

Manual Prático de Avaliação e Controle de Ruído

PGR

1ª edição — 2000
2ª edição — 2001
3ª edição — 2004
4ª edição — 2008
5ª edição — 2009
6ª edição — 2011
7ª edição — 2013
8ª edição — 2014
9ª edição — 2016
10ª edição — 2018
11ª edição — 2019
12ª edição — 2021
13ª edição — 2023

AUTORIA
TUFFI MESSIAS SALIBA

LTR[®]

**Manual Prático de
Avaliação e Controle de**

RUÍDO

PGR

13^a EDIÇÃO

2023



LTr Editora Ltda.

© Todos os direitos reservados

Rua Jaguaribe, 571
CEP 01224-003
São Paulo, SP — Brasil
Fone (11) 2167-1101
www.ltr.com.br
Abril, 2023

Produção Gráfica e Editoração Eletrônica: RLUX
Projeto de capa: DANILO REBELLO
Impressão: META BRASIL

Versão impressa — LTr 6397.7 — ISBN 978-65-5883-204-1
Versão digital — LTr 9880.9 — ISBN 978-65-5883-205-8

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Saliba, Tuffi Messias
Manual prático de avaliação e controle de ruído [livro eletrônico] :
PGR / Tuffi Messias Saliba. — 13. ed. — São Paulo : LTr, 2023.
eBook

Bibliografia.
ISBN 978-65-5883-205-8

1. Ambiente de trabalho — Ruído 2. Direito do trabalho
3. Medicina do trabalho 4. Normas regulamentadoras — Brasil
5. Ruído — Controle 6. Ruído — Medição 6. Segurança do trabalho
— Normas — Brasil I. Título.

23-141023

CDD-363.746

Índice para catálogo sistemático:

1. Ruído : Avaliação e controle : Bem-estar social 363.746
2. Ruído : Controle e avaliação : Bem-estar social 363.746

Inajara Pires de Souza — Bibliotecária — CRB PR-001652/O

AGRADECIMENTOS

Aos profissionais, relacionados a seguir, que colaboraram direta ou indiretamente na elaboração deste manual:

Márcia Angelim Chaves Corrêa — Engenheira Química e de Segurança do Trabalho.

Lênio Sérgio Amaral — Engenheiro de Segurança do Trabalho.

Marcos Roberto de Paula — Técnico de Segurança do Trabalho.

Sofia Conceição Reis Saliba — Auditora fiscal do trabalho.

Maria Beatriz de Freitas Lanza — Engenheira de Segurança do Trabalho, Mestre em Administração

A todos os ex-colegas da FUNDACENTRO, especialmente *João Cândido de Oliveira* e *José Manuel Osvaldo Gana Soto*, pela contribuição técnica e científica em minha formação em Segurança e Higiene do Trabalho.

SUMÁRIO

PARTE I	
<i>Fundamentos Básicos do Som</i>	11
1.1. Definição de som.....	11
1.2. O decibel	12
1.3. Nível de pressão sonora.....	13
1.4. Propagação do som	16
1.5. Frequência do som.....	16
1.6. Conceito de ruído	17
1.7. Nível de intensidade sonora e nível de potência sonora.....	17
PARTE II	
<i>Avaliação Subjetiva do Ruído</i>	19
2.1. Nível de audibilidade	19
2.2. Níveis de decibéis compensados ou ponderados	21
PARTE III	
<i>Instrumentos de Medição</i>	24
3.1. Componentes básicos	24
3.2. Instrumentos utilizados nas avaliações de ruído.....	25
PARTE IV	
<i>Parâmetros Utilizados nas Avaliações de Ruído</i>	31
4.1. Ruído contínuo e intermitente	31
4.2. Ruído de impacto ou impulsivo	31
4.3. Dose equivalente de ruído ou efeitos combinados	32
4.4. Fator de duplicação da dose	32
4.5. Nível equivalente de ruído.....	34

4.6. Nível de corte	36
4.7. Nível de exposição normalizado (NEN).....	38
4.8. Comparação Lavg ou Leq com TWA ou NEN	38
4.9. Análise de frequência	41
4.10. Limites de tolerância.....	47
4.11. Adição e subtração de níveis de ruído.....	47
4.12. Subtração de níveis de ruído.....	52

PARTE V

<i>Procedimentos de Avaliação de Ruído</i>	55
5.1. Avaliação do risco de dano auditivo	55
5.1.1. Instrumentos de medições	59
5.1.2. Procedimentos da avaliação da exposição ocupacional.....	60
5.1.3. Estratégia de avaliação de ruído.....	64
5.2. Avaliação do ruído para caracterização da insalubridade	72
5.3. Avaliação para fins de aposentadoria especial	76
5.4. Avaliação para fins de conforto e incômodo.....	80
5.5. Avaliação do conforto da comunidade e perturbação do sossego público	85
5.5.1. Norma NBR 10.151/19 da ABNT.....	86
5.5.2. Caracterização da fonte poluidora	90
5.5.3. Relatório de medição e avaliação	91
5.6. Avaliação de ruído em cabines audiométricas	92
5.6.1. Resolução n. 554 do Conselho Federal de Fonoaudiologia ...	95
5.7. Avaliação de ruído em teleatendimento	96

PARTE VI

<i>Efeitos do Ruído no Organismo</i>	99
6.1. Efeitos auditivos do ruído	102
6.1.1. Trauma acústico	102
6.1.2. Perda auditiva temporária	102
6.1.3. Perda auditiva permanente	103
6.2. Efeitos extra-auditivos do ruído	106

PARTE VII	
<i>Medidas de Controle</i>	110
7.1. Controle na fonte ou trajetória	110
7.2. Controle no meio ou trajetória	111
7.3. Controle no homem	116
7.3.1. Limitação do tempo de exposição	117
7.3.2. Equipamento de proteção individual — protetores auriculares....	117
7.3.2.1. Seleção de protetores auriculares	117
7.3.2.2. Uso efetivo durante a exposição.....	119
7.3.2.3. Fator de proteção — atenuação	120
7.3.3. Descaracterização da insalubridade e aposentadoria por meio do uso de EPI	126
7.3.4. Exames Audiométricos / Programa de Conservação Auditiva — PCA.....	127
PARTE VIII	
<i>PGR — Programa de Gerenciamento de Riscos Ocupacionais</i>	130
8. Considerações gerais.....	130
8.1. Avaliação do risco da exposição ao ruído	131
8.2. Controle dos riscos ocupacionais.....	134
8.3. Plano de ação.....	136
8.3.1. Acompanhamento das medidas de controle implantadas.....	136
8.3.2. Acompanhamento da saúde ocupacional dos trabalhadores	136
Referências	137
APÊNDICES	
Apêndice I — Modelo de laudo de avaliação da exposição ocupacional ao ruído	141
Apêndice II — Modelo de laudo de avaliação de ruído para caracterização de insalubridade	143
Apêndice III — Modelo de laudo de avaliação de ruído para concessão de aposentadoria especial.....	146
Apêndice IV — Modelo de laudo de avaliação de ruído para conforto ...	148

Apêndice V — Modelo de laudo de avaliação de ruído para perturbação do sossego público.....	150
Apêndice VI — Normas e legislação complementares / Resolução CONAMA.....	153

PARTE I

FUNDAMENTOS BÁSICOS DO SOM

As oscilações dos sistemas materiais elásticos com a massa podem constituir-se em estímulos para o nosso organismo que, em determinadas condições, podem provocar respostas — sensações de bem ou mal-estar ou problemas.

Quando as oscilações acontecem no ar, podem ser descritas como variações de pressão atmosférica, originando vibrações ou turbulência.

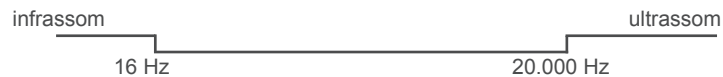
Se essas oscilações estimulam o aparelho auditivo, temos o som.

1.1. Definição de Som

O som é originado por uma vibração mecânica (cordas de um violão, membrana de um tamborim, dentre outros) que se propaga no ar e atinge o ouvido. Quando essa vibração estimula o aparelho auditivo, ela é chamada de vibração sonora. Assim, o som é definido como qualquer vibração ou conjunto de vibrações ou ondas mecânicas que podem ser ouvidas.

Para que uma vibração seja considerada sonora, é necessário que atenda às seguintes condições:

a) Possuir valores específicos de frequência, isto é, a frequência deve situar-se entre 20 e 20.000 Hertz⁽¹⁾, conforme a ilustração a seguir:



(1) GERGES, Samir Nagi Yousri. *Ruído: Fundamentos e controle*. 2. ed. Florianópolis: S.N.Y. Gerges, 2000. p. 686.

b) A variação de pressão deve possuir um valor mínimo para atingir o limiar de audibilidade. Essa variação é a diferença instantânea entre a pressão atmosférica na presença e na ausência do som, em um mesmo ponto. Por meio de pesquisas realizadas com pessoas jovens, sem problemas auditivos, foi revelado que o limiar de audibilidade é de $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$ ou $0,00002 \text{ N/m}^2$. Desse modo, convencionou-se esse valor como sendo 0 (zero) dB, ou seja, o nível de pressão de referência utilizado pelos fabricantes dos medidores de nível de pressão sonora. Quando a pressão sonora atinge o valor de 200 N/m^2 , a pessoa exposta começa a sentir dor no ouvido (limiar da dor). Esse valor corresponde a 140 dB. Portanto, a faixa audível em relação à pressão é de acordo com o esquema abaixo:



— O ruído e o barulho são interpretações subjetivas e desagradáveis do som. Costuma-se denominar barulho ou ruído todo som que é indesejável.

1.2. O Decibel

Como mencionado anteriormente, a faixa audível da variação de pressão é de $0,00002 \text{ N/m}^2$ a 200 N/m^2 . Desse modo, o uso de uma escala linear para quantificar a variação dessa pressão é inviável. Nesse caso, a solução para medir essa grande variação de faixa audível, 10^7 vezes, é a escala logarítmica.

A função logarítmica é definida da seguinte forma: $\log_a x = y \Leftrightarrow x = a^y$. Assim, o logaritmo do número “x” na base “a” corresponde ao expoente a que se deve elevar essa base para se obter o “x”. Exemplos:

$$\log_{10} 10 = 1, \text{ pois } 10^1 = 10$$

$$\log_{10} 100 = 2, \text{ pois } 10^2 = 100$$

$$\log_{10} 1000 = 3, \text{ pois } 10^3 = 1000$$

Observa-se que, enquanto na escala linear há variação de 10 a 1.000 vezes, na logarítmica a variação é apenas de 3 unidades. Portanto, no estudo do ruído, a função logarítmica será bastante utilizada. Sendo assim, é importante destacar as propriedades operacionais dessa função:

$$a) \log_a b \cdot c = \log_a b + \log_a c$$

$$b) \log_a \frac{b}{c} = \log_a b - \log_a c$$

$$c) \log_a b^c = c \log_a b$$

Cabe ressaltar que a escala logarítmica é muito utilizada na acústica e em outros ramos, como na eletricidade. Nessa escala há necessidade de uma referência, nível zero, como será visto posteriormente.

1.3. Nível de Pressão Sonora

De maneira geral, os estudos mostram que a sensação humana varia com a intensidade do estímulo, como percepção sensorial auditiva, visual, térmica, entre outras. Weber⁽²⁾ realizou estudos sobre a variação percebida por dois estímulos similares. Em um dos seus experimentos, Weber usou um indivíduo com os olhos vendados segurando um peso. Em seguida, ele foi aumentando gradativamente esse peso e pediu para que o indivíduo se manifestasse sobre sua percepção. Nessa experiência, Weber descobriu que a resposta do indivíduo era proporcional ao aumento da carga (peso). Quando o peso era de um quilo, um aumento de poucos gramas não fora percebido. Porém, quando o peso era aumentado até certo valor, era percebido. Assim, por exemplo, quando duplicava o peso que o indivíduo segurava, sua percepção também dobrava. Seu estudo concluiu que a relação entre o estímulo e a sensação (percepção) é logarítmica. Esse estudo vale para outros estímulos, e não somente para sensação de pesos. Mais tarde, Fechner⁽³⁾ popularizou a teoria de Weber, daí o nome da Lei Weber-Fechner (BISTAFA, 2006).

No caso do som, a sensação também segue a Lei Weber-Fechner. Ou seja, o aumento da sensação (percepção) é proporcional ao logaritmo do estímulo. Exemplo: se a sensação “S” foi provocada por 10 unidades de estímulo, a sensação “2S” poderá ser provocada por 100 unidades de estímulo. Os aumentos pequenos de sensação requerem grandes aumentos

(2) Ernst Heinrich Weber (1795-1878), anatomista e fisiologista alemão, considerado um precursor da Psicologia Experimental.

(3) Gustav Theodor Fechner (1801-1887), físico e psicólogo alemão, foi um dos fundadores da Psicofísica.

de estímulos. Essa afirmação, no entanto, é uma aproximação que permite simplificar o complexo mecanismo de percepção sensorial (ASTETE, 1978).

Portanto, com base no exposto, essa é mais uma razão para a utilização da escala logarítmica para avaliação dos níveis de pressão sonora; sendo assim, essa determinação é expressa na equação a seguir:

$$NPS = 10 \log \left(\frac{P}{P_0} \right)^2 \quad (1) \text{ ou } NPS = 20 \log \frac{P}{P_0} \quad (2)$$

Onde:

P_0 é a pressão de referência que corresponde ao limiar de audibilidade (2×10^{-5} N/m² ou Pascal);

P é a raiz média quadrática (rms) das variações dos valores instantâneos da pressão sonora, conforme equação a seguir:

$$Rms = \sqrt{\frac{P_1^2 + P_2^2 + P_3^2 \dots P_n^2}{n}} \quad (3)$$

À medida que as técnicas de medição e clínicas foram sendo aperfeiçoadas, passou-se a constatar que a equação acima representa na realidade um modelo matemático da relação estímulo-sensação, mas que não constitui a melhor aproximação à resposta do ouvido humano, pois não leva em consideração a frequência do som. Desse modo, na medição dos Níveis de Pressão Sonora, é necessário ponderar os valores nas frequências, como veremos na Parte II.

Substituindo o valor de $P_0 = 2 \times 10^{-5}$ N/m² na equação 2, o Nível de Pressão Sonora — NPS pode ser expresso de forma simplificada, conforme demonstração a seguir:

$$NPS = 20 \log \frac{P}{2 \times 10^{-5}} \rightarrow NPS = 20 \log P - 20 \log 2 \times 10^{-5}$$

$$NPS = 20 \log P + 94$$

Exemplo:

Um medidor de som registra Nível de Pressão Sonora de 100 dB. O nível de pressão correspondente é igual a:

$$a) \text{NPS} = 20 \log P + 94$$

$$100 = 20 \log P + 94$$

$$100 - 94 = 20 \log P$$

$$\log_{10} P = 6/20$$

$$\log_{10} P = 0,3 \text{ N/m}^2$$

$$P = 10^{0,3}$$

$$P = 2,0 \text{ N/m}^2$$

A Tabela 1 mostra a pressão correspondente ao nível de pressão sonora, bem como um exemplo das possíveis fontes geradoras:

TABELA 1

Nível de Pressão sonora em dB	Pressão sonora em N/m ²	Exemplos de fontes
0	0,00002	— Limiar audibilidade — sussurro
6	0,00004	— Deserto ou região polar (sem vento)
12	0,00008	
18	0,00016	— Movimento de folhagem
24	0,00032	— Estúdio de rádio e TV
30	0,00063	— Quarto de dormir — Teatro vazio
42	0,00251	— Sala de aula
48	0,00501	— Restaurante tranquilo
54	0,01002	— Escritório com barulho médio
60	0,01995	— Rádio com volume médio
66	0,03981	— Rua com barulho médio
72	0,07943	— Pessoa falando a um metro
78	0,15849	— Escritório barulhento
84	0,31623	— Dentro da cabine de um caminhão com vidros abertos
90	0,63096	— Banda ou orquestra sinfônica
96	1,25893	— Indústria barulhenta
100	1,99526	— Sala de compressores
110	6,30957	— Próximo a um britador
120	19,95262	— Avião a pistão a três metros — limiar da dor
140	199,52623	— Avião a jato a um metro — perigo de ruptura do tímpano

Fonte: adaptação Bistafa (2006).

Conforme comentado anteriormente, a pressão de 0,00002 N/m² é o limiar de audibilidade e corresponde a zero dB, enquanto 200 N/m² é o limiar da dor e equivale a 140 dB. Pela Tabela 1, pode ser constatado que o acréscimo de 6 dB no Nível de Pressão Sonora dobra a pressão, ou seja, a energia é o dobro.

1.4. Propagação do Som

O som se transmite de forma ondulatória, sendo que a velocidade dessa transmissão depende das características da onda no meio pelo qual se propaga.

No ar, a velocidade V do som pode ser calculada com muita aproximação por meio da seguinte equação:

$$V = \sqrt{\frac{1,4P}{\rho}}$$

Onde:

V = velocidade do som

P = pressão atmosférica = 10,33 Kg/m²

ρ = densidade do ar = 1,3 Kg/m³

A velocidade do som pode ser expressa também pela equação:

$$V = f \times c \text{ (m/s)}$$

Onde: f = frequência, em Hz

c = comprimento de onda, em metros

V = velocidade do som, em m/s

A velocidade de propagação do som depende do meio. No sólido, a velocidade de propagação é maior que no ar.

1.5. Frequência do Som

A frequência do som corresponde ao número de vibrações na unidade de tempo. Assim, uma vibração completa ou ciclo sobre seu tempo de duração, por exemplo, de 0,01 segundo, é igual a:

$$f = \frac{1,0 \text{ ciclo ou vibração completa}}{0,01 \text{ segundo}} = 100 \text{ ciclos ou vibrações / segundo}$$

que corresponde a 100 Hertz. A unidade de frequência em Hz foi em homenagem ao físico Alemão Heinrich Hertz.

A figura a seguir ilustra o ciclo de uma vibração, conforme o exemplo dado.

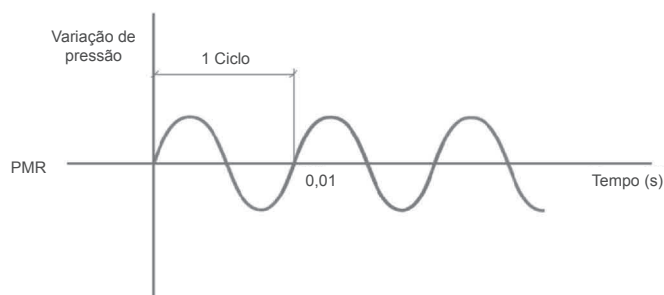


Figura 1 — Variação da pressão no tempo

1.6. Conceito de Ruído

O som é toda vibração que pode ser ouvida. Essa vibração é denominada sonora e, como mencionado anteriormente, deve possuir valores de frequência e pressão dentro da faixa audível.

Do ponto de vista físico, não há diferença entre som, ruído e barulho; no entanto, quanto à resposta subjetiva, ruído ou barulho pode ser definido como um som desagradável ou indesejável. Assim, por exemplo, numa boate, a música pode ser considerada som para uns e ruído para outros.

1.7. Nível de Intensidade Sonora e Nível de Potência Sonora

Além do nível de pressão sonora, outros parâmetros, como o nível de intensidade e potência sonora, são utilizados em acústica para especificar o ruído de equipamentos, cálculos de isolamento e estimativa de ruído que uma fonte produz a determinada distância.

A) Nível de Intensidade Sonora

O nível de intensidade sonora, também expresso em dB, é igual a:

$$NIS = 10 \log \frac{I}{I_0}$$