma forma simples para o cálculo da atenuação [chamado de Perda na Transmissão 'PT'] é o "Método do Patamar":

1 – Calcula-se PT da parede em 500 Hz usando a equação abaixo, e traça-se uma linha com inclinação de 6 dB/oitava (ver linha '1' da figura 7.1).

$$PT = 20 \log [M.f] - 47,4$$

onde f é a frequência (fixaremos em 500 Hz) e M é a 'densidade de área' dada pela Tabela 7.2.

2 – Obtém-se a altura do patamar (Tabela 7.2), e a 'frequência inferior [fi]' na interseção do patamar (linha 2) com a linha 1 (ver Figura 7.1).

3 – A 'frequência superior [fs]' é dada pela equação:

$$fs = fi \cdot Lp$$



onde L_p é a largura do patamar dado na Tabela 7.2.

4 – Acima da ‘frequência superior’ traça-se uma linha com inclinação de 10 a 18 dB/oitava (linha 3).

Tabela 7.2 – Dados de alguns materiais

Material	Densidade de área [Kg/m ² por cm de espessura]	Altura do Patamar [dB]	Largura do Patamar [Lp]
<i>Alumínio</i>	26,6	29	11
Concreto	22,8	38	4,5
Vidro	24,7	27	10
Chumbo	112	56	4
Aço	76	40	11
Tijolo	21	37	4,5
Madeira	5,7	19	6,5

Como exemplo, vamos calcular qual seria o isolamento (PT) oferecido por uma lâmina de vidro de 10 mm de espessura.

1 – Cálculo da Perda na Transmissão para 500 Hz ($M = 24,7 \text{ kg/m}^2$ e $f = 500 \text{ Hz}$):

$$PT = 20 \log [24,7 \cdot 500] - 47,4 \rightarrow PT = 34,4 \text{ dB (linha 1)}$$

2 – Altura do patamar (Tabela 7.2) = 27 dB (linha 2); do gráfico $f_i = 250 \text{ Hz}$

3 – Cálculo da frequência superior : $F_s = 250 \cdot 10 \rightarrow f_s = 2500 \text{ Hz}$.

4 – Linha com inclinação de 10 a 12 db/oitava (linha 3).

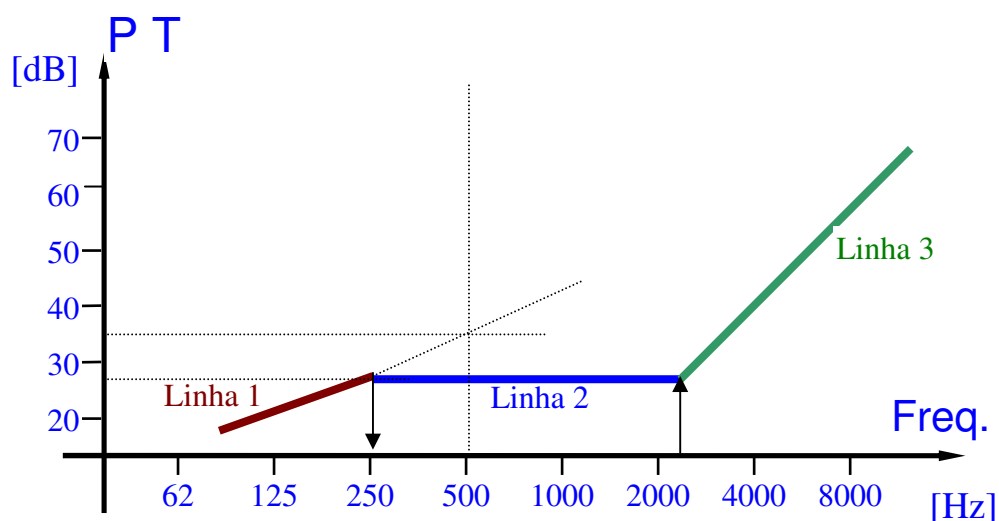
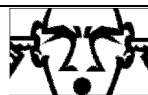


Figura 7.1: Perda de Transmissão (PT) em uma lâmina de vidro de 10mm de espessura.



Para de ter uma idéia do isolamento acústico, a Tabela 7.3 mostra as condições de audibilidade da voz através de uma parede, importante para escritórios e salas de reuniões.

Nenhum isolamento a sons externos teria valor se existirem fontes de ruído internas ao ambiente. Assim, todos os pontos geradores de ruído, no interior do ambiente, devem ser isolados. O caso mais comum ocorre com os sistemas de ventilação e ar condicionado : os compressores e as hélices usadas nesses sistemas são grandes geradores de ruído. A solução é a instalação do módulo refrigerador de ar distante do difusor de entrada do ar no ambiente, interligados por dutos isolados termicamente, onde estariam instalados vários labirintos com amortecimento acústico.

Tabela 7.3 - Condições de audibilidade através de uma parede

Amortecimento do som através de uma parede	Condições de Audibilidade	Conclusão
30 dB ou menos	A voz normal pode ser compreendida com facilidade e de modo distinto.	<i>Pobre</i>
de 30 a 35 dB	O som da voz é percebido fracamente. A conversa pode ser ouvida mas não nitidamente compreendida.	<i>Suave</i>
de 30 a 40 dB	O som da voz pode ser ouvido mas não compreendidas as palavras com facilidade. A voz normal só será ouvida debilmente e às vezes não.	<i>Bom</i>
de 40 a 45 dB	O som da voz pode ser ouvido fracamente sem, no entanto ser compreendido. A conversação normal não é audível.	Muito bom. Recomendado para paredes de edifícios de apartamentos.
45 dB ou mais	Sons muito fortes como o canto, instrumentos de sopro, rádio tocando muito alto podem ser ouvidos fracamente e às vezes não.	Excelente. Recomendado para estúdios de rádio, auditórios e indústrias.



Como regra geral, todas as junções como batentes de portas e janelas, moldura de visores, difusores de ventilação, devem ser amortecidos com material isolante acústico. As portas devem ter dobradiças especiais, com batente duplo revestido com material isolante.

No projeto de isolamento acústico deve-se ter atenção também ao isolamento estrutural : trata-se das vibrações que percorrem a estrutura do prédio, fazendo as paredes vibrarem e gerando o ruído no interior do ambiente.

2. - Controle dos sons no interior do ambiente

Basicamente, o som no interior de um recinto deve ter as seguintes características :

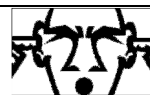
- Distribuição homogênea do som - O som deve chegar a todos os pontos do ambiente com o mesmo (ou quase) nível sonoro. Por exemplo, para uma igreja ou um teatro, as pessoas posicionadas próximas a fonte sonora, bem como as pessoas no fundo do recinto, devem escutar com níveis próximos. Quando o ambiente é muito grande, ou a acústica é deficiente, deve-se recorrer à amplificação do som. Neste caso o projeto acústico se altera, incorporando outros aspectos. Deve-se lembrar que o som sem amplificação torna o ambiente mais natural, devendo sempre ter prioridade (*os teatros gregos comportavam milhares de pessoas com boa audibilidade*).

- Boa relação sinal/ruído - O som gerado no interior do recinto deve permanecer com níveis acima do ruído de fundo. Daí a importância do isolamento do ambiente ao ruído externo. Embora existam muitos fatores envolvidos, pode-se afirmar que a permanência dos níveis de som em 10 dB acima do nível de ruído, assegura uma boa inteligibilidade sonora aos ouvintes. Novamente pode-se recorrer a amplificação sonora para solucionar os casos problemáticos.

- Reverberação adequada - Quando uma onda sonora se propaga no ar, ao encontrar uma barreira (uma parede dura, por exemplo), ela se reflete, como a luz em um espelho, gerando uma onda sonora refletida. Num ambiente fechado ocorrem muitas reflexões do som, fazendo com que os ouvintes escutem o som direto da fonte e os vários sons refletidos. Isso causa um prolongamento no tempo de duração do som, dificultando a inteligibilidade da linguagem. A esse fenômeno, muito comum em grandes igrejas, chama-se reverberação. Existem algumas soluções para se diminuir a reverberação:

- fazer um projeto arquitetônico que evite as reflexões do som;
- revestir as superfícies do recinto com material absorvente acústico (*essa solução deve ser encarada com cuidado por 3 razões: o material não absorve igualmente todas as frequências - principalmente materiais de pequena espessura como a cortiça - causando distorções no som; não se pode aplicar esses materiais em qualquer recinto; o alto custo do revestimento*).

- Dirigir a absorção sonora apenas para algumas direções da propagação;
- Usar o público - o corpo humano é um ótimo absorvente acústico - como elemento acústico.



A Norma Brasileira NB-101 estabelece as bases fundamentais para a execução de tratamentos acústicos em recintos fechados. A Figura 7.2 mostra os tempos ótimos de reverberação para diversos ambientes.

● Campo acústico uniforme - O som em um ambiente deve ter apenas um sentido de propagação. Assim, os ouvintes devem sentir a sensação do som vindo da fonte sonora. Paredes laterais com muita reflexão, ou caixas acústicas nessas paredes, causam estranheza às pessoas que observam a fonte sonora à frente e ouvem o som das laterais. Isso é comum ocorrer em igrejas. O campo sonoro se torna caótico na existência de ondas sonoras contrárias à propagação normal do som (do fundo para a frente), normalmente causadas por caixas acústicas colocadas no fundo do ambiente ou por uma superfície com muita reflexão : a inteligibilidade se torna nula.

Embora a acústica do ambiente dependa de inúmeros parâmetros, todos eles podem ser resumidos em um único, que expressa a qualidade acústica do local : a *inteligibilidade*, que pode ser definida como a porcentagem de sons que um ouvinte consegue entender no ambiente. Recentes estudos mostram que a inteligibilidade depende, basicamente, do nível de ruído interno e do campo acústico do ambiente.

Finalmente, recomenda-se que a preocupação com a acústica de um ambiente deva existir desde o início do projeto, possibilitando uma análise mais ampla e de forma coerente e econômica. As tentativas de se corrigir a acústica de ambientes já construídos, normalmente recaem em soluções pouco eficazes e muito onerosas.

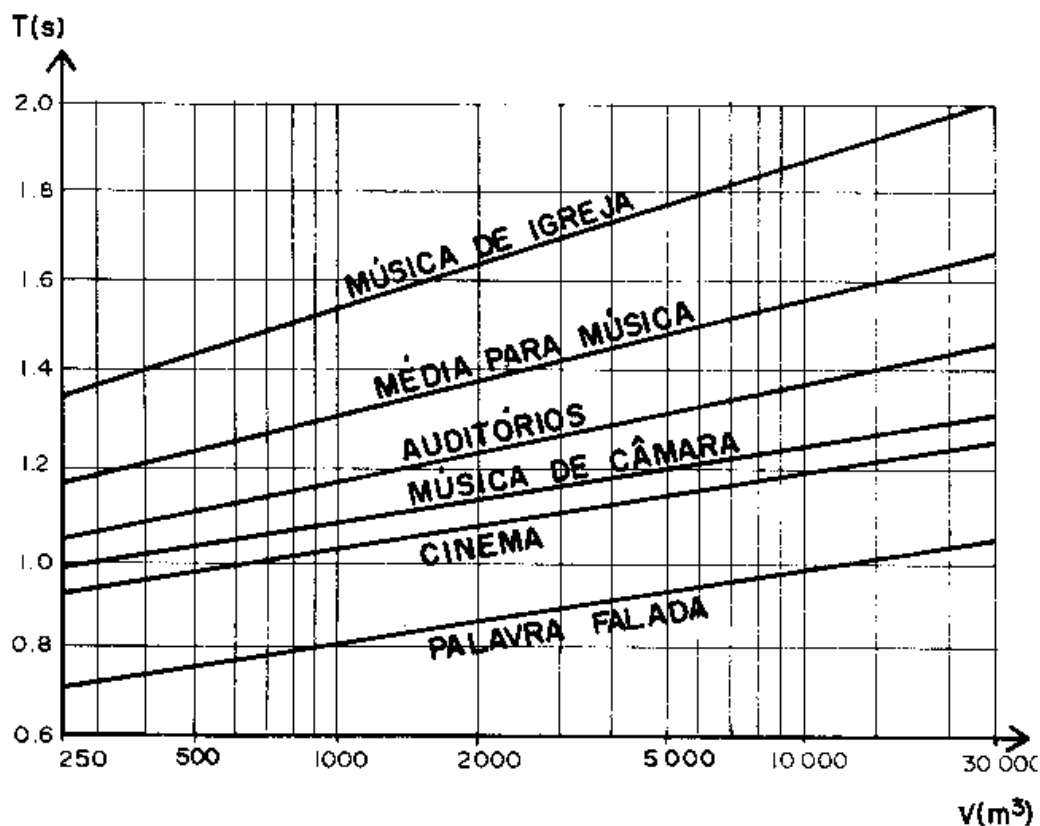


Figura 7.2 – Tempos de reverberação ótimos para recintos (NB 101)



3. – Cálculo do Tempo de Reverberação de Ambientes

Quando necessita-se projetar um ambiente com um tempo de reverberação determinado, pode-se recorrer a alguns estudos teóricos sobre o assunto. São três os modelos matemáticos usados para se prever o tempo de reverberação de um ambiente.

➔ *Modelo de Sabine –*

$$T = \frac{0,16.V}{S_1.a_1 + S_2.a_2 + S_3.a_3...}$$

onde:

V = volume do ambiente em m³

S_i = superfície de cada parede em m²

a_i = coeficientes de absorção de cada parede

T = tempo de reverberação em segundos.

➔ *Modelo de Eyring –*

$$T = \frac{-0,16.V}{S.\ln(1 - a_m)}$$

onde:

S = área total das paredes do ambiente

$$a_m = \frac{S_1.a_1 + S_2.a_2 + S_3.a_3...}{S}$$

➔ *Modelo de Millington –*

$$T = \frac{-0,16.V}{S_1.\ln(1 - a_1) + S_2.\ln(1 - a_2) + S_3.\ln(1 - a_3) + ...}$$

Comparação entre os três modelos

Deve-se usar o modelo de Sabine quando:

- o coeficiente médio de absorção seja alto (acima de 0,25);
- os materiais absorventes estejam distribuídos uniformemente;
- os coeficientes de absorção não são precisos;
- não se exige grande precisão nos cálculos.



Deve-se usar o modelo de Eyring quando:

- os materiais absorventes estejam distribuídos uniformemente;
- se conhece com exatidão os coeficientes de absorção;
- se exige cálculo preciso do tempo de reverberação.

Deve-se usar o modelo de Millington quando:

- não há uniformidade na distribuição dos materiais absorventes;
- as superfícies não são grandes;
- nenhuma superfície tenha grande absorção;
- se conhece com exatidão os coeficientes de absorção;
- se exige cálculo preciso do tempo de reverberação.





CAPÍTULO 8

O Ruído e sua Medição

1. - Introdução

Como já vimos no capítulo 2, podemos definir **Ruído**, de maneira subjetiva, como *toda sensação auditiva desagradável*, ou fisicamente, como *tudo fenômeno acústico não periódico, sem componentes harmônicos definidos*.

De um modo geral, os ruídos podem ser classificados em 3 tipos

❶ **Ruídos contínuos** : são aqueles cuja variação de nível de intensidade sonora é muito pequena em função do tempo. São ruídos característicos de bombas de líquidos, motores elétricos, engrenagens, etc. Exemplos : chuva, geladeiras, compressores, ventiladores (Fig. 8.1).

❷ **Ruídos flutuantes** : são aqueles que apresentam grandes variações de nível em função do tempo. São geradores desse tipo de ruído os trabalhos manuais, afiação de ferramentas, soldagem, o trânsito de veículos, etc. São os ruídos mais comuns nos sons diários (Fig. 8.2).

❸ **Ruídos impulsivos, ou de impacto** : apresentam altos níveis de intensidade sonora, num intervalo de tempo muito pequeno. São os ruídos provenientes de explosões e impactos. São ruídos característicos de rebiteiras, impressoras automáticas, britadeiras, prensas, etc. (Fig. 8.3).



Figura 8.1 – Ruído do tipo contínuo



Figura 8.2 – Ruído do tipo flutuante



Figura 8.1 – Ruído do tipo impacto

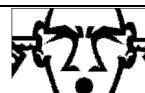
A medição dos níveis de som é a principal atividade para avaliação dos problemas do ruído em um ambiente. Podemos fazer desde uma simples avaliação local, passando por um levantamento mais minucioso, até uma análise de alta precisão usando analisadores de frequência.

Essas medições devem ser realizadas por **medidores de nível de pressão de som** (*chamados erradamente de decibelímetros*), que estejam de acordo com as normas internacionais. É importante que o medidor não seja do tipo *hobby*, facilmente importado e encontrado no mercado por contrabando. Por outro lado, os métodos de medição e análise dos resultados devem ser escolhidos por pessoas que tenham um conhecimento sobre acústica e devem conhecer as normas nacionais e internacionais, bem como as leis em vigor.

2 - O Medidor de Nível de Pressão Sonora (decibelímetro)

A instrumentação para medição de ruído é a única que tem regulamentação internacional e a que apresenta a maior versatilidade o opção de modelos, desde simples até complexas análises de níveis sonoros, com diferentes graus de exatidão.

Os aparelhos de boa procedência atendem os padrões da IEC (International Electrotechnical Commission) e do ANSI (American Standards Institute). Portanto ao comprar ou usar um equipamento de medida de som, verifique se ele atende a uma dessas normas :



- ⇒ IEC 651 (1979) - Sound Level Meters
- ⇒ IEC 804 (1985) - Integrating-Averaging Sound Level Meters
- ⇒ ANSI S1.4 - (1983) - Specification for Sound Level Meters
- ⇒ ANSI S1.25 - (1991) - Specification for Personal Noise Dosimeters
- ⇒ ANSI S1.11 - (1986) - Specification for Oitava Filters.

Em função de sua precisão nas medições (tolerâncias), os medidores são classificados pela ANSI em três padrões, e pela IEC em quatro, como mostra a tabela 4.1.

Tabela 8.1. - Padrões dos medidores de ruído conforme a aplicação

Padrão ANSI S1.4	Padrão IEC 651	APLICAÇÃO
0	0	Referência padrão de Laboratório
1	1	Uso em Laboratório ou campo em condições controladas
2	2	Uso geral em campo
NÃO EXIS TE	3	Inspeções Rotineiras, tipo "varredura", para constatar se os níveis de ruído estão substancialmente acima dos limites de tolerância.

Os medidores de precisão constam, normalmente de :

- ❖ microfone
- ❖ atenuador
- ❖ circuitos de equalização
- ❖ circuitos integradores
- ❖ mostrador (digital ou analógico) graduado em dB.

Obrigatoriamente os equipamentos devem conter :

- ◆ 2 curvas de ponderação - os circuitos de equalização devem fornecer ao usuário a opção de escolha para as curvas A ou C. Alguns aparelhos contém as curvas B e D
- ◆ No mínimo, 2 constantes de tempo : lenta (slow) ou rápida (fast). Alguns aparelhos possuem as constantes 'impulso' e 'pico'.
- ◆ Faixa de medida de 30 a 140 dB.
- ◆ Calibrador.

A figura 8.2. mostra as curvas de equalização A e C normalizadas pela Norma ISO.



As curvas de ponderação (ou equalização) dos medidores são usadas para que o aparelho efetue as medições do ruído de acordo com a sensibilidade do ouvido humano. Essa equalização é dada pela curva "A" que atenua os sons graves, dá maior ganho para a banda de 2 a 5 kHz, e volta a atenuar levemente os sons agudos : é exatamente essa a curva de sensibilidade do ouvido.

Vamos comparar a curva "A" da Figura 8.2 com o limiar de audibilidade da Figura 5.1, reproduzido na Figura 8.2. Percebemos que a "Curva A" faz com que o medidor perceba o som como nós ouvimos.

A curva de ponderação "C" é quase plana e foi incorporada aos medidores caso haja necessidade de medir todo o som do ambiente (sem filtros), ou para avaliar a presença de sons de baixas frequências. Como se vê na figura 8.2 a grande diferença entre as Curvas "A" e "C" está na atenuação para baixas frequências. Portanto, se durante uma medição de ruído, constataremos uma grande diferença entre os valores medidos na escala "A" e "C", isto significa que grande parte do ruído encontra-se na faixa de baixas frequências.

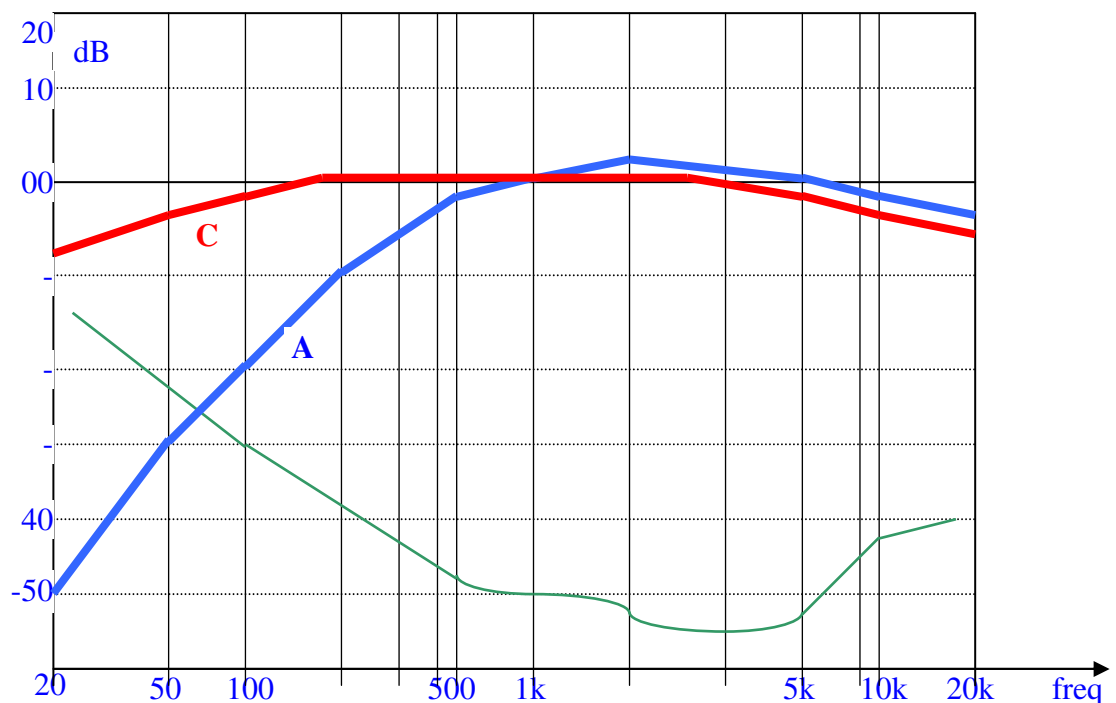


Figura 8.2. - Curvas de Ponderação.

Os medidores de nível de pressão sonora usam duas constantes de tempo, aceitas internacionalmente. São os tempos correspondentes às respostas lenta (slow), de um segundo e, rápida (fast), de 0,125 segundos. O medidor apresenta em seu mostrador a **média quadrática (RMS = Root Mean Square)** das variações da pressão do som dentro do tempo especificado pela constante de tempo.

É escolhida o valor RMS da pressão sonora porque ela relata fielmente a energia contida na onda sonora. Como nós sabemos, a resposta do ouvido é proporcional à energia das variações da pressão.



Alguns aparelhos, mais sofisticados, possuem a constante de tempo de 35 ms (0,035 s), correspondente à operação "**impulso**". Essa constante existe em normas de alguns países sendo usadas para sons de grande intensidade e tempo de duração muito pequeno.

Devemos tomar as seguintes precauções com o medidor de nível de pressão sonora :

↩ **verificar a calibração sempre que for usar o aparelho.** O medidor, por ter um circuito eletrônico, é muito sensível à temperatura, e o seu microfone tem alta sensibilidade à umidade e pressão atmosférica;

↩ **respeitar as características do microfone**, quanto a limites de temperatura, umidade, ângulo de colocação, etc.;

↩ **verificar a bateria** antes de cada medição;

↩ **fazer as devidas correções**, quando utilizar o cabo de extensão;

↩ **usar adequadamente o fundo de escala em dB do aparelho**, para obter maior precisão;

↩ **usar corretamente as curvas de ponderação "A", "B" ou "C"**;

↩ **usar de maneira adequada a constante de tempo.**

3. - Precauções durante as medições

Alguns cuidados devem ser tomados quando medimos os níveis de ruído de um ambiente:

Os principais são :

➔ o medidor deve ser colocado na posição de trabalho dos operários e na altura do ouvido dos mesmos;

➔ deve ser evitada a interferência do vento no microfone do medidor. Para anular esse efeito, existe um dispositivo denominado "windscreen" que evita o "sopro" sobre o microfone;

➔ a distância do medidor à fonte de ruído deve estar de acordo com as Normas ISO 1999, ISO 1966/1 e as recomendações ISO R 131, R 266 e R 495;

➔ devem ser evitadas superfícies refletoras, que não sejam comuns ao ambiente. Assim, deve-se evitar que o corpo da pessoa que faz a medição não interfira nas medidas;

➔ recomenda-se fazer pelo menos 5 medições em cada local;

➔ o principal causador de erros nas medições de ruído é o **Ruído de Fundo**. Trata-se do ruído do ambiente, que não faz parte do ruído daquele local. Para comprovar a sua influência, fazemos o seguinte ensaio : medimos o nível de ruído com a máquina em funcionamento e, em seguida, desligada. No primeiro caso estaremos medindo o ruído total (ruído da máquina + ruído de fundo), e no segundo caso apenas o ruído de fundo. Se a diferença do nível for menor que 3 dB, indica um ruído de fundo bastante intenso, que deve ser levado em consideração nas medições. Para determinarmos o nível de ruído gerado apenas pela fonte, medimos o nível de ruído total L_S com a máquina funcionando e, em seguida, o nível L_N do ruído de fundo. Em seguida subtraímos ($L_S - L_N$) e, através da Tabela 6.2 obtemos o valor, em dB, que deve ser subtraído de L_S para obtenção do nível de ruído emitido pela fonte (máquina).



Tabela 6.2 – Medição com ruído de fundo [dB]

Diferença entre os dois níveis de ruído [Ls – Ln]	Valor a ser subtraído do nível Ls
1	6,7
2	4,4
3	3,0
4	2,2
5	1,7
6	1,4
7	1,0
8	0,8
9	0,7
10	0,6

4. – Alguns Métodos de Medição do Ruído

A seguir, vamos apresentar uma série de métodos de avaliação do ruído em ambientes, com crescente grau de sofisticação. No final, apresentaremos os métodos usados no Brasil, fixados pelas Normas Brasileiras e pela Consolidação das Leis do Trabalho (CLT).

4.1. – Percepção Subjetiva do Ruído (sem o medidor)

Nós percebemos claramente quando estamos num ambiente com ruído pois o nosso aparelho auditivo tem grande sensibilidade para detectar a intensidade do som.

Surge porém uma questão : como saber se os níveis de intensidade sonora devem ser encarados como um problema ou não ? Devemos introduzir um programa de controle de ruído, ou os níveis estão abaixo dos valores prejudiciais à saúde ?

Existem duas maneiras fáceis para constataremos se os níveis de ruído estão se tornando elevados demais, sem o uso do medidor :

★ A primeira é verificar se existe dificuldade de comunicação oral dentro do ambiente. Essa dificuldade é constatada ao se tentar conversar com outras pessoas a um metro de distância com nível normal de voz. Caso haja dificuldade de comunicação, ou necessidade de gritar, ou falar mais próximo da outra pessoa, indicará que o nível de ruído do ambiente está acima do nível da voz (que pode ser tomado próximo de 70 dB).

★ A segunda maneira é constatar se as pessoas, após permanência prolongada no local, sofrem uma diminuição da sensibilidade auditiva (também chamada de sensação de campainha nos ouvidos).

A diminuição da sensibilidade auditiva e o zumbido nos ouvidos são causados por uma proteção natural que contrai os músculos do ouvido médio, proporcionando um amortecimento nas vibrações dos três ossículos. Essa contração permanece por algum tempo, mesmo depois de cessado o ruído, causando uma diminuição da acuidade auditiva.

Caso um desses dois testes releve resultados positivos, existe grande possibilidade dos níveis estarem acima do recomendável. Deve-se portanto, providenciar a imediata avaliação da situação acústica do ambiente.



4.2. – Medição de Ruídos Contínuos

A avaliação dos níveis de ruído contínuos é feita diretamente com o medidor de nível de pressão sonora. Aproximamos o aparelho da fonte, na posição de trabalho do operário e lemos diretamente no aparelho o nível de ruído do local. Por ser um ruído do tipo contínuo, deverá haver pouca variação nos valores marcados pelo mostrador.

O medidor deve estar regulado na curva de ponderação "A" e com a constante de tempo em lenta (Slow = RMS da pressão sonora em 1 segundo).

4.3. – Medição de Ruídos Flutuantes

Existem muitos métodos de medição para ruído flutuantes. Todos eles têm por objetivo encontrar um valor que represente de forma significativa, em decibels, as variações de pressão sonora do som.

Nível Médio de Som Contínuo Equivalente (L_{eq})

As variações de nível de um ruído flutuante podem ser representadas pelo **Nível de Som Contínuo Equivalente**. Nesse método de medição obtemos um nível de ruído contínuo que possui a mesma energia acústica que os níveis flutuantes originais, durante um período de tempo. O princípio da mesma energia assegura a precisão do método para avaliação dos efeitos do ruído sobre o aparelho auditivo, sendo adotado pela Norma ISO, e muitas normas nacionais.

O L_{eq} é definido por:

$$L_{eq} = 10 \cdot \log_{10} \int_0^t \frac{P_a(t)}{P_o} \cdot dt$$

A figura 8.3 mostra o L_{eq} graficamente.

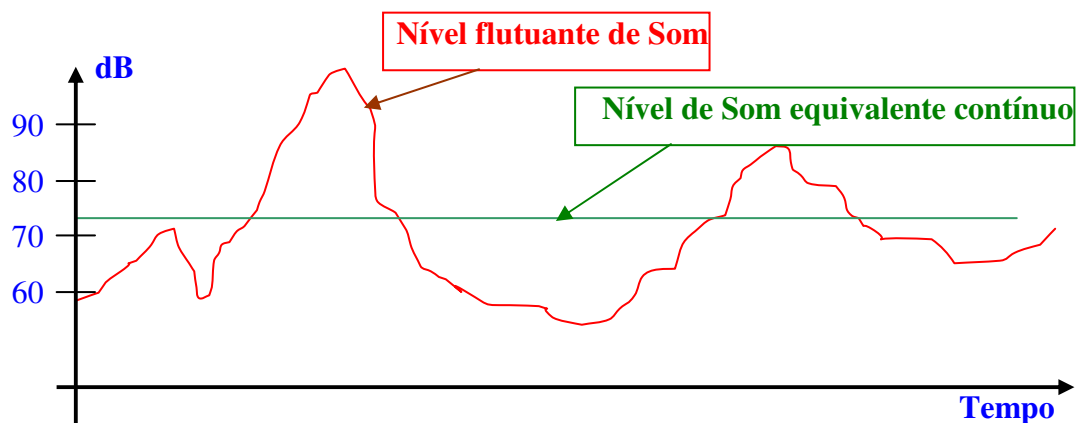




Figura 8.3 – Nível de som equivalente contínuo

Nesse método devemos usar a constante de tempo em "lento" e a ponderação na curva "A", indicando-se por $L_{a\ eq}$. O tempo usado no método pode ser escolhido conforme a indústria ou o tipo de ruído, podendo ser, por exemplo, de 60 segundos, 30 minutos, 1 hora, etc.

Esse método é muito preciso para avaliar o risco auditivo, mas necessita de um medidor que possua a **escala espectral**.

Dose de Ruído

O método de Dose de Ruído é uma variação do Nível de Som Contínuo Equivalente, medido para toda a jornada de trabalho. Existem duas diferenças entre o L_{eq} e a **Dose de Ruído**:

- ✦ o medidor de Dose de Ruído, chamado de **dosímetro**, é um pequeno aparelho que o trabalhador transporta (no bolso da camisa ou preso na cintura) durante toda a jornada de trabalho, com o microfone instalado no abafador de ouvido.

- ✦ enquanto o L_{eq} expressa o ruído em dB, o dosímetro apresenta a medida como uma porcentagem da exposição diária permitida. Caso esse limite seja fixado em 90 dB (A) (em alguns países 85 dB(A)), é calculado o L_{eq} para 8 horas e o medidor acusa a porcentagem da exposição a que foi submetido o operário: se 100 %, equivale que o nível de ruído do ambiente está no limite permitido.

Dessa maneira, o aparelho mede a verdadeira exposição do operário, pois ele acompanha continuamente todos os ruídos que atingiram o operário durante a jornada, fornecendo, no final do dia, o valor médio. Por isso, a medição do ruído através da **dose de ruído** é considerada a forma mais precisa de se avaliar o risco do trabalhador.

O uso do medidor de dose de ruído requer cuidados especiais quanto a exposição a ruídos de impacto.

4.4. – Medição de Sons de Impacto

Os critérios de risco auditivo devido a sons de impacto ainda não estão totalmente definidos. As Normas Internacionais ISO sugerem com aproximação para medição de sons gerados por martelos e rebiteadeiras, o nível medido em dB na curva "A", com resposta lenta, acrescido de 10 dB. Esse critério não é preciso, principalmente para impactos maiores como martelos pneumáticos, britadeiras, prensas hidráulicas, etc., fazendo com que outros métodos sejam aplicados em muitos países. Muitas Normas Nacionais (como a ABNT) adotam a resposta rápida "fast" com a curva "A" ou "C". Algumas Normas Nacionais já estão adotando os limites de ruído de impacto em termos da constante de tempo para "impulso" (0,035 s). Os medidores de nível de ruído mais sofisticados do mercado já possuem a escala impulso.

Outra maneira de medirmos o som de impacto é usar a escala **"valor de pico"** (peak): trata-se não mais da medição da pressão média quadrática RMS em um determinado tempo, mas

sim o valor máximo atingido pela pressão sonora durante a medição. Ensaios mostram que o ouvido humano não pode suportar níveis de impacto superiores a 140 dB(pico).

A Tabela 8.3 mostra os ruídos medidos com diversas constantes de tempo.

Tabela 8.3 – Diferentes formas de medição do ruído de impacto

Constante de Tempo	Fonte de Ruído		
	Martelo manual	Matelete pneumático	Prensa excêntrica
Rápida [0,125 s]	105 dB(A)	112 dB(A)	93 dB(A)
Impulso [0,035 s]	112 dB(A)	113 dB(A)	97 dB(A)
Pico	131 SPL	128 SPL	121 SPL

4.5. – Análise de Frequência

Quando pretendemos fazer um completo programa de controle de ruído ambiental, a análise das frequências desse ruído se torna de grande importância. O conhecimento das frequências de maior nível sonoro do ruído vai nos facilitar o projeto de atenuação dos níveis sonoros, como por exemplo, a escolha de superfícies tratadas acusticamente, o enclausuramento de fontes de ruído, a escolha de protetores auriculares, etc.

A análise em frequência do ruído, porém, necessita de aparelhagem bastante sofisticada, como um medidor de grande precisão e analisador de frequência. Existem medidores de nível de som que possuem o analisador incorporado.

A figura 8.4 mostra uma análise de frequência do ruído de um trator, medido junto ao ouvido do operador.

É importante lembrar que a análise das frequências do ruído se faz apenas em ruídos contínuos e flutuantes; não se faz a análise de frequência de ruídos de impacto.

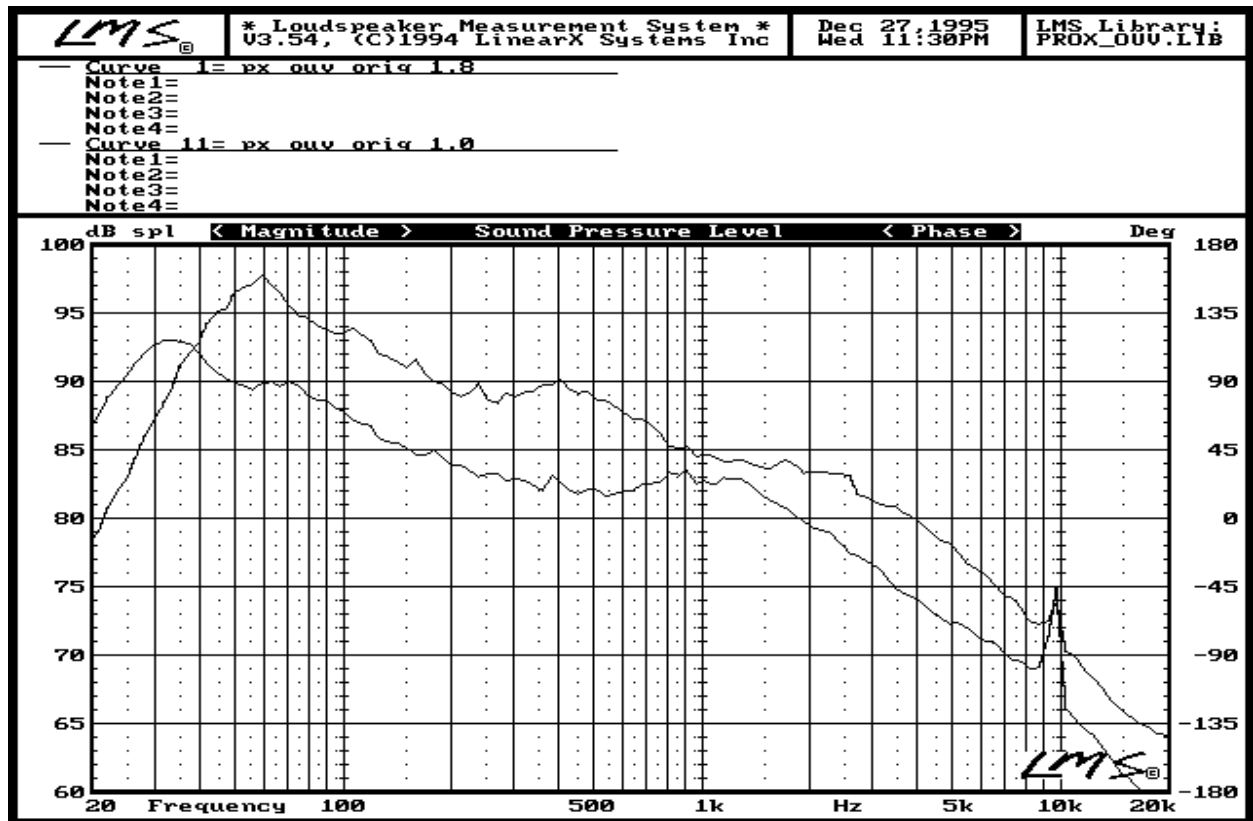


Figura 8.4 – Análise de frequência (espectro) do ruído de um trator, medido junto ao ouvido do operador, para a rotação do motor em 1800 e 1000 rpm.

5. – Os Métodos Usados no Brasil

No Brasil, os critérios para avaliação dos níveis de ruído são poucos e, os existentes, não são claros, dando origem a várias interpretações e não detalhando alguns aspectos.

5.1. - Os métodos das Normas Brasileiras

A Norma Brasileira específica para medição de ruído é a NBR 7731 - "Guia para Execução de Serviços de Medição de Ruído Aéreo e Avaliação de seus Efeitos sobre o Homem". Ela cita que a medição do ruído depende fundamentalmente de 4 aspectos :

- ➔ O tipo do problema do ruído - qual a razão do ruído ser um problema;
- ➔ A categoria do ruído - se se trata de ruído contínuo, flutuante ou de impacto;
- ➔ A categoria do campo acústico - a existência de superfícies refletoras de som;
- ➔ Grau de precisão - a sofisticação das medidas.

A Norma cita os métodos de medição para ruídos contínuos são bem determinados; entretanto as medições dos ruídos impulsivos são muito complicadas e não se acham adequadamente bem estruturadas.

Quanto aos métodos de medição propriamente ditos, a Norma cita três:



→ **Método de levantamento acústico** - é um simples levantamento do campo acústico usando o medidor com a curva de ponderação em "A" ou "C". Se houver necessidade de maior precisão, consultar as Normas IEC 179.

→ **Método de Engenharia Acústica** - a medição é feita por faixas de frequência. Deve-se usar equipamentos de grande precisão de acordo com as Normas Internacionais.

→ **Método Acústico de Precisão** - é um método de medida "tão preciso quanto possível". Deve ser feita a análise do ruído por faixas de frequência, utilizando-se até de laboratórios de acústica.

A análise dos resultados deve ser feita de acordo com as Normas ISO.

5.2. - Os Métodos da C.L.T.

Os métodos de medição do ruído e a avaliação dos seus danos auditivos fixados pela C.L.T. são os únicos no Brasil com força de lei. Portanto, se uma empresa for multada por atividades insalubres causadas por excesso de ruído, a fiscalização estará fundamentada nos métodos da C.L.T. Esses métodos estão na Norma Regulamentadora Nº 15 (NR15) da Portaria 3.214 e são um pouco mais objetivas que a NBR 7731, mas ainda deixam alguns pontos vagos.

Os métodos da NR 15 são :

➤ Os níveis de ruído contínuo ou flutuante devem ser medidos com medidor de nível de pressão sonora na curva de equalização "A" e com resposta lenta (slow). As leituras devem ser feitas próximas ao ouvido do trabalhador.

➤ Os ruídos de impacto (são definidos como aqueles que apresentam picos de energia acústica com duração menor que 1 segundo), a medição deve ser feita em circuito "linear" ou "impacto" próximo do ouvido do trabalhador. Caso o medidor não disponha de um medidor com resposta "impacto", será válida a leitura feita na resposta rápida (fast) e ponderação na curva "C".

Sempre devem ser realizadas várias medições (trabalhando-se com a média), com o medidor posicionado próximo ao ouvido do trabalhador.

Embora a Portaria 3.214 não detalhe os métodos de medição (*principalmente no que se refere a ruídos flutuantes*), as suas colocações são diretas e objetivas.





CAPÍTULO 9

Avaliação dos Efeitos do Ruído sobre o Homem

Nos últimos anos, os altos níveis de ruído se transformaram em uma das formas de poluição que atinge maior número de pessoas.

A poluição sonora não se restringe apenas à regiões de grande concentração industrial, como a poluição atmosférica; nem a estritas regiões, como a poluição radiativa; nem a regiões produtoras de álcool, como a poluição dos rios. O barulho está presente em qualquer comunidade, em qualquer tipo de trânsito de veículos, em qualquer processo fabril, em qualquer obra civil.

O Brasil é um dos líderes mundiais em nível de ruído. Eis alguns dados : as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro estão entre as cinco de maior nível de ruído do mundo ; nessas cidades o ruído alcança, em média 90 a 95 dB, com picos de 105 dB. Apenas 5 % da população com problemas auditivos recorre a médicos, mas se vende mais de 30 mil aparelhos auditivos por ano.

Costuma-se dividir os efeitos do ruído sobre o homem em duas partes: os que atuam sobre a **saúde e bem estar** das pessoas e os **efeitos sobre a audição**.

1. - Efeitos sobre a saúde e bem estar das pessoas

Quando uma pessoa é submetida a altos níveis de ruído, existe a reação de todo o organismo a esse estímulo.

As alterações na **resposta vegetativa** (*involuntária ou inconsciente*) são :

☆ Principais alterações **fisiológicas reversíveis** são :

- ↙ Dilatação das pupilas;
- ↙ Hipertensão sangüínea;
- ↙ Mudanças gastro-intestinais;
- ↙ Reação da musculatura do esqueleto;
- ↙ Vaso-constricção das veias;

⌚ Principais mudanças **bioquímicas** :

- ↙ Mudanças na produção de cortisona;
- ↙ Mudanças na produção de hormônio da tiróide;
- ↙ Mudança na produção de adrenalina;
- ↙ Fracionamento dos lipídios do sangue;
- ↙ Mudança na glicose sangüínea;
- ↙ Mudança na proteína do sangue;

⌚ Os efeitos **cardio-vasculares** são :

- ↙ Aumento do nível de pressão sangüínea - sistólico;
- ↙ Aumento do nível de pressão sangüínea - diastólico;
- ↙ Hipertensão arterial.



A figura 9.1 mostra os principais efeitos do ruído sobre o organismo.

Quanto ao bem **estar das pessoas**, o ruído pode ser analisado de várias formas :

- ★ Exposição ao ruído **no ambiente comunitário** :
 - Níveis mais baixos que os ocupacionais ;
 - Alto grau de incômodo - fator adicional de estresse ;
- Em ensaios com 1.000 pessoas ☒ as pessoas submetidas a níveis maiores que 70 dB(A), houve alto índice de hipertensão arterial, grupo mais suscetível as pessoas entre 29 e 39 anos.

- ★ Efeito do ruído **durante o sono** :
 - O efeitos dependem do estímulo sonoro, sua intensidade, da largura banda, duração, frequência, como também da idade da pessoa.
 - Como efeitos primários ocorreram : aumento da frequência cardíaca, vasoconstrição periférica, movimentação do corpo.
 - Com o aumento do nível de ruído, notou-se que acima de 39 dB(A) há uma diminuição do sono;
 - Com o aumento do nível de ruído, ao atingir 64 dB(A), 5 % das pessoas já haviam acordado, e com 97 dB(A), 50 % acordaram.
 - Como efeitos secundários (*no dia seguinte*) ocorreram : mudança na disposição, mudança no rendimento, perda da eficiência, queda de atenção, aumento do risco de acidentes.

Quanto aos **efeitos sociológicos** pode-se citar :

- Em relação à **reação da comunidade** :
 - ↖ Irritação geral e incômodo;
 - ↖ Perturbação na comunicação conversação, telefone, rádio, televisão;
 - ↖ Prejudica o repouso e o relaxamento dentro e fora da residência;
 - ↖ Perturbação do sono;
 - ↖ Prejudica a concentração e performance ;
 - ↖ Sensação de vibração ;
 - ↖ Associação do medo e ansiedade;
 - ↖ Mudança na conduta social;

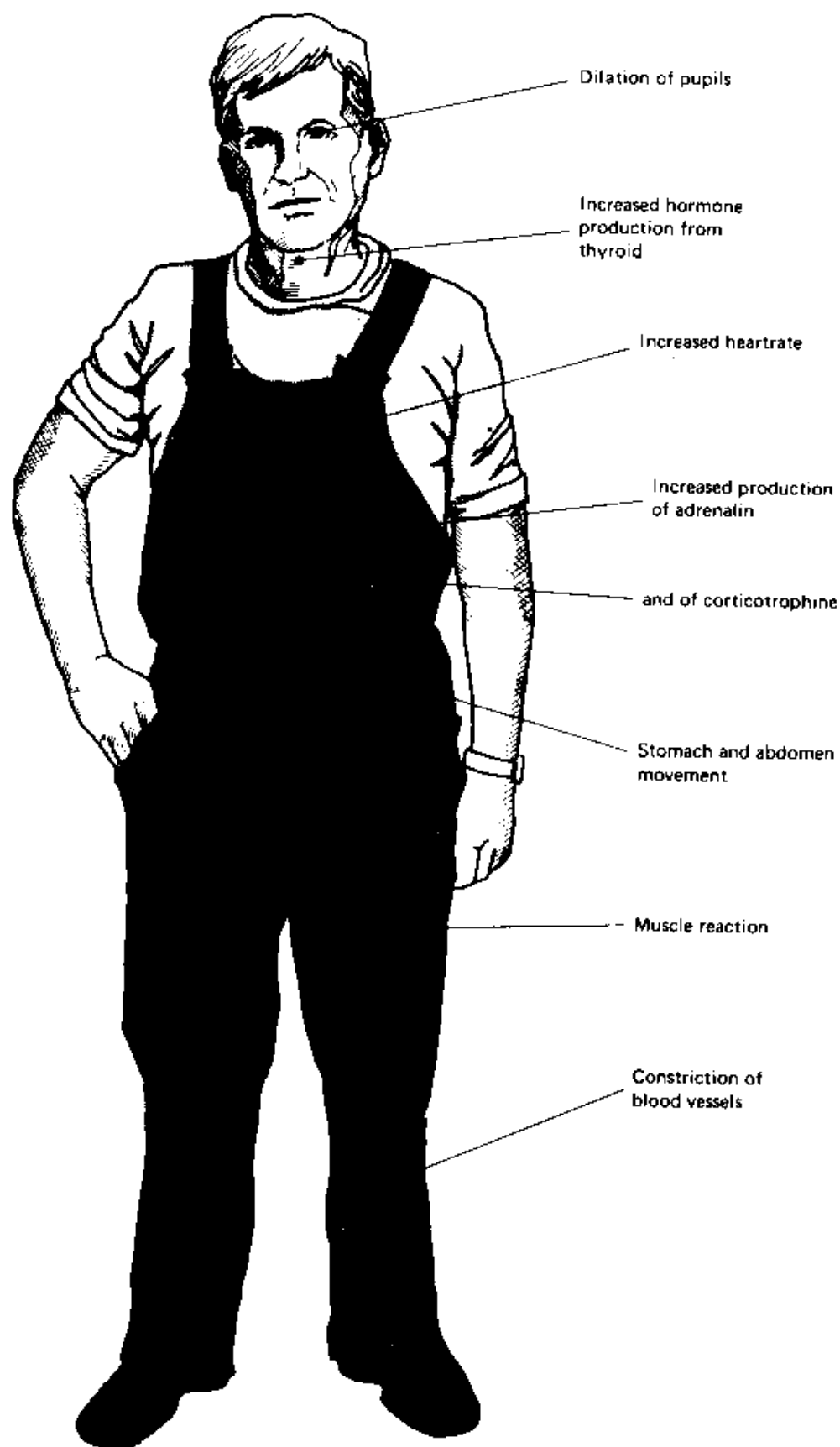
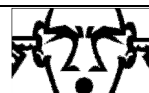


Figura 9.1 - Efeitos do excesso de ruído sobre o organismo



✂ Tipos de **reação das pessoas** :

↩ Longo tempo de exposição **não** habitua ao incômodo ;

↩ Conforme o tipo do ruído o grau do incômodo é diferente ;

↩ Conforme a sensibilidade, o grau de incômodo difere para vários tipos de ruído ;

↩ O incômodo para diversos tipos de ruído é equalizado com o uso de Leq (nível equivalente contínuo).

2. - Efeitos sobre o aparelho auditivo

Os efeitos do ruído sobre o aparelho auditivo são os únicos reconhecidos pela legislação brasileira, e podem ser divididos em 3 fases :

■ **mudança temporária do limiar auditivo (TTS):** é um efeito a curto prazo que representa uma mudança da sensibilidade da audição, dependendo da suscetibilidade individual, do tempo de exposição, da intensidade do ruído. Essa queda do limiar retorna gradualmente ao normal depois de cessada a exposição. Eis alguns dados sobre o TTS :

↯ Os ruído de alta frequência produzem mais TTS;

↯ A banda de 2.000 a 6.000 Hz produzem mais TTS;

↯ Para a maioria das pessoas, os níveis acima de 60 a 80 dB(A) provocam mudança no limiar auditivo;

↯ A recuperação dos limiares normais se dá proporcional ao logarítmo do tempo;

↯ A maior parte do TTS se recupera nas primeiras 2 ou 3 horas.

■ **mudança permanente do limiar auditivo :** é decorrente de um acúmulo de exposições ao ruído. Inicia-se com zumbido, cefaléia, fadiga e tontura. A seguir o indivíduo tem dificuldade em escutar os sons agudos como, o tique-taque do relógio, as últimas palavras de uma conversação, o barulho da chuva, além de confundir os sons em ambientes ruidosos. Numa última fase, o déficit auditivo interfere diretamente na comunicação oral, tornando-a difícil ou praticamente impossível. Pode aparecer também um zumbido permanente que piora as condições auditivas e perturba o repouso. Alguns autores afirmam que a mudança permanente do limiar auditivo é o resultado de repetidas mudanças temporárias de limiar.

■ **trauma acústico :** é definido como uma perda súbita da audição, decorrente de uma única exposição ao ruído muito intenso. Geralmente aparece o zumbido, podendo haver o rompimento da membrana timpânica.

2.1. - Mecanismo da Perda Auditiva

As perdas de audição causadas por exposição ao ruído (**PAIR = Perda de Audição Induzida Por Ruído**) se caracterizam por iniciarem na faixa de 3000 Hz a 5000 Hz, sendo mais aguda em 4000 Hz. Esse processo é facilmente constatado através de um exame audiométrico, aparecendo como uma curva em forma de "V". As figuras 9.2, 9.3, 9.4 e 9.5 mostram a evolução da perda auditiva (linha vermelha = ouvido direito; linha azul = ouvido esquerdo).

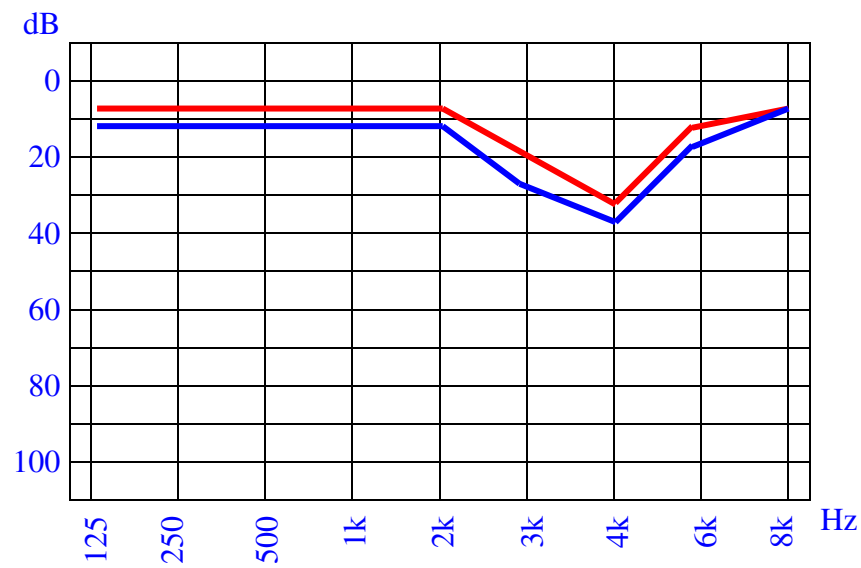


Figura 9.2 – Início da PAIR – Audiograma de um operador de martetele pneumático; Ruído no local : 110 dB; idade : 24 anos; tempo de exposição: 3 anos

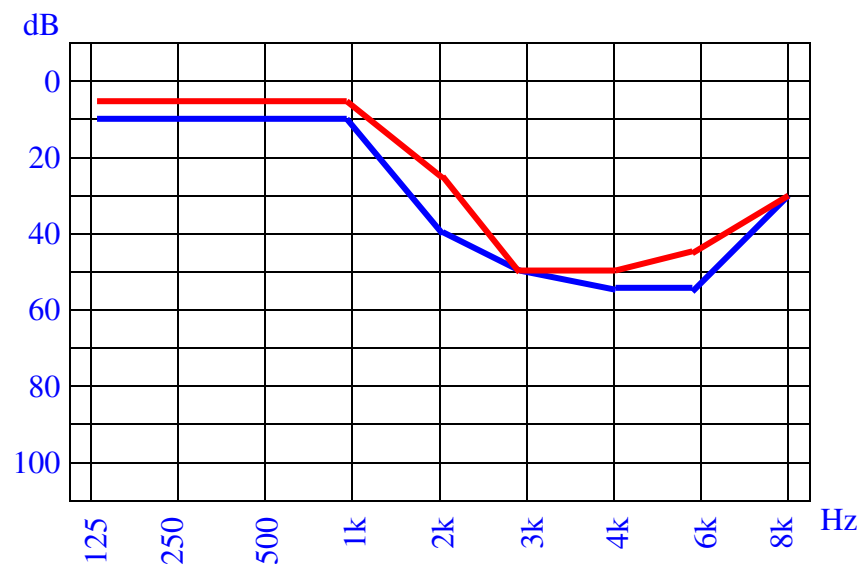


Figura 9.2 – Aumento da PAIR – Audiograma de um forjador; Ruído no local : 120 dB; idade: 41 anos; tempo de exposição: 12 anos

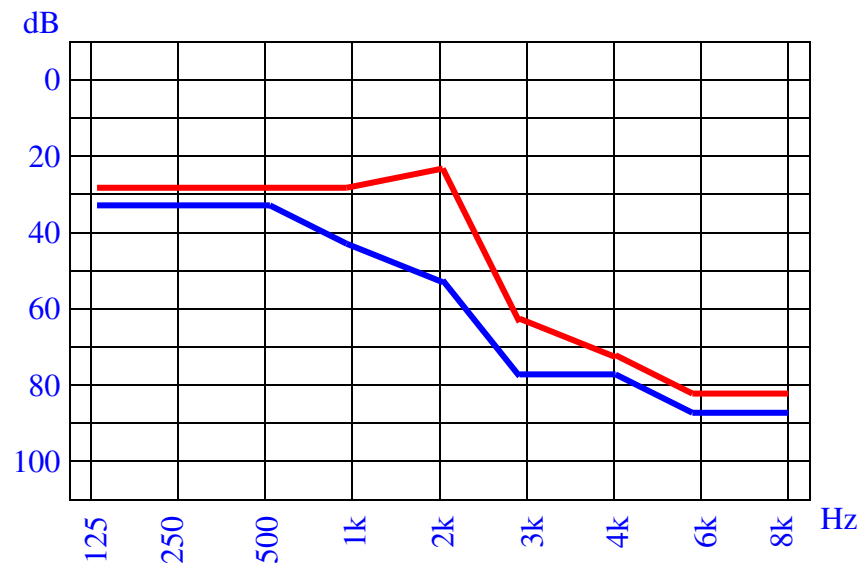


Figura 9.4 – Aumento da PAIR – Audiograma de um operador de martelete pneumático; Ruído no local : 110 dB; idade : 24 anos; tempo de exposição: 3 anos

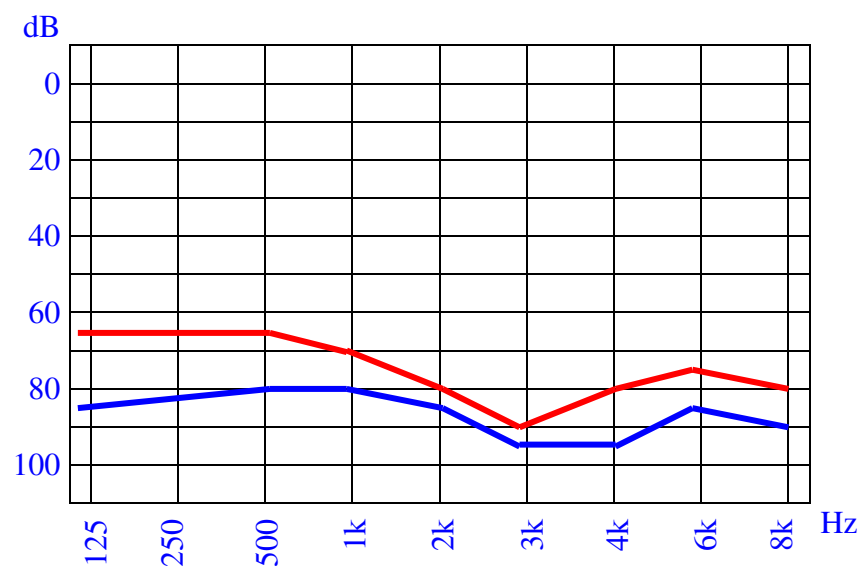


Figura 9.5 – Aumento da PAIR – Audiograma de um forjador; Ruído no local : 120 dB; idade: 33 anos; tempo de exposição: 10 anos



2.2. - Fatores que influem na perda auditiva

São 4 os fatores que contribuem para a perda auditiva :

- O nível de intensidade sonora NIS;
- O tempo de exposição;
- A frequência do ruído;
- A susceptividade individual.

Os 3 primeiros itens são conhecidos e fáceis de se medir. O 4º item (susceptividade individual) é bastante interessante, pois indivíduos que se encontram num mesmo local ruidoso podem reagir de maneiras diferentes: alguns são extremamente sensíveis ao ruído, enquanto outros parecem não ser atingidos pelo mesmo.

3. - Níveis de ruído confortáveis e perigosos

Os efeitos do ruído podem ser tratados de duas formas : do ponto de vista do **conforto**, e do ponto de vista da **perda da audição**.

Sobre **conforto**, os níveis recomendados estão na Norma Brasileira NBR 10152 (ou ABNT NB-95), e podem avaliados através das curvas NC (Noise Criterion), ou pela medição do ruído em dB(A). Esta avaliação já foi discutida em capítulo anterior.

Quanto aos **problemas de saúde causados pelo ruído**, não existe um valor exato de nível sonoro que, a partir do qual existe perda de audição. Como já vimos, existem pessoas mais sensíveis ao ruído, enquanto outras não acusam tal problema.

Em função das últimas pesquisas médicas, algumas afirmações podem ser feitas :

⇔ Pessoas expostas ao nível de 85 dB(A), a maioria acusa TTS como também perda permanente de audição. Quase a totalidade demonstram descon-forto acústico.

⇔ Pessoas submetidas ao nível de 80 dB(A), entre 5 e 10 % acusou perda permanente de audição.

⇔ Pessoas submetidas a níveis entre 78 e 80 dB(A), entre 2 e 5 % acusou perda permanente de audição.

Vamos comparar esses dados com as exposições que as leis permitem para os trabalhadores.

4. - Exposições Permissíveis ao Ruído

A tabela 9.1. apresenta os critérios adotados como limite de exposição ao ruído para diversas Normas Nacionais de países.



Tabela 9.1 - Limite de exposição ocupacional ao ruído conforme as Normas Nacionais de diversos países.

País	Nível de Ruído dB(A)	Tempo de Exposição (h) ①	Taxa de divisão dB(A)	Nível Máximo dB(A)	Nível de Ruído de impacto (dB)
■ Alemanha Oc.	90	8		--	--
■ Alemanha Or.	85	8		--	--
♦ Alemanha	85	8	3		
■ Japão	90	8		--	--
● França ②	90	40	3	--	--
● Bélgica	90	40	5	110	140
● Inglaterra	90	8	3	135	150
♦ Inglaterra	83	8	3		
● Itália	90	8	5	115	140
♦ Itália	90	--	3	115	--
♦ Itália	85	8	3		
● Dinamarca	90	40	3	115	--
■ Suécia	85	40	3	115	--
■ USA - OSHA	90	8	5	115	140
■ USA - NIOSH	85	8	5	--	--
● Canadá	90	8	5	115	140
● Austrália	90	8	3	115	--
♦ Austrália	85	8	3		
■ Holanda	80	8		--	--
♦ Holanda	80	8	3		
♦ Espanha ③	--	--	--	110	--
♦ Espanha	85	8	3		
♦ Turquia ③	95	--	--	--	--
♦ China	70 - 90	8	3		
♦ Finlândia	85	8	3		
♦ Hungria	85	8	3		
♦ Nova Zelândia	85	8	3		
♦ Israel	85	8	5		
♦ Noruega	85	8	3		
■ Brasil	85	8	5	115	130
■ segundo GERGES (1988); ● segundo HAY (1975); ♦ segundo HAY (1982); ♦ segundo SOBRAC (1995) ① Tempo de exposição diária ou semanal. ② Estabelece nível contínuo de prevenção = 85 dB(A) ③ Estabelece nível contínuo de prevenção = 80 dB(A) OSHA : Occupational Safety and Health Administration. NIOSH : National Institute for Occupational Safety and Health.					



5. - Critérios usados na Brasil

A **Norma Brasileira NR 7731**, cita que os critérios para avaliação do risco auditivo são encontrados nas Normas Internacionais **ISO R 1999**, **ISO R 1996** e **ISO R 532**, já descritos no item 5.4.1. Essa Norma porém não tem aplicação prática na área de Engenharia de Segurança do Trabalho.

A C.L.T. é bem mais objetiva que as Normas Brasileiras. Na Portaria Nº 3.214, de 08/06/78, na Norma Regulamentadora nº 15, Anexo Nº 1, são estabelecidas todas as condições de insalubridade por ruído.

É importante lembrar que a Portaria Nº 3.214 pertence ao Capítulo V, Título II da Consolidação das Leis do Trabalho. Portanto, essa Portaria tem força de lei, sendo obrigatório o seu cumprimento em todo o território nacional. O mesmo não acontece com as Normas Brasileiras.

Para ruídos contínuos ou flutuantes a NR 15 apresenta uma tabela com a máxima exposição diária permissível, como reproduzida na tabela 9.2.

Devemos notar que a Portaria Nº 3.214 é rigorosa ao atuar sobre níveis de ruído acima de 85 dB(A) (e não 90 dB(A) como outras normas), mas se torna mais menos exigente ao usar como taxa de divisão 5 dB(A).

Existe uma tendência mundial em se adotar como início da prevenção o nível de 80 dB(A), e uma taxa de divisão de 3 dB(A). A legislação da Comunidade Europeia para Segurança do Trabalho já estipulou esses dados, assim como a NIOSH (USA) estuda modificações em suas normas.

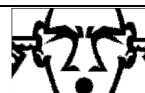
Para períodos de exposição a níveis diferentes deve ser efetuada a soma das seguintes frações:

$$\frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \frac{C_3}{T_3} + \frac{C_4}{T_4} + \dots + \frac{C_n}{T_n}$$

onde : C_n = tempo de exposição a um nível de ruído

T_n = exposição diária permitida para aquele nível.

Se a soma das frações ultrapassar a unidade, a exposição estará acima do limite de tolerância.



Para **ruído de impacto**, os níveis superiores a **140 dB(linear)** medidos na resposta de impacto, ou superiores a **130 dB(C)** medidos na resposta rápida (fast), oferecerão risco grave e iminente.

Tabela 9.2. - Limites de Tolerância para ruído contínuo ou flutuante

Nível de Ruído dB(A)	Máxima Exposição Diária Permissível
85	8 horas
86	7 horas
87	6 horas
88	5 horas
89	4 horas e 30 min.
90	4 horas
91	3 horas e 30 min.
92	3 horas
93	2 horas e 30 min.
94	2 horas e 15 min.
95	2 horas
96	1 hora e 45 min.
98	1 hora e 15 min
100	1 hora
102	45 minutos
104	35 minutos
105	30 minutos
106	25 minutos
108	20 minutos
110	15 minutos
112	10 minutos
114	8 minutos
115	7 minutos





CAPÍTULO 10

O Controle do Ruído

Controle do Ruído são medidas que devemos tomar, no sentido de atenuar o efeito do ruído sobre as pessoas. Controle não significa supressão da causa, mas sim, uma manipulação do efeito.

É importante lembrar que não existem soluções mágicas que indiquem quais as medidas que irão solucionar um problema de excesso de barulho. Nós devemos utilizar os nossos conhecimentos sobre acústica, além de um conhecimentos detalhado do processo industrial.

Antes de uma análise mais detalhada do problema, devemos observar alguns dados de ordem geral, para termos uma idéia mais precisa sobre a dimensão da questão e, ao mesmo tempo, provocarmos reflexões quanto a soluções.

Eis alguns fatores que devem ser observados :

- ↑ Avaliação da exposição individual;
- ↑ Características do campo acústico;
- ↑ Condições de comunicação oral;
- ↑ Tipo de ruído;
- ↑ Tipo de exposição;
- ↑ Número de empregados expostos;
- ↑ Características do local;
- ↑ Ruído de fundo.

De um modo geral, o **controle do ruído** pode ser executado tomando-se as seguintes medidas :

- ➡ Controle do ruído na fonte;
- ➡ Controle do ruído no meio de propagação;
- ➡ Controle do ruído no receptor.

A **fonte** é a própria causa do ruído. O **meio** é o elemento transmissor do ruído, que pode ser o ar, o solo ou a estrutura do prédio. O **receptor** é o operário. É importante esclarecermos a hierarquização dos 3 elementos envolvidos no fenômeno : em primeiro lugar o controle na fonte, depois o controle no meio e, por último o controle no operário.

1. - Controle do Ruído na Fonte

O ruído na fonte pode ser causado por fatores:

- ↻ mecânicos;
- ↻ pneumáticos;
- ↻ explosões e implosões;
- ↻ hidráulicos;
- ↻ magnéticos.



As **causas mecânicas dos ruídos** são devido à choques, atritos ou vibrações. Portanto, devemos observar nas fontes causadoras de ruído, a possível substituição do elemento nessas condições, ou então, a diminuição da intensidade desses choques, atritos ou vibrações. Como exemplo, colocamos alguns processos de alto nível de ruído e seu equivalente menos ruidoso:

- ↙ rebiteagem pneumática ⤿ solda
- ↙ equipamentos pneumáticos ⤿ equipamentos elétricos ou mecânicos
- ↙ trabalho de metal a frio ⤿ trabalho de metal a quente
- ↙ trabalho por jato de ar ⤿ trabalho mecânico
- ↙ queda de materiais ⤿ transporte contínuo.

Os **ruídos pneumáticos** ocorrem pela turbulência do ar dentro do duto, e por vibrações da tubulação. Geralmente esses ruídos são causados por variações da secção do duto ou por sua rugosidade superficial interna. O maior ruído causado por fontes pneumáticas reside no escape do gás sob pressão. As soluções podem ser :

- ↓ Diminuição da turbulência pela diminuição da secção dos dutos;
- ↓ Câmaras atenuadoras;
- ↓ Câmaras de expansão de gases;
- ↓ Desvios para atenuação de várias frequências;
- ↓ Câmaras com material absorvente
- ↓ Projetos de bicos de jatos de gás com atenuadores de pressão.

As **causas hidráulicas** são semelhantes às pneumáticas. Devemos lembrar que, em tubulações hidráulicas, podem ocorrer bolhas e o fenômeno da cavitação, que são grandes causadores de ruído. A solução para o ruído em sistemas hidráulicos é a eliminação de grandes variações de pressão.

As **explosões e implosões** se referem a mudança súbita de pressão da gás contido numa câmara. Para máquinas que trabalham a explosão, dada a própria natureza da máquina, controlar a explosão significa mudar a essência da máquina. Nesses casos procuramos controlar o ruído na trajetória.

As **causas magnéticas** são devidas a vibração das bobinas elétricas.

Devemos sempre ter em mente que os choques, atritos e vibrações são causas de ruídos em máquinas. Eis alguns exemplos que mostram isso :

- ↖ Enrijecimento de serras circulares;
- ↖ Substituição de engrenagens metálicas por plástico;
- ↖ Redução da área vibrante;
- ↖ Balanceamento;
- ↖ Diminuição da rotação de exaustores.

Outro fator importante que não devemos esquecer é a manutenção . Eis algumas sugestões :

- 📄 Boa lubrificação onde há atrito;
- 📄 Motores a explosão bem regulados;
- 📄 Abafadores e silenciadores de motores conservados;
- 📄 Motores bem balanceados.



2. - Controle do Ruído no Meio de Propagação

Quando não é possível o controle do ruído na fonte, ou a redução obtida foi insuficiente, então devemos passar a considerar medidas que visem controlar o ruído na sua trajetória de propagação.

Podemos conseguir isso de duas maneiras :

- ↻ Evitando que o som se propague a partir da fonte;
- ✂ Evitando que o som chegue ao receptor.

Isolar a fonte significa construir barreiras que separem a máquina do meio que a rodeia, evitando que o som se propague. Isolar o receptor significa construir barreiras o meio do operário. Em qualquer uma das opções teremos vantagens e desvantagens : o isolamento da fonte teremos a dificuldade de evitarmos a propagação do som, pois a energia acústica é maior em torno da fonte; enquanto teremos a vantagem do ruído não se propagar por todo o ambiente, mantendo o local salubre. O isolamento do receptor tem a facilidade de isolarmos o som, pois ao chegar ao receptor sua intensidade será pequena, mas teremos a desvantagem da propagação do som por todo o ambiente.

O som utiliza duas vias de propagação :

- o ar
- a estrutura.

2. 1. - Redução da Propagação do som pelo ar.

Só podemos controlar a transmissão do som pelo ar através de obstáculos à sua propagação.

Antes porém, cabe lembrar que os sons de baixa frequência se transmitem mais facilmente pelo ar que os sons de alta frequência. Assim, quando possível, devemos transformar os ruídos para a faixa mais aguda do espectro, fazendo com que percam sua intensidade numa distância menor.

O isolamento do som na fonte ou no receptor pode ser feito por paredes, que obedecem os princípios de propagação descritos no Capítulo 2º desta apostila. A figura 2.1 mostra as quantidades de energia acústica que são refletidas, absorvidas ou transmitidas, definindo os seus coeficientes. As tabelas 2.3, 2.4, e 2.5 mostram os coeficientes de absorção de vários materiais

2.1.1. - Isolamento da fonte

O isolamento da fonte tem como vantagem a não propagação do som por todo o ambiente.

Existem 3 maneiras de isolar a fonte de ruído :

- 👉 Executando a operação ruidosa à distância, e fazendo a proteção individual apenas se necessário;



- ✎ Executando a operação ruidosa fora do turno de trabalho e protegendo os operários envolvidos;
- ✎ Isolando acusticamente a máquina.

A terceira hipótese é a mais usada e pode ser muito eficiente se bem projetada. No **enclausuramento da fonte**, como é conhecida, devemos usar uma caixa que cobre a máquina, isolando-a acusticamente do meio externo. A construção do enclausuramento deve ser de material isolante e, se possível, internamente com material absorvente. As tabelas 2.3, 2.4 e 2.5 mostram o coeficiente de absorção de alguns materiais, e as tabelas 2.6 e 2.7 apresentam a transmissão do som através de alguns materiais.

2.1.2. - Mudança das condições acústicas do local

Alterando as condições de propagação do som, podemos diminuir o ruído de um local. Para tal precisamos estudar a situação em que se encontra a fonte de ruído e as condições de reflexão, absorção ou difração do som no local.

2.1.3. - Isolamento do Receptor

Caso a opção seja o isolamento do receptor, isso pode ser feito através de painéis ou paredes. O isolamento do receptor só é possível para os operários que não trabalhem diretamente na máquina. É bastante usado para separar o pessoal da administração, escritórios, controle de qualidade, almoxarifado, etc. As tabelas 2.6 e 2.7 mostram as condições de audibilidade do som através de uma parede.

Quando isolamos o pessoal em salas e escritórios, não podemos nos esquecer das portas e janelas, que geralmente são os pontos mais vulneráveis do isolamento. A vedação da janela se faz com dois vidros, de espessuras diferentes e, separados por alguns centímetros. Quanto as portas, há a necessidade de se projetar portas e batentes especialmente com vedação acústica.

2.2. – Redução da Propagação do Ruído pela Estrutura

O som pode se propagar não só pelo ar, mas também pela estrutura do prédio, alcançando grandes distâncias. Isso ocorre quando a máquina em funcionamento, gera uma vibração no solo, que se propaga, fazendo toda a estrutura vibrar e, gerando o ruído. Mesmo existindo a atenuação do ruído aéreo, o som alcançará o ambiente via estrutura.

3. - Controle do Ruído no Receptor

Quando todas as medidas de controle de ruído falharem, devemos considerar a proteção individual. Devemos sempre lembrar que recorreremos ao controle individual somente em casos extremos e nunca como primeira ou única medida.

Antes da aplicação de aparelhos de proteção individual, existem algumas medidas que podem diminuir os efeitos do ruído sobre os operários. Eis algumas :



★ Rotação de turnos : a diminuição do tempo de exposição diminui o risco de perda auditiva. Essa rotação é de difícil aplicação na prática e cria sérios problemas à produtividade.

★ Cabines de repouso : são cabines a prova de som, onde o trabalhador exposto a altos níveis de ruído pode descansar por alguns minutos. Na Europa, muitas empresas têm implantado essas cabines. Normalmente o tempo de repouso é de 5 minutos para cada 55 minutos de trabalho.

O pesquisador de doenças do trabalho Dr. W. Dixon Ward descobriu que o problema de expor uma pessoa ao ruído intenso e depois deixá-la repousar, faz com que o tempo de recuperação da sensibilidade auditiva seja cada vez maior. Assim, fica em dúvida a eficiência das cabines de repouso ou os ciclos de exposição/repouso, bem como a rotação de turnos.

3.1. - Os Protetores Individuais

O último dos recursos a ser considerado num problema de redução dos efeitos do ruído são os protetores individuais. Podem ser de 4 tipos :

- de inserção (tampões)
- supra-auriculares
- circum-auriculares (conchas)
- elmos (capacetes).

Os protetores de inserção são dispositivos colocados dentro do canal auditivo, podendo ser descartáveis ou não-descartáveis. Os descartáveis podem ser de material fibroso, ou de cera, ou de espuma. Os não-descartáveis, de borracha, devem ser esterilizados todos os dias. Os de espuma (moldável), são descartáveis, perdendo sua eficiência na primeira lavagem.

Os protetores supra-auriculares são provisórios, e usados em visitas e inspeções. São bastante incômodos e proporcionam pequena proteção contra o ruído.

Os protetores circum-auriculares, também conhecidos como conchas, são semelhantes aos fones de ouvido, recobrem totalmente o pavilhão auditivo, assentando-se no osso temporal. Fornecem uma boa proteção ao ruído, ao mesmo tempo permitindo uma boa movimentação do operário e reduzindo as precauções higiênicas ao mínimo.

Os protetores de elmo (capacetes) são pouco usados. Eles cobrem hermeticamente a cabeça, se constituindo numa tentativa de solucionar os problemas de ruído, proteção dos olhos, respirador e capacete. Tiram a liberdade de movimentação do operário, além de causar ressonâncias internas que podem aumentar os problemas de ruído.

Atualmente, os protetores mais usados são os de inserção (pugs ou tampões) e os circum auriculares (conchas).



3.2. - Comparação entre os protetores auditivos

A tabela 10.1 nos mostra uma comparação entre as conchas e os tampões.

É importante lembrar que :

- ☐ os protetores tipo concha são mais eficientes que os tampões;
- ☐ ambos os tipos são mais eficientes a altas frequências, sendo praticamente nula a sua proteção para sons graves;
- ☐ a utilização de protetores auriculares em uma empresa deve ser precedida de um programa de treinamento e conscientização dos funcionários;
- ☐ os protetores de inserção (tampões) são de difícil adaptação, podendo gerar infecções e irritações na canal auditivo;
 - ☐ a atenuação citada pelas indústrias de protetores, se refere à ensaios realizados em laboratório, dificilmente alcançada no ambiente industrial.

Devemos sempre lembrar que os protetores individuais diminuem o contato do trabalhador com o meio ambiente. Isso tem sérios desdobramentos, como :

- ↪ Aumento dos acidentes de trabalho;
- ↪ Não comunicação com os outros funcionários;
- ↪ Aumento da tensão e irritação;
- ↪ Queda da produtividade.

Portanto os protetores individuais devem ser considerados apenas como última solução, ou numa situação de emergência.

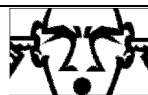


Tabela 10.1. - Comparação entre conchas e tampões

Conchas	Tampões
Eliminam ajustes complexos de colocação. Podem ser colocados perfeitamente por qualquer pessoa	Devem ser adequados a cada diâmetro e longitude do canal auditivo externo
São grandes e não podem ser levados facilmente nos bolsos das roupas. Não podem ser guardados junto com as ferramentas.	São fáceis de carregar. Mas são fáceis de esquecer ou perder.
Podem ser observados a grande distância, permitindo tomar providências para a comunicação oral.	Não são vistos ou notados facilmente e criam dificuldade na comunicação oral.
Interferem com óculos pessoais ou EPIs.	Não dificultam o uso de óculos ou EPIs.
Podem ajustar-se mesmo quando se usam luvas	Devem-se tirar as luvas para poder colocá-lo.
Podem acarretar problemas de espaço em locais pequenos e confinados.	Não produzem problemas por limitação de espaço.
Podem produzir contágio somente quando usados coletivamente.	Podem infectar ou lesar ouvidos sãos.
Podem ser confortáveis em ambientes frios, mas muito desagradáveis em ambientes quentes.	Não são afetados pela temperatura ambiente.
Sua limpeza deve ser feita em locais apropriados.	Devem ser esterilizados freqüentemente.
Podem ser usados por qualquer pessoa, de ouvidos sãos ou enfermos.	Podem ser inseridos apenas em ouvidos sãos.
O custo inicial é grande, mas sua vida útil é longa.	O custo inicial é baixo, mas sua vida útil é curta.





CAPÍTULO 11

Programa de Redução do Ruído Ambiental e Proteção Auditiva

Este capítulo tem como objetivo ser um guia técnico de análise dos problemas de ruído em um ambiente de trabalho, e as principais formas de combatê-los. É evidente que um *programa de controle de ruído ambiental* não tem regras fixas aplicáveis a todos os casos, mas podemos ordenar algumas medidas de caráter geral, bastante úteis ao Engenheiro que pretenda atacar o problema do ruído.

Como o risco de perda auditiva é a principal consequência do ruído e, juridicamente, o principal problema, o técnico deve, antes de mais nada, ter em mãos os audiogramas dos operários, referentes à data de admissão. Se a empresa tiver os valores audiométricos dos seus funcionários a cada 6 meses, ainda melhor. O importante é que o Engenheiro tenha um histórico da sensibilidade auditiva dos empregados.

1. - Guia para Detecção do Problema

O diagrama de blocos apresentado na Figura 11.1 nos dá uma maneira de determinar a existência do problema do ruído e, portanto, a conseqüente necessidade de aplicarmos um ***programa de redução do barulho e de proteção auditiva***. As etapas a serem seguidas são as seguintes (*acompanhar a numeração com o diagrama*) :

- 1 Devemos suspeitar que os níveis de ruído possam estar se tornando um problema, em duas situações : quando ocorrer dificuldades de comunicação oral e/ou quando sentirmos a perda da sensibilidade auditiva ao sairmos do local ruidoso (sensação de zumbido nos ouvidos). Esses dois fatos acusam que os níveis de barulho devem estar acima de 75 dB e, portanto, atingindo a faixa perigosa.

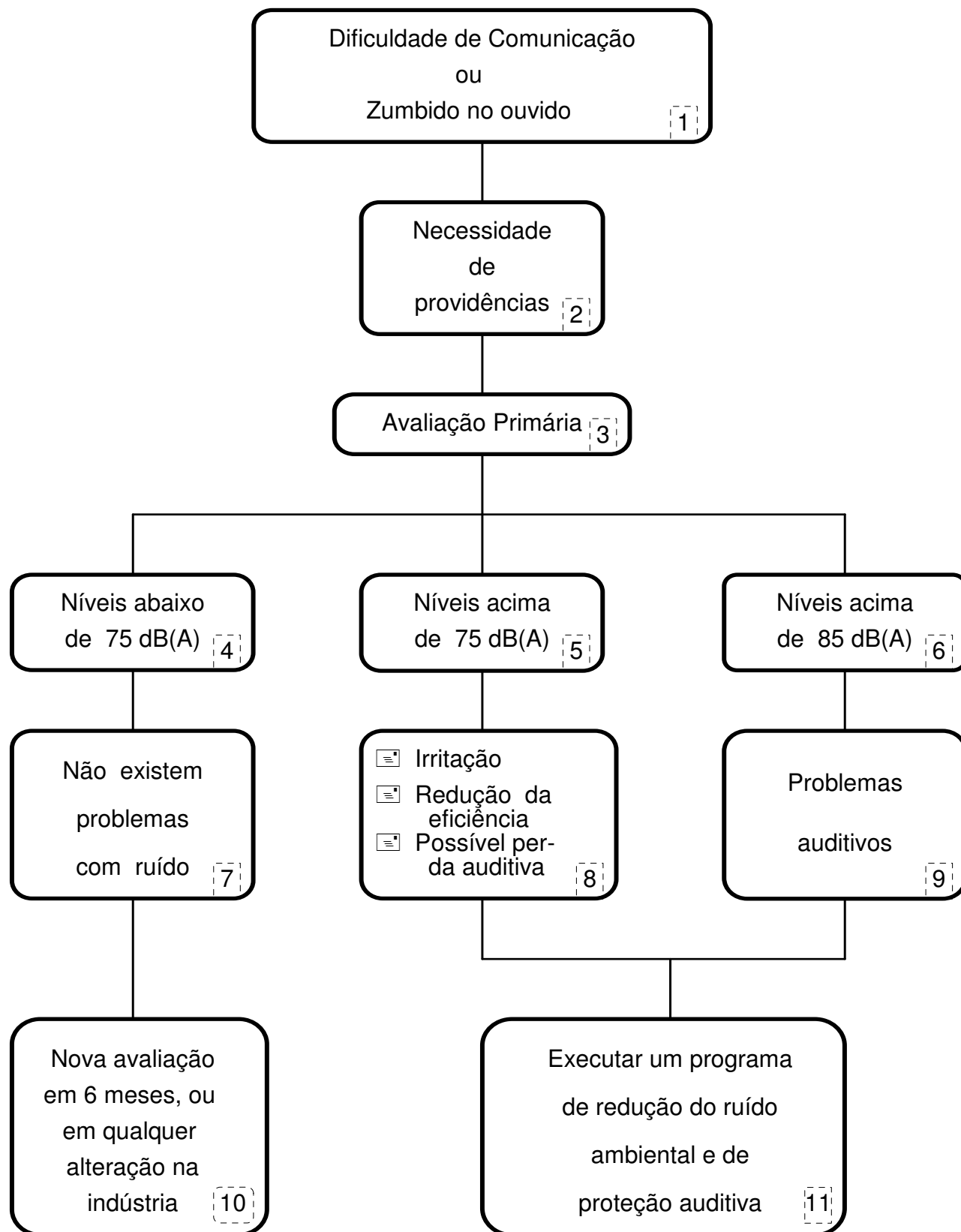


Figura 11.1 - Diagrama para detecção do problema do ruído



2 Caso se confirme alguma das situações acima, devemos tomar as providências para uma avaliação mais precisa do ambiente.

3 Para confirmarmos esses níveis, devemos passar para uma avaliação primária. Com o uso do medidor de nível de som (decibelímetro) na curva de ponderação "A" e na resposta "lenta" (slow), devemos andar pelo ambiente, nos aproximando de cada operador de máquina e fazendo a leitura do nível de ruído na altura do seu ouvido. Com isso, teremos uma idéia dos níveis, dos locais críticos, do tipo de ruído, número de operários expostos, etc. Cabe aqui lembrar da necessidade de termos um aparelho de boa precisão, e com calibração recente (se possível antes das medições). A Tabela 11.1 mostra uma avaliação primária realizada numa usina de açúcar e álcool.

Tabela 11.1 - Avaliação primária do ruído em uma usina de açúcar e álcool.

Local	<i>Descrição</i>	Nível de Ruído dB(A)	Tempo de Exposição	Tempo admissível (NR 15)
Turbinas	Base da turbina	98,2	12:00	01:15
Turbinas	Instrumentos	102,1	12:00	00:45
Caldeiras	Limpeza de fuligem	92,0	12:00	03:00
Turbo-gerador 1	sala 3	90,0	12:00	04:00
Compressores	---	92,0	12:00	03:00
Fabricação	Turbina 2 - Térreo	93,0	12:00	02:40
Destilaria	Piso inferior	96,1	12:00	01:45
Destilaria	1º Piso	96,1	12:00	01:45
Destilaria	Centrifugação	98,2	12:00	01:45
Filtros	Filtros rotativos	93,5	12:00	02:40
Dosagem	Dosagem de cal	92,5	12:00	03:00
Carregamento	Tortas de filtros	89,0	12:00	04:30
Hilo 2	Sob o guincho	96,0	12:00	01:45
Hilo 3	Área de limpeza	96,0	12:00	01:45
Hilo 3	Descarregamento	105,0	12:00	00:30
Moenda 2	Base da moenda	96,1	12:00	01:45
Moenda 3	Base da moenda	93,2	12:00	02:40
Moenda 2	Piso superior	92,0	12:00	03:00
Hilo 1	Sob o guincho	95,0	12:00	02:00
Hilo 1	Área de limpeza	105,0	12:00	00:30
Turbo-gerador 2	Sala	98,2	12:00	01:15
Moenda 1	Base da turbina	92,0	12:00	03:00
Moenda 1	Piso Superior	92,1	12:00	03:00
Moenda 1	Base	90,0	12:00	04:00
Fabricação	Moinho de sementes	94,0	12:00	02:15
Caldeiras	Linha 2	88,0	12:00	05:00
Caldeiras	Laje da caldeira 8	88,0	12:00	05:00



- 4 Se os níveis medidos nessa avaliação não ultrapassaram os 75 dB(A), o ruído não deve ser encarado como um problema.
- 5 Se os níveis estão acima dos 75 dB(A), já estamos na faixa de desconforto que, segundo a Norma NBR 10152, tornará o local impróprio para o trabalho, gerando irritação, improdutividade, e até, perda de auditiva nos operários mais sensíveis.
- 6 Se os níveis atingem valores acima de 85 dB(A), o problema é mais sério, pois, com certeza, os operários submetidos a esses níveis (8 horas diárias) estão sujeitos à perda auditiva.
- 7 Devem ser feitas novas avaliações de 6 em 6 meses, ou quando houver mudança ou implantação de novas máquinas, implantação de sistemas hidráulicos ou pneumáticos, ou alterações no arranjo físico da indústria.
- 11 Recomenda-se que qualquer empresa que possua níveis de ruído acima de 75 dB(A), implante um programa de redução de ruído e proteção auditiva. Essa recomendação se torna uma exigência de lei quando os níveis ultrapassam os 85 dB(A).

2. - Programa de Redução do Ruído

Iniciamos um *programa de redução dos níveis de ruído*, fazendo uma medição mais precisa e dentro dos padrões das Normas. O diagrama da figura 11.2 nos mostra as principais etapas.

- 12 **Avaliação da Exposição ao Ruído** - É a medição, com precisão, dos níveis de ruído dos postos de trabalho dos operários. Deve-se avaliar o som direto da máquina próxima ao trabalhador e o ruído do ambiente (ruído de fundo). É importante lembrar da precisão do equipamento e da sua calibração antes das medições.
- 13 **Situação audiométrica dos operários** - Numa empresa onde existe níveis de ruído elevados, a saúde auditiva de seus trabalhadores deve ser acompanhada por profissionais da área de otorringolaringologia (médico ou fonoaudiólogo).
- 14 **Níveis de Ruído nos postos de Trabalho** - Devem ser efetuadas 5 medições em cada local de trabalho (ver NR 15) e obtida a média. É importante lembrar da regulagem do medidor de acordo com o tipo de ruído, das precauções durante a medição e dos cuidados com o medidor.
- 15 **Tipo de Ruído** - as medições devem ser feitas de acordo com o tipo do ruído. Para ruídos contínuos, usamos o medidor na curva "A" e resposta "lenta"; para ruídos flutuantes, usamos um dos métodos que represente as variações de nível.
Os ruídos de impacto devem ser medidos conforme as regras da NR 15.

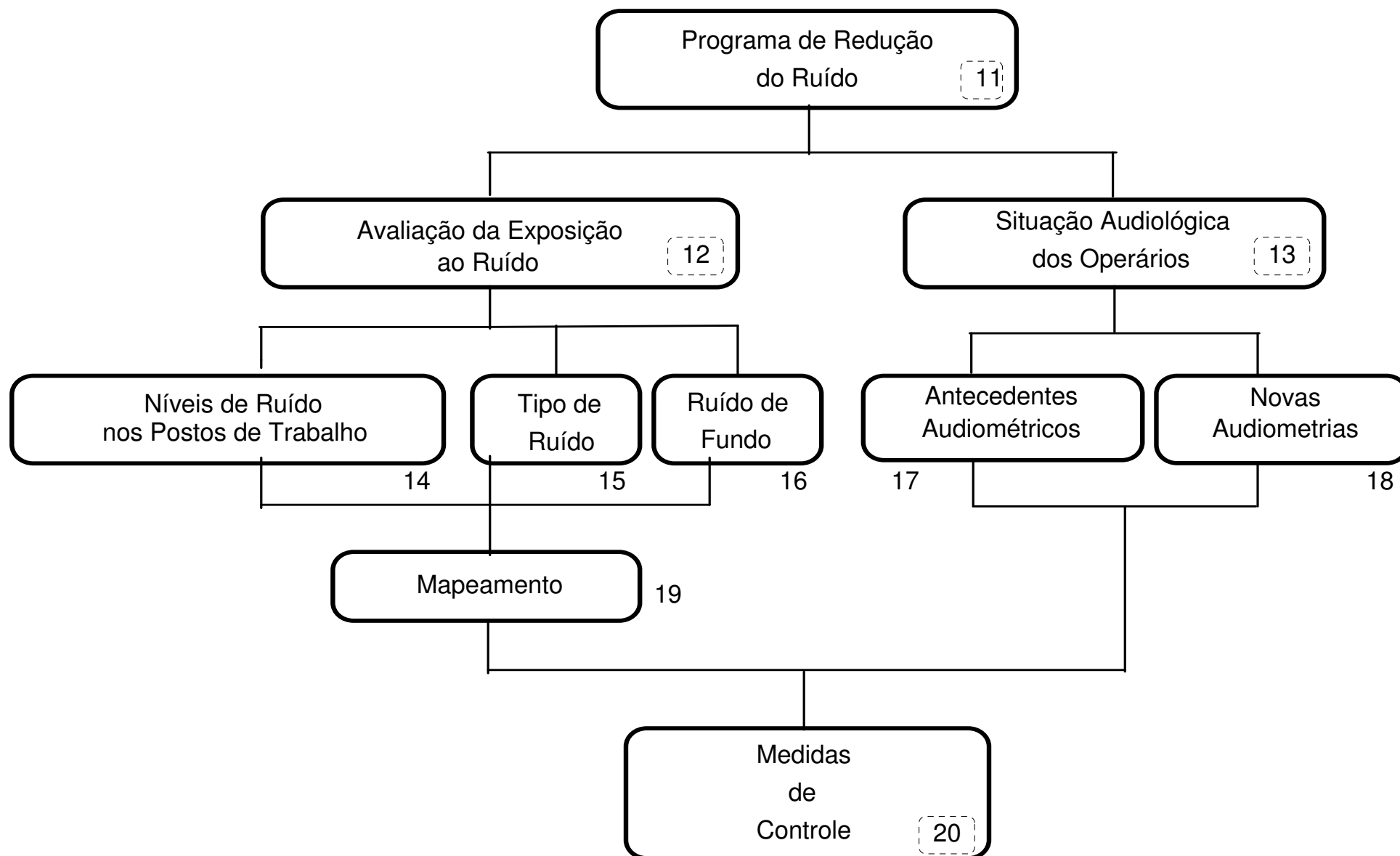
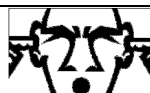


Figura 11.2. - Diagrama do Programa de Redução do Ruído e Proteção Auditiva.



- 16 Ruído de Fundo** - A avaliação do ruído de fundo durante as medições também é importante na determinação das fontes de ruído.
- 17 Antecedentes Audiométricos** - A anamnese (histórico clínico) e os resultados audiométricos dos operários (principalmente o audiograma de admissão) são preciosas informações sobre a audição e a sensibilidade auditiva de cada trabalhador. O Engenheiro de Segurança deve trabalhar em conjunto com a fonoaudióloga (ou médico de trabalho) da empresa, no sentido de detectar essas situações.
- 18 Novas audiometrias** - Se o *Programa de Redução do Ruído e Proteção Auditiva* estiver sendo implantado (ou seja, a empresa nunca se preocupou com a saúde audiológica de seus empregados), é importante que se obtenha os audiogramas de todos os trabalhadores e inicie-se avaliações periódicas (de 6 em 6 meses)
- 19 Mapeamento** - a traçagem dos mapas de ruído é uma das melhores maneiras de definirmos a forma de controle. Um mapa de ruído é uma planta em que são mostradas as instalações e traçada sobre ela as curvas que unem todos os pontos de mesmo nível de ruído. É importante identificar no mapa o local de trabalho de cada operário.
- 20 Medidas de Controle** - São as providências que o Engenheiro de Segurança deve tomar, tendo em mãos o levantamento dos níveis de ruído e da situação audiológica dos empregados.

3. - Controle do Ruído

Depois da medição do ruído e do mapeamento, podemos passar para as medidas de controle. Vejamos no diagrama de blocos.

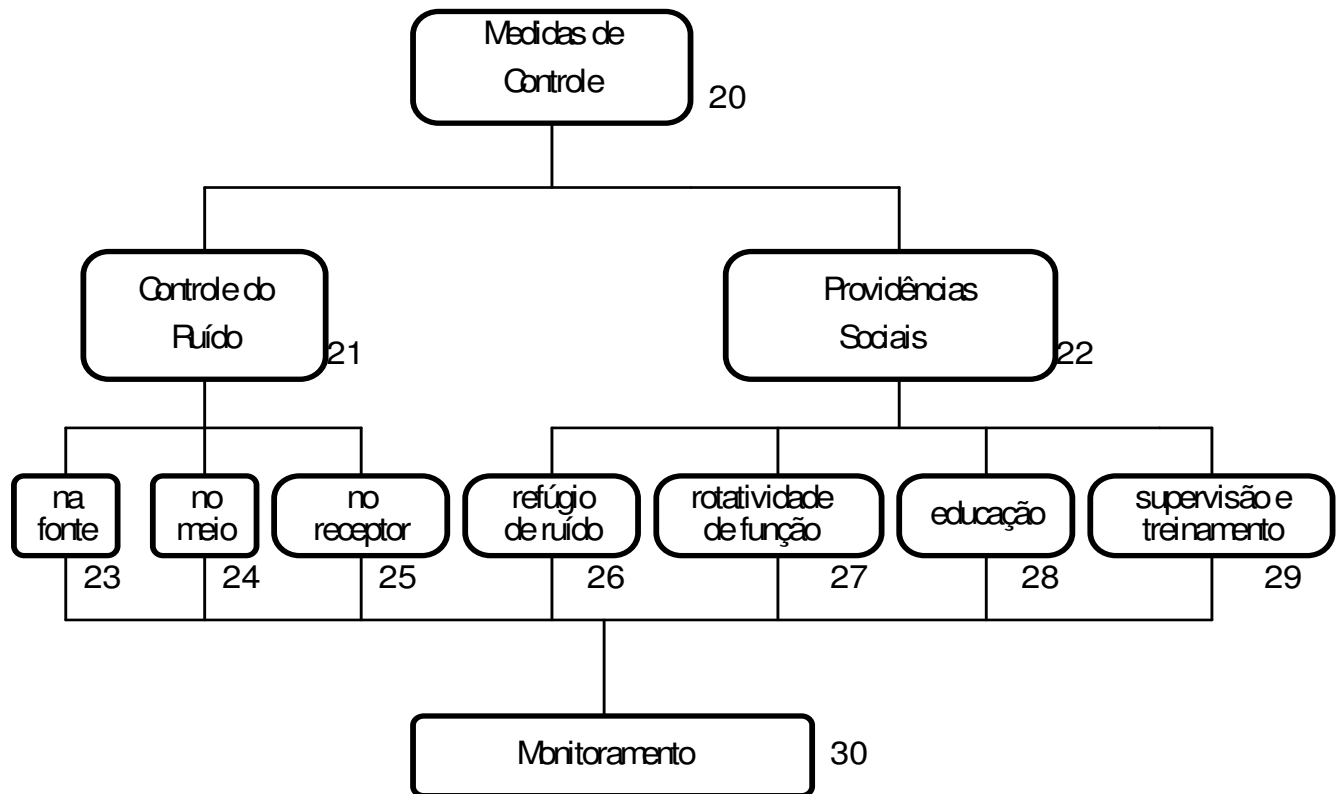


Figura 11.3. - Diagrama das Medidas de Controle

21 Controle do Ruído - É a atenuação dos efeitos do ruído sobre as pessoas. O Engenheiro de Segurança deve estar consciente que é de sua responsabilidade os efeitos do ruído sobre os trabalhadores.

22 Providências Sociais - São alterações realizadas no pessoal que ajudam a minimizar os efeitos do ruído.

23 Controle na Fonte - É a supressão da causa do ruído. A supressão da fonte do ruído é a verdadeira e a mais indicada maneira de controlar o ruído.

24 Controle no meio - Trata-se da interrupção da propagação do som.

25 Controle no Receptor - É uma medida para ser usada apenas em casos extremos, ou em pequenos intervalos de tempo. Nunca como primeira solução ou de forma definitiva.

26 Refúgio de Ruído - Em algumas operações descontínuas (por exemplo, inspeções) podem ser utilizadas as cabines de repouso, onde os operadores podem descansar por alguns minutos. Deve-se lembrar que a redução pela metade no tempo de exposição, reduz em apenas 3 dB a dose de ruído.

27 Rotatividade de Função - Para sistemas produtivos que possibilitam essa rotação de turnos ou de funções, essa prática pode diminuir levemente a dose de ruído.



28

Educação - Assim como qualquer programa de segurança do trabalho, a educação o ***Programa de Redução do Ruído e Conservação Auditiva*** deve ser aceito em todos os níveis da empresa, desde os operários até a gerência. As técnicas de educação possibilitam esse engajamento de todos num objetivo comum. Podem ser usados posters, vídeos, palestras, folhetos, exposição de materiais, exercícios práticos, etc. Outro fator importante para a credibilidade do programa é a transparência de informações : os trabalhadores devem (ou têm o direito de) saber os níveis de ruído a que estão submetidos, bem como os resultados dos exames audiológicos.

29

Supervisão e Treinamento - Uma pessoa deve ser o responsável pela execução do ***Programa*** (pode ser o Engenheiro de Segurança, ou o Médico do Trabalho ou algum funcionário da CIPA ou do Setor de Recursos Humanos). Os trabalhos técnicos (como medição do ruído, audiometrias, etc) devem ser delegados às pessoas especializadas ou contratado pessoal externo à empresa. Todas as pessoas envolvidas no ***Programa*** devem receber treinamento apropriado dentro de sua área de atuação.

30

Monitoramento - Uma vez implantado, o ***Programa*** continua indefinidamente, sempre atento a alterações nos níveis de ruído ou nos audiogramas dos trabalhadores. Os níveis de ruído devem ser medidos periodicamente ou em qualquer alteração no arranjo físico da empresa. A sensibilidade auditiva dos operários deve ser avaliada de 6 em 6 meses.





BIBLIOGRAFIA

ALEXANDRY, F. G. - "O problema do ruído industrial e seu controle" - Fundacentro-Ministério do Trabalho - São Paulo, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT - Norma NB 95 - Ruídos aceitáveis - 1966.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT - Norma NBR 7731 - Medição do ruído - 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT - Norma NBR 10151 - Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade - 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT - Norma NBR 10152 - Níveis de ruído para conforto acústico (NB 95) - 1990.

BERANEK, L.L. - "Acustica" - Editorial Hispano Americana S.A. 2ª Edição - Buenos Aires - 1969.

BERANEK, L.L. Balanced Noise-criterion (NCB) Curves. *Journal of the Acoustical Society of America*, v. 86 (2), p. 650 - 664, 1989a.

BERANEK, L.L. Application of NCB Noise Criterion Curves. *Noise. Control Engineering Journal*, v. 33 (2), p. 45-56, 1989b.

BERANEK, L.L.; BLASIER, W.E.; FIGWER, J.J. Preferred noise criteria (PNC) curves and their application to rooms. *Journal of Acoustical Society of America*, v. 50, p. 1223-1228, 1971.

BRASIL - Lei nº 6515, portaria nº 3214 - NR 15 - Atividades Insalubres.

BRUEL & KJAER - "Architectural Acoustics" - Dinamarca, 1978.

BRUEL & KJAER - "Acoustic Noise Measurements" - Dinamarca - 1979.

BURK, W - "Manual de Medidas Acusticas para el Control del ruido" - Editorial Blume, Barcelona, 1966.

CARVALHO, B.A. - "Acustica Aplicada à Arquitetura" - Biblioteca Técnica Freitas Bastos, Rio de Janeiro, 1967.

CHEMELLO, A. e LUSSATTO, D. - "Acústica". Editora e Distribuidora Sagra S.A.



DE MARCO, C.S. - "Elementos de Acústica Arquitetônica" - Livraria Nobel S.A. - São Paulo, 1982.

FERNANDES, J.C. - "O Ruído Ambiental : Seus Efeitos e seu Controle" - Apostila do Departamento de Engenharia Mecânica da UNESP - Câmpus de Bauru, 1994.

FORMER-JOHNSON, T.N.O. – “Acústica” . Livraria Nobel, 1968.

GERGES, S.N.Y. - "Curso Intensivo sobre Controle de ruído industrial" - Apostila da Universidade Federal de Santa Catarina, 1988.

GERGES, S.H.Y. - "Ruído : Fundamentos e Controle" - Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina - 1ª Edição, Florianópolis, 1992.

HAY, B. Occupational Noise Exposure. *Applied Acoustics*, vol. 8, p. 299 - 313, 1975.

HAY, B. Maximum permissible noise levels at the workplace in the EEC, Spain, Portugal and Turkey. *Applied Acoustics*, v. 15, p. 61 -69, 1982

JOSSE, R. - "La acustica em la contruccion" - Editorial Gustavo Gili S.A. - Barcelona, 1975.

KURTZE, J.P. - "Fisica y Tecnica de la lucha contra el ruido" - Ediciones URMO - Barcelona, 1963.

LACERDA, A.P. - "Audiologia Clínica" - Editora Guanabara Koogan, 1988.

MiÑAMA, J.P. - "Compendio Pratico de Acustica" - Editorial Labor S.A. - Barcelona, 1969.

NEPOMUCENO, L.A. – “Elementos de Acústica Física e Psicoacústica”. Ed. Edgard Blucher Ltda, 1994.

ROSSI, M. - "Acoustics and Electroacoustics" - Artech House Inc, Norwood, 1988.

SANTOS, T.M.M. & RUSSO, I.C.P. - "A Prática da Audiologia Clínica" - Cortez Editora, São Paulo, 1986.

SOBRAC. Recomendações da Organização Mundial da Saúde sobre Ruído Industrial. *Revista de Acústica e Vibrações*, nº 16, dezembro, p. 52-57, 1995.

