

POLUIÇÃO SONORA: POSSÍVEIS SOLUÇÕES

João Candido Fernandes – Dr. Eng. Prof. Titular – jcandido@feb.unesp.br
Universidade Estadual Paulista - Unesp

James Luizar Queiroz – Eng. Mestrando – jaluque@terra.com.br
Universidade Estadual Paulista - Unesp

Resumo: Este trabalho tem como objetivo apresentar a poluição sonora como a forma de poluição que atinge o maior número de pessoas no mundo. São apresentadas as características físicas do som, e as propriedades acústicas na propagação, reflexão, transmissão e absorção. Em seguida é definido o ruído e as formas de avaliar o ruído ambiental, o conforto acústico e o risco de contrair a Perda Auditiva Induzida por Ruído (PAIR). Para isso são empregadas as Normas Brasileiras NBR 10.151 e NBR 10.152, Portarias de Decretos do Ministério do Meio Ambiente e Ministério do Trabalho, Normas Americanas e Internacionais e Normas da Organização Mundial da Saúde. Por fim, são apresentados os métodos para controle da poluição sonora.

Palavras-chave: Poluição Sonora, Ruído, Conforto Acústico.

1. INTRODUÇÃO

Entre os fenômenos físicos existentes na natureza, o som talvez seja o que mais sensibiliza o homem. Uma música lenta pode relaxar, uma música conhecida pode deixar alegre ou triste, um barulho pode irritar ou até o simples gotejar de uma torneira pode não permitir dormir.

O desenvolvimento da indústria e o surgimento dos grandes centros urbanos acabaram com o silêncio de boa parte do planeta. Na verdade, o homem moderno teve que se acostumar com a presença desta companhia desagradável (FERNANDES, 2001).

O ruído causa diversos efeitos sobre o ser humano:

- desde uma simples perturbação (quando toca o telefone durante o descanso), causando irritação;
- ou com efeitos temporários em nossa audição (quando uma pessoa permanece por algumas horas num baile com música em altos volumes e depois sente a audição diminuída - ouvido tapado - ou com zumbidos);
- até alterações permanentes, que normalmente ocorrem em pessoas que permanecem expostas diariamente a altos níveis de ruído.

A preocupação com o meio ambiente e sua relação com a saúde não é algo recente. Há mais de 2500 anos, Hipócrates, através de sua obra “Ares, Água e Lugares”, já atribuía aos desequilíbrios ambientais a causa de várias doenças. Quatro séculos após Hipócrates, Plínio, O Velho, observou a surdez dos moradores que viviam próximos às cataratas do rio

Nilo e este é o primeiro relato que conhecemos da relação causal entre o ruído e a perda de audição.

Com a revolução industrial, a produção se tornou prioridade, e o homem nunca mais conseguiu melhorar o ambiente que habita. Com o desenvolvimento tecnológico no século XX, ou seja, com a introdução do rádio e do amplificador na década de 20, o aparecimento do automóvel e o desenvolvimento da aviação militar, houve um incremento do ruído na zona urbana. A partir dos anos 50 houve o crescimento descontrolado da industrialização, com o automatismo e o acúmulo de máquinas (NEWTON, 2001), contribuindo aceleradamente para o ruído nos grandes centros (Figuras 1 e 2). Algumas pesquisas indicam que o ruído que nos rodeia duplica a cada 10 anos (FERNANDES, 2003).



FIGURA 1 – Ruído industrial e urbano

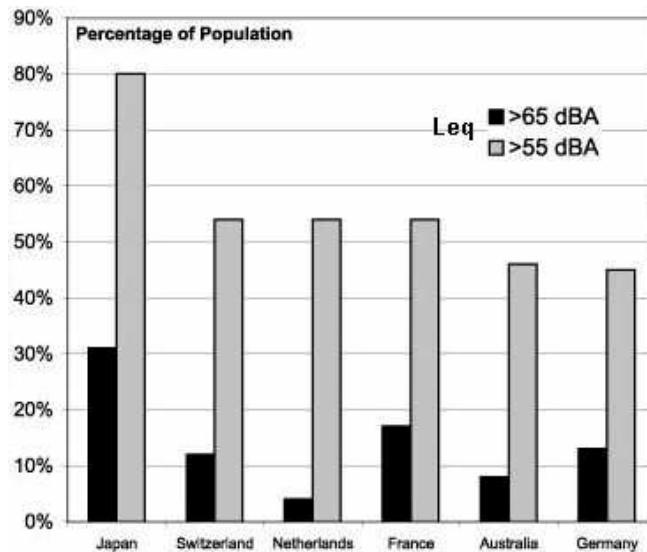


FIGURA 2 – Porcentagem da população exposta a níveis médios de ruído (Ldn)

A cada dia torna-se maior a urgência de uma conscientização e tomada de atitude em favor da diminuição dos altos níveis de ruído nos mais diversos ambientes ocupados pelo homem.

2. CONCEITOS DE ACÚSTICA E AUDIÇÃO

O som é um fenômeno vibratório resultante da pressão no ar. Essas variações de pressão se dão em torno da pressão atmosférica e se propagam longitudinalmente, em forma de ondas, com velocidade de aproximadamente 340 m/s.

Qualquer fenômeno capaz de causar ondas de pressão no ar é considerado uma fonte sonora: um corpo sólido em vibração, uma explosão ou o vazamento de um gás à alta pressão.

São três as características físicas do som: intensidade, frequência e timbre.

2.1. - Intensidade

A intensidade do som é a quantidade de energia contida no movimento vibratório. Essa intensidade se traduz com uma maior ou menor amplitude de oscilação na vibração. Para um som de intensidade média, essa amplitude é da ordem de centésimos de milímetros. A intensidade sonora pode ser avaliada através de dois parâmetros : a energia contida no movimento vibratório ($W/cm^2 =$ Watts por centímetro quadrado), ou pela pressão no ar ($BAR = 1$ dina/cm²).

Do ponto de vista físico, a energia contida num fenômeno sonoro é desprezível. A energia sonora contida num som de 0 decibels (*que equivale ao menor som que o ouvido humano consegue escutar*), é de $10^{-16} W/cm^2$, ou seja :

$$0 \text{ dB} = 0,0000000000000001 \text{ W/cm}^2. \quad (1)$$

Um som com a máxima intensidade que o ouvido pode suportar, por volta dos 140 dB (*que corresponde ao limiar da dor*) teria uma energia de $10^{-2} W/cm^2$, ou seja :

$$140 \text{ dB.} = 0,01 \text{ W/cm}^2. \quad (2)$$

A energia sonora contida num grito de "gol" de um estádio de futebol lotado, mal daria para aquecer uma xícara de café. Se a energia da voz de toda a população de uma cidade de 300 mil habitantes fosse transformada em energia elétrica, seria o suficiente apenas para acender uma lâmpada de 50 ou 60 Watts.

2.2. - Frequência

A frequência é o número de oscilações por segundo do movimento vibratório do som, que tem como unidade "ciclos por segundo" (*cps*), ou Hertz (*Hz*). O ouvido humano é capaz de captar sons com frequências entre 16 e 20.000 Hz. Os sons com menos de 16 Hz são chamados de infra-sons e com mais de 20 kHz são chamados de ultra-sons.

Dentro da banda audível, verifica-se que o ouvido percebe as frequências de maneira não linear. Experiências demonstram que ouvido humano obedece a Lei de Weber de estímulo/sensação, ou seja, as sensações ao som, cor, odor, dor etc., variam com o logaritmo dos estímulos que as produzem.

As frequências audíveis são divididas em 3 bandas :

Sons graves - Baixas frequências = de 20 até 500 Hz

Sons médios - Médias frequências = de 500 até 5.000 Hz

Sons agudos - Altas frequências = de 5.000 até 20.000 Hz

2.3. - Timbre

O timbre é o modo como ocorre a vibração sonora, ou, tecnicamente, é a forma de onda da vibração. É o timbre que nos permite identificar a fonte sonora. Por exemplo : se

tocarmos a mesma nota musical (*portanto a mesma frequência*), com a mesma intensidade, em um piano e em um violão, notamos claramente a diferença. Dizemos que os instrumentos musicais têm timbres diferentes.

2.4. - O ouvido humano

Em razão da extrema sensibilidade de nosso aparelho auditivo, a mínima quantidade de energia sonora, pode ser captada, afetando-nos em uma série de aspectos psicológicos e fisiológicos.

Pequenos sons influem diretamente em nosso comportamento: o som de uma música pode nos acalmar enquanto o som do raspar de uma unha num quadro-negro pode causar arrepios. Os efeitos fisiológicos ocorrem para sons intensos, normalmente acima de 90 decibels; um som repentino (por exemplo, uma explosão), coloca o organismo em alerta para uma situação de emergência: a pressão arterial e a pulsação aumentam, os músculos se contraem, a transpiração aumenta, o fluxo de saliva e dos sucos gástricos é reduzido e a digestão cessa. A exposição prolongada a esses níveis sonoros, pode levar a perda da audição.

Na área da engenharia e arquitetura, estudamos como o som pode tornar um ambiente mais ou menos adequado para o homem exercer suas funções de trabalho, laser ou repouso. Aparece então o conceito de "*Conforto Acústico do Ambiente*".

3. CONFORTO ACÚSTICO

Nas últimas décadas, as Escolas de Arquitetura e Engenharia Civil têm dado uma crescente importância à forma das edificações, relegando para um plano inferior os fatores físicos do ambiente. Esses fatores também são responsáveis pelo conforto e bem estar do homem e, devem ser levados em consideração durante o projeto. Os níveis de iluminação, temperatura, ventilação, umidade, etc., devem ser previstos no projeto, pois são essenciais às atividades humanas.

Nos locais onde é importante a comunicação sonora - teatros, auditórios, cinemas, igrejas, anfiteatros, salas de reuniões, salas de aula, etc. - o fator mais importante é a acústica do ambiente. Nesses casos, a acústica deve ser tomada como fator primordial, mesmo em detrimento de outras condições de conforto da edificação. Em locais como estúdios de gravação de som, estúdios de rádio ou televisão, câmaras acústicas, o projeto acústico deve ser absoluto.

O estudo da acústica, normalmente, não faz parte de nenhum currículo de cursos de graduação. Nos Cursos de Arquitetura e de Engenharia Civil, onde deveria ser disciplina obrigatória, as poucas informações que são passadas aos alunos (*quando o são*) se limitam a velhas fórmulas sem qualquer conceito ou visão crítica (FERNANDES, 1985).

Ao projetarmos ou analisarmos um ambiente (seja uma simples sala de televisão ou de música de uma residência, até um anfiteatro, ou uma igreja, um auditório, um cinema), dois aspectos são primordiais para o conforto acústico do local: **o nível de ruído** e a **acústica interna do ambiente**.

3.1. - 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 (Folha de S. Paulo, 1992). 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 (FERNANDES e SANTOS, 1985; FERNANDES, 1990).

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 tranqüila rua em avenida, a construção de um aeroporto ou de uma auto-estrada, ou uma via elevada, podem elevar o ruído a níveis insuportáveis.

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 (Figura 3). 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 (Tabela 1): 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.

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. A Tabela 2 apresenta estes dados.

Os limites de ruídos para conforto acústico fixados pela norma ANSI e pela Organização Mundial do Trabalho são apresentados nas Tabelas 3 e 4.

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 em 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).

Para locais de trabalho com ruído excessivo, a *Consolidação das Leis do Trabalho*, na Portaria 3214, NR 15, estabelece os limites de exposição ao ruído para trabalhadores brasileiros, visando protegê-los de danos auditivos. A Tabela 5 mostra o tempo máximo permitido de exposição diária, para cada nível de ruído, conforme a C.L.T.

Os médicos recomendam que pessoas submetidas a níveis de ruído acima de 80 dB(A) devem se proteger, com o uso de plugs ou tampões acústicos.

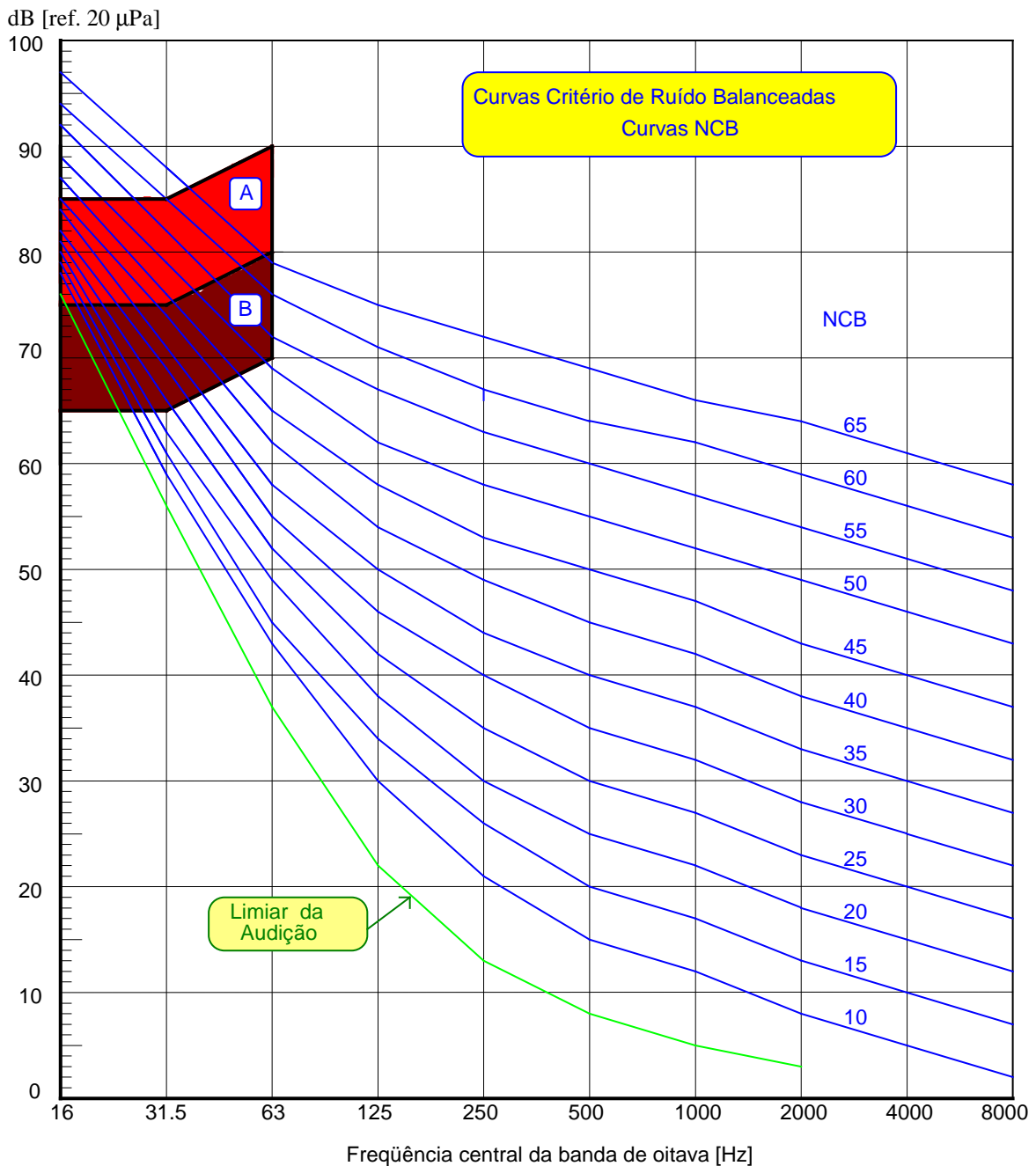


Figura 3 - Curvas Criterio de Ruído Balanceadas (BERANEK, 1989a e BERANEK, 1989b)

Tabela 1 - Limite de utilização para várias atividades humanas em função das curvas NCB

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.

A medida dos níveis de ruído é a principal atividade de avaliação dos problemas do ruído de um ambiente. Pode-se fazer desde uma simples avaliação local, passando por um levantamento mais minucioso, até uma análise de precisão com o uso de analisadores de frequência. A escolha do processo vai depender das características do ruído e da precisão que se deseje na medição (FERNANDES, 1988).

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

- 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.

- 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.

- 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 rebidadeiras, impressoras automáticas, britadeiras, prensas, etc.

Tabela 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

Cada forma de ruído exige uma metodologia própria de medição.

O equipamento utilizado na avaliação do ruído é o "Medidor de Intensidade Sonora", mais conhecido (erradamente) por decibelímetro. Esses equipamentos devem ser calibrados, a cada série de medições, de acordo com as normas internacionais. A sua regulagem (*curva de calibração, tempo de resposta, tipo e diâmetro do microfone, etc.*) dependem das condições da medição, tipo de ruído e finalidade da avaliação. A operação do aparelho deve seguir as normas e leis vigentes, com as precauções quanto a posição do microfone, velocidade do vento, proximidade de superfícies refletoras, ruído de fundo, etc.

3.2. - A acústica interna 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:

Tabela 3- Critério para Avaliação do Ruído em Ambientes, conforme a American National Standard Institute – USA - ANSI S12.2 (1995)

Tipo de Espaço ou Atividade	Critérios	
	Valores de Ruído de Fundo recomendados dB(A)	Máximo Nível sonoro no local dB(A)
Locais de conversação contínua, sem uso de telefone	60 – 70	65 – 75
Lojas, garagens, salas de máquinas, cozinhas, lavanderias	45 – 60	52 – 65
Oficinas de manutenção leve, salas de computação	54 – 55	52 – 61
Salas de desenho, oficinas escolares	40 – 50	52 – 61
Escritórios de comércio geral e secretarias	40 – 50	47 – 56
Laboratórios, clínicas e salas de espera	40 – 50	47 – 56
“Halls” públicos, corredores e áreas secundárias	40 – 50	47 – 56
Lojas de varejo, restaurantes e lanchonetes	35 – 45	42 – 56
Grandes escritórios, secretarias e salas de descanso	35 – 45	42 – 56
Salas de estar e de jantar	30 – 40	38 – 47
Salas de aula e bibliotecas	30 – 40	38 – 47
Escritórios semi-particulares e privados	30 – 40	38 – 47
Quartos de dormir de hotéis com condicionamento de ar	30 – 40	38 – 47
Quartos de dormir residenciais ou hospitalares	25 – 35	34 – 42
Escritórios executivos e locais para conferências	25 – 35	34 – 42
Auditórios pequenos (< 500 pessoas) e salas de conferência	Max. 35	Max 42
Pequenas igrejas e sinagogas	Max. 25	Max. 38
Estúdios de gravação de rádio/TV com microfone próximo	Max. 25	Max. 38
Igrejas e sinagogas com música litúrgica	Max. 25	Max. 38
Grandes auditórios para drama, sem música amplificada	Max. 25	Max. 38
Estúdios de gravação de rádio/TV com microfone remoto	Max 20	Max 30
Salas para ópera	Max 20	Max 30
Salas para música e recitais	Max. 20	Max. 30

Tabela 4 – Níveis ruído confortáveis, segundo a Org. Mundial da Saúde

Location	Effects	L _{eq} (dBA)	Time (hours)	Time of day
Bedroom	sleep disturbance, annoyance	>30	8	night
Living area	annoyance, speech interference	>50	16	day
Outdoor living area	moderate annoyance serious annoyance	>50 >55	16	day
Outdoor living area	sleep disturbance, with open windows	>45	8	night
School classroom	speech interference, communication disturbance	>35	8	day
Hospitals: patient rooms	sleep disturbance, communication interference	>30-35	8	day and night

Tabela 5 - Limites de Tolerância para ruído contínuo ou flutuante (NR 15)

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

« Isolamento contra o ruído : o ambiente deve estar isolado dos ruídos externos e dos ruídos produzidos no próprio interior.

« 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.

3.2.1. - 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} (*normalmente toma-se o valor máximo, ou o nível equivalente L_{eq}*), e o nível de ruído máximo interno que se deseja para o projeto L_{in} . O isolamento mínimo necessário para o ambiente será :

$$ISOL = L_{ex} - L_{in} \quad (3)$$

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. Algumas atenuações medidas em laboratório são mostradas na Tabela 6 (DE MARCO, 1982).

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 6 - Isolamento acústico de algumas superfícies

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

Para de ter uma idéia do isolamento acústico, a Tabela 7 mostra as condições de audibilidade da voz através de uma parede (CARVALHO, 1967).

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.

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 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.

Tabela 7 - Condições de audibilidade através de uma parede (CARVALHO, 1967)

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.

3.2.2. - 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; no milagre da multiplicação dos pães, Jesus falou para mais de 10 mil pessoas*).

- **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 podem 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.

- **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 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.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 10.152: *Níveis de ruído para conforto acústico*. Rio de Janeiro: ABNT, 1987. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 7731 - *Guia para Execução de Serviços de Medição de Ruído Aéreo e Avaliação dos seus Efeitos sobre o Homem*. 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 10151 - *Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas Visando o Conforto da Comunidade*. 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NB 101 - *Norma para Tratamento Acústico em Recintos Fechados*. 1971.

BERANEK, L.L. - Revised Criteria for Noise in Buildings - *Noise Control*, 3, 19-27, 1957

BERANEK, L.L. - Balanced noise-criterion (NBC) Curves - *Journal of the Acoustical Society of America*, 86 (2), 650-664, august 1989a.

BERANEK, L.L. - Application of NBC Noise Criterion Curves - *Noise Control Engineering Journal*, 33 (2), 45-56, september-october, 1989b.

CARVALHO, B.A. - *Acústica Aplicada à Arquitetura* - Biblioteca Técnica Freitas Bastos. 1967.

CONSOLIDAÇÃO DAS LEIS DO TRABALHO - CLT- Portaria 3214, NR-15, de 8/6/78.

DE MARCO, C.S. - *Elementos de Acústica Arquitetônica* - Editora Nobel - 1982.

FERNANDES, J.C. - Ruído Ambiental : Um Problema Urgente para a Nossa Engenharia. *Revista de Ensino de Engenharia*, 4 (2), segundo semestre de 1985.

FERNANDES, J.C. & SANTOS, F.G. - *Avaliação dos Níveis de Ruído Urbano em Bauru* - Trabalho de iniciação científica - Universidade de Bauru - 1985

FERNANDES, J.C. - Avaliação dos níveis de ruído urbano em cidades médias - *Anais do I Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído*, pag 115-119, Gramado, 1990.

FERNANDES, J.C. Proposição de Legislação Municipal para Ruídos Urbanos – Parte I: Diretrizes. In: Simpósio de Engenharia de Produção, 8., 2001, Bauru. *Anais...* Bauru: UNESP, 2001. Disponível em: <http://www.simpep.feb.unesp.br/anteriores.html>

FERNANDES, J. C. **Acústica e Ruídos**. Apostila do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Unesp, Campus de Bauru. 2003. 102 p.

NEWTON, P.W. **Human Settlements Theme Report**. Australia State of the Environment Report 2001. CSIRO Publishing on behalf of the Department of the Environment and Heritage. Commonwealth of Australia 2001, ISBN 0 643 06747 7.