

Arqt^a Lourdes Zunino Rosa Orient. Prof. Jules Slama
Pós-Graduação, FAU/UFRJ
Prédio da Reitoria, sala 433, Cidade Universitária, Ilha do Fundão
Rio de Janeiro RJ - CEP: 21.910

RESUMO

O objetivo deste trabalho é fornecer um instrumento de ajuda na resolução de alguns problemas acústicos comuns em Arquitetura, como o de reverberação nos ambientes. Consiste na apresentação de conceitos básicos de acústica arquitetônica, assim como fichas técnicas sobre o desempenho em absorção acústica de alguns materiais encontrados no mercado brasileiro. Análise de desempenho dos materiais é apresentada através de gráficos comparativos. As necessidades do mercado são investigadas.

ABSTRACT

The matter of this work is to introduce an instrument assisting to the resolution of certain acoustical question, current in architecture as, for instant, the ambient reverberation.

It consists in the approach of basic concepts in architectonic acoustics as well as, technical files of the acoustic absorption performance of certain materials, wich can be found in brasilian market. The materials performance analyses is presented through comparative graphics. Necessities of the marked are checked.

INTRODUÇÃO

Alguns pontos do trabalho elaborado como Tese de Mestrado em Arquitetura na FAU/UFRJ, são aqui abordados com o intuito de despertar interesse no assunto.

ARQUITETURA VERSUS SOM E RUÍDO. PROBLEMAS SOCIAIS

Aglomeracões humanas trazem progresso e ruído entre outras coisas. A Organização Mundial de Saúde classifica a poluição sonora, como o terceiro problema mais grave de poluição - depois da poluição do ar e da água.

Acidentes de trabalho, internações psiquiátricas, aumento do consumo de soníferos e jornadas de trabalho perdidas. Custo social elevado influenciando na saúde e na economia de uma cidade. Edificações mal projetadas, formam verdadeiras caixas de ressonância, amplificando ruídos e problemas. Para projetar conscientemente, do ponto de vista acústico, é necessário conhecer noções básicas de acústica arquitetônica.

NOÇÕES BÁSICAS - PROPRIEDADES DO SOM

Som é uma sensação auditiva gerada por uma onda acústica. A onda acústica resulta de uma vibração em um meio elástico (como o ar, materiais de construção e a terra) que gera uma série de compressões e rarefações. Este é o entendimento psicofísico do som, já que a definição física, é que existe som sempre que houver um corpo em vibração, mesmo que não possamos escutá-lo. [1]

Ruído é o som indesejado. Depende de quem escuta. Em qualquer situação acústica, consideraremos sempre três elementos: fonte, propagação, recepção. Se a fonte for desejável, como por exemplo música e fala, trataremos o local para que haja condições favoráveis de emissão, transmissão e recepção. Sendo indesejável, o melhor se rã o tratamento da fonte, e quando isto não for possível, outros meios serão estudados.

Freqüência é o número de variações de pressão por segundo, medida em Hertz (Hz) ou ciclos por segundo (c.p.s.). Durante cada ciclo completo de vibração ou período (T), a distância percorrida pela onda sonora define-se como comprimento de onda (λ). A velocidade

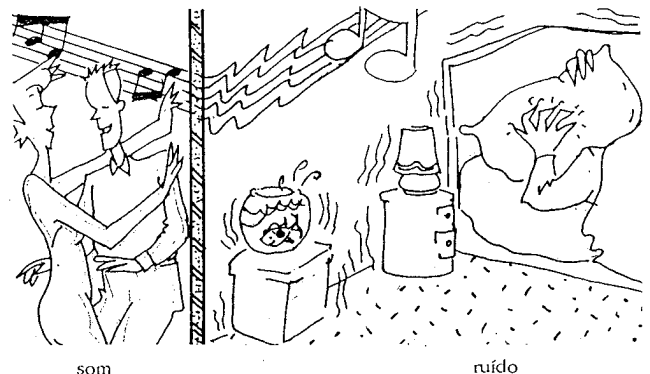
do som (c) por sua vez, esta relacionada com a temperatura, aumentando cerca de 0,60 m/s a cada 1°C aumentado.

$$f = \frac{1}{T} \quad T = \frac{\lambda}{c} \quad \lambda = \frac{c}{f}$$

UNIDADES

Nível de Pressão Acústica (L_p) - caracteriza o ruído percebido pelo o vido. O ouvido humano é sensível à pressões que vão de 2×10^{-5} Pascal (Pa) até 20 Pa, uma variação que vai de um a dois milhões. Para resolver este inconveniente, usa-se o logaritmo, que permite exprimir com precisão as variações de pressão acústica. Para relacionar a intensidade do som, ao nível de pressão acústica correspondente ao que o ouvido humano pode captar, criou-se o decibel. [2].

Nível de Potência Acústica (L_w) - caracteriza ruído emitido por uma fonte. Também se expressa em decibéis. Nível de Intensidade Acústica (LI) - a intensidade sonora (I) é emitida por uma onda sonora durante uma unidade de tempo (segundos) através de uma unidade de superfície (m^2), perpendicular à direção de transmissão.



NÍVEIS DE CONFORTO

Parâmetros de conforto acústico estabelecidos por normas internacionais.

LOCAIS	dBA	NC
HOSPITAIS		
Apartamentos, Enfermarias, Berçários, Centros cirúrgicos	35-45	30-40
Laboratórios	40-50	35-45
Serviços	45-55	40-50
ESCOLA		
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 concertos, Teatros	30-40	25-30
Salas de conferências, Cinemas, Salas de múltiplo uso	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
Sala de computadores	45-65	40-60
Salas de mecanografia	50-60	45-55
IGREJAS E TEMPLOS (Cultos meditativos)	40-50	35-45
LOCAIS DE ESPORTE		
Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas	45-60	40-50

Ruído de fundo admissível - Fonte: NBR 10132/1978

* dBA - nível de pressão acústica que simula a percepção do ouvido humano.

* NC - "noise criterium" - representa curva que leva em conta várias faixas de frequência.

ACÚSTICA ARQUITETÔNICA

O tratamento de uma sala é o conjunto de operações adequadas, do ponto de vista acústico:

1º Estudo da Formas - estudo da geometria e dimensões do local, a fim de evitar reflexos e ressonâncias parasitárias.

2º O Isolamento Acústico - quanto mais uma parede é espessa e pesada, mais ela isola dos ruídos aéreos (lei de massa). O ruído aéreo, é aquele transmitido pelo ar, diferente do ruído de impacto transmitido por elementos sólidos. Este último deve ser isolado através de materiais resilientes.

3º A Correção ou Condicionamento acústico ocorre quando fonte, transmissão e recepção, estão no mesmo local. Vários fenômenos físicos interferem na acústica, entre eles, a absorção. Superfícies difusoras e reflexivas devem ser usadas em conjunto com superfícies absorventes para controlar ecos e sons indesejáveis. A seleção dos materiais deve ser criteriosa.

REDUÇÃO DO NÍVEL SONORO ATRAVÉS DA ABSORÇÃO

Em Campo Livre - quando o som pode viajar sem obstáculos em qualquer direção, observa-se uma perda de 6dB no nível de pressão sonora a cada vez que a distância é dobrada. [3]

$$L_{p1} - L_{p2} = 20 \log \frac{d_2}{d_1}, \text{ onde } d_2 = 2 d_1 \quad (1)$$

Em Campo Reverberante - quando o som encontra obstáculos e fica no ar um certo tempo. Se executarmos um tratamento com materiais absorventes acústicos em uma sala, poderemos calcular o resultado com relação à perdas sonoras através da expressão:

$$L_{p1} - L_{p2} = 10 \log \frac{A_2}{A_1} \quad (2)$$

Onde: A_1 = absorção acústica da sala antes do tratamento;

A_2 = absorção acústica da sala depois do tratamento;

$A = \sum S_i \alpha_i$;

S = área em m^2 ;

α = coeficiente de absorção sonora do material.

CALCULO DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO

A qualidade acústica de uma sala, depende principalmente do tempo em que o som se mantém no local depois de interrompida a emissão. O tempo ótimo de reverberação, depende do volume da sala (V), e de sua utilização. Algumas fórmulas definem este tempo, entre elas a de Sabine.

$$TR = \frac{0,161 V}{\sum S_i \alpha_i} \quad (3)$$

A Norma Brasileira - NB 101, indica o TR ideal para alguns tipos de sala em função do volume e do uso do local.

FICHAS TECNICAS

Para trabalhar com condicionamento acústico, precisaremos conhecer o coeficiente de absorção (α) de materiais pessoais e objetos, dependendo de cada projeto. O coeficiente α , é idealmente definido como uma fração do nível de potência sonora que incide, aleatoriamente sobre uma superfície e por ela absorvido (varia conforme frequência). A seguir, fichas técnicas de materiais com propriedade de absorção sonora disponíveis no mercado brasileiro.

LA DE VIDRO			Fabricante: SANTA MARINA				Descrição: PAINEL RIGIDO					
TIPO	MASSA VOLUMÉTRICA Kg/m^3	CONDUTIBILIDADE TÉRMICA $Kcal/m.h.^{\circ}C$ a $100^{\circ}C$	INFLAMABILIDADE	MONTAGEM E ÁREA DA AMOSTRA	CERTIFICADO E DATA	ESPESSURA mm	COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA α					
							125	250	500	1000	2000	4000
PSI-30-50	30	0,034	INCOMBUSTÍVEL, SEGUNDO O FABRICANTE	PISO $10,80 m^2$	IPT nº 781847 30/8/90	50	0,17	0,62	0,90	1,00	1,07	0,97
PSI-40-25	40	0,033		FORRO SUSPENSO PLENUM 400mm $12 m^2$	IPT nº 776376 15/12/89	25	0,50	0,73	0,49	0,71	0,74	0,69
PSI-40-25	40	0,033		PISO $10,80 m^2$	IPT nº 776047 05/12/89	25	0,05	0,24	0,50	0,70	0,87	0,87
PSI-60-25	60	0,032		FORRO SUSPENSO PLENUM 400mm $12 m^2$	IPT nº 775001 24/11/89	25	0,50	0,74	0,60	0,73	0,79	0,78
FIBRAS DE MADEIRA			Fabricante: CLIMATEX				Descrição: CHAPAS DE FIBRA DE MADEIRA MINERAL PRENSADA COM CIMENTO					
TIPO	MASSA VOLUMÉTRICA Kg/m^3	CONDUTIBILIDADE TÉRMICA $Kcal/m.h.^{\circ}C$	INFLAMABILIDADE	MONTAGEM E ÁREA DA AMOSTRA	CERTIFICADO E DATA	ESPESSURA mm	COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA α					
							125	250	500	1000	2000	4000
C-25 natural	440	0,32	RETARDANTE AO FOGO CLASSIF. F-30 PELA NORMA DIN 4102	PISO $11,52 m^2$	Nº LMCC 001/90 Laboratório da USFM 08/11/90	25	0,03	0,10	0,23	0,59	0,81	0,62

LÃ DE ROCHA

Fabricante: FIBERGLAS

Descrição: MATERIAL COM FIBRAS LONGAS DE LÃ DE ROCHA, AGLOMERADAS COM RESINA

TIPO	MASSA VOLUMÉTRICA Kg/m ³	CONDUTIBILIDADE TÉRMICA Kcal/m.h.°C a 100°C	INFLAMABILIDADE	MONTAGEM E ÁREA DA AMOSTRA	CERTIFICADO E DATA	ESPESSURA mm	COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA α					
							125	250	500	1000	2000	4000
MS-20	32	0,039	SEGUNDO O FABRICANTE: INCOMBUSTÍVEL, NÃO SE DEFORMA ATÉ 750°C	PISO 10,80 m ²	REALIZADO NO LABORATÓRIO DA UFSC EM 18/11/88	50	0,35	0,40	0,74	0,80	0,91	0,96
MS-20	32	0,039				100	0,84	0,98	1,10	1,11	1,09	1,17
MS-40	64	0,037				50	0,50	0,58	0,91	1,10	1,05	1,06
MS-40	64	0,037				100	0,87	1,23	1,19	1,15	1,12	1,09

FIBRAS CERÂMICAS

Fabricante: MORGANITE

Descrição: FIBRAS CERÂMICAS A BASE DE SILICA E ALUMINA

TIPO	MASSA VOLUMÉTRICA Kg/m ³	CONDUTIBILIDADE TÉRMICA Kcal/m.h.°C a 50°C	INFLAMABILIDADE	MONTAGEM E ÁREA DA AMOSTRA	CERTIFICADO E DATA	ESPESSURA mm	COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA α					
							125	250	500	1000	2000	4000
MANTA KAOWOOL	64	0,023	INCOMBUSTÍVEL, SEGUNDO O FABRICANTE	PISO 13 m ²	Nº RAL A86-343 Riverbank Acoustical Labs.	25	0,10	0,29	1,00	1,04	0,99	0,98
MANTA KAOWOOL	96	0,023				25	0,12	0,35	0,99	0,88	0,90	0,91
MANTA KAOWOOL	64	0,023				51	0,27	0,92	1,01	1,01	1,03	1,10
MANTA KAOWOOL	96	0,023				51	0,33	0,92	0,83	0,89	0,92	0,91

ESPUMA DE POLIURETANO

Fabricante: ILLBRUCK

Descrição: ESPUMA FLEXÍVEL COM CUNHAS

TIPO	MASSA VOLUMÉTRICA Kg/m ³	CONDUTIBILIDADE KCal/m.h.°C A 20°C	INFLAMABILIDADE	MONTAGEM E ÁREA DA AMOSTRA	CERTIFICADO E DATA	ESPESSURA mm	COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA α					
							125	250	500	1000	2000	4000
SONEX 20/35	35	0,031	AUTOEXTINGUÍVEL	PISO 12 m ²	IPT Nº 766445 12/88	200	0,04	0,12	0,28	0,44	0,60	0,73
SONEX 35/35	35	0,031			IPT Nº 766446 12/88	350	0,06	0,20	0,45	0,71	0,95	0,89
SONEX 50/75	35	0,031			IPT Nº 766442 12/88	500	0,07	0,32	0,72	0,88	0,97	1,01
SONEX 75/75	35	0,031			IPT Nº 766444 12/88	750	0,13	0,53	0,90	1,07	1,07	1,00

TIJOLO

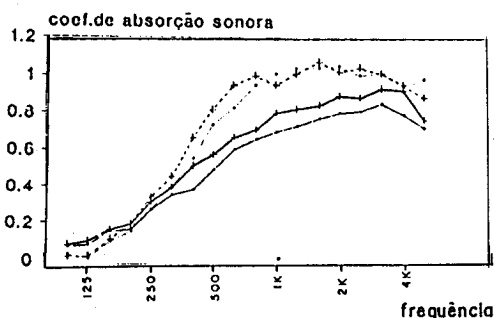
DESCRIÇÃO	FONTE	ESPESSURA mm	COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA α					
			125	250	500	1000	2000	4000
PAREDE DE TIJOLO PINTADA	W. C. Sabine, segundo Knudsen e Harris	450	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
PAREDE DE TIJOLO NÃO PINTADA	W. C. Sabine, segundo Knudsen e Harris	450	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07
BLOCOS DE TIJOLO VAZADO COM ABERTURAS EXPOSTAS (15 x 10 x 20 cm)	J. I. Pizzuti - Laboratório da UFSM (piso)	200	0,05	0,28	0,28	0,32	0,32	0,40
IDEM CHEIOS DE CASCA DE ARROZ	J. I. Pizzuti - Laboratório da UFSM (piso)	200	0,55	0,95	0,68	0,85	0,80	0,68

GRÁFICOS COMPARATIVOS

Estudamos os materiais fibrosos, por sua dupla ação de absorção, que se dá via atrito viscoso (abertura entre fibras) como na maioria dos materiais porosos e também por perdas internas (absorção da energia vibratória adquirida pelas próprias fibras). [4]

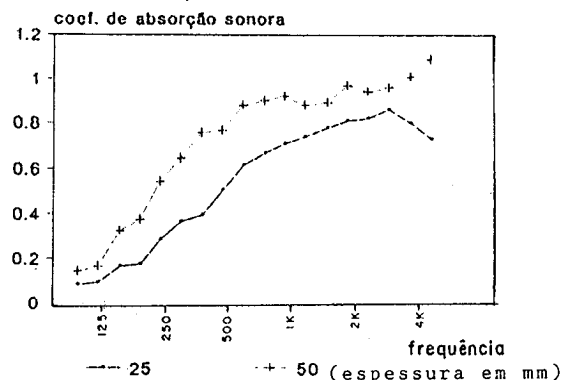
Efeitos de Densidade - para a mesma espessura, quanto maior a densidade, menor o desempenho em baixas frequências. Materiais montados contra superfície rígida.

mesma montagem, mesma espessura
densidade diferente



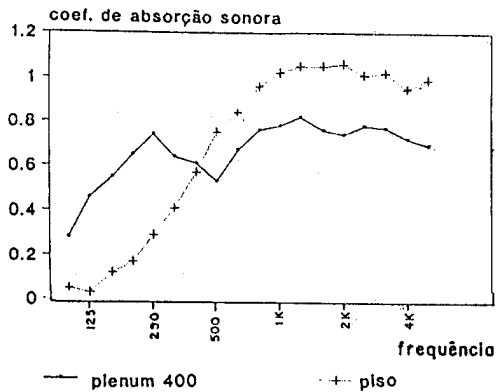
Efeitos da Espessura - de uma maneira geral, para baixas densidades (12 à 30 Kg/m³), quanto mais espesso, melhor desempenho nas frequências médias (250 à 1KHz). Já materiais mais densos, quanto mais espessos, tendem a melhorar seu desempenho nas baixas frequências e apresentando pouca variação nas altas frequências. Considerou-se montagem contra superfície rígida.

mesma montagem, mesma densidade
espessura diferente



Efeitos da Montagem - montados contra superfícies rígidas, tendem a melhorar o desempenho em acima de 500 Hz e piorar abaixo desta faixa, se comparados com materiais montados com espaçamento de ar. A variação no espaçamento de ar, também afeta o desempenho e está relacionada com o desempenho da onda sonora incidente.

montagem diferente, mesma espessura mesma densidade



APLICAÇÃO

Visando um projeto arquitetônico consciente do ponto de vista acústico, este capítulo aborda estudos de caso, da residência ao estúdio de som. A exigência de qualidade e conforto acústico, determinará as regras a seguir e a necessidade de especialistas em casos específicos.

Alguns pontos básicos:

- Levantamento de ruídos - estimativas ou medições feitas com aparelhos apropriados para cada situação.
- Consultar as normas pertinentes, estabelecendo o ruído de fundo adequado para o local. Comparar com níveis medidos.
- Estudo da implantação evitando proximidade ao ruído de trânsito, aberturas voltadas para locais ruidosos. Quando impossível, tratar de isolar e absorver o ruído externo, através de barreiras, paredes espessas, janelas duplas, excelente vedação.
- Estudo da disposição das fontes sonoras internas em relação aos locais de trabalho, lazer e repouso. A localização de máquinas deve ser rigorosamente analisada.
- Estudar forma, isolamento e condicionamento, visando conforto acústico. Conciliar com conforto térmico, lumínico e racionalização da construção.
- Selecionar processos de tratamento por banda de frequência, segundo a fonte de ruído. Comparar espessuras, densidades e formas de montagem dos diversos materiais disponíveis no mercado, visando a viabilidade econômica do projeto.
- Proceder aos cálculos pertinentes. Da geometria da sala ao tempo de reverberação.
- Averiguar as condições das instalações especiais (condicionamento de ar, ventilação, instalações hidráulico sanitárias, elevadores, máquinas e motores em geral). Enclausuramento das fontes de ruído, sempre que possível. [5]

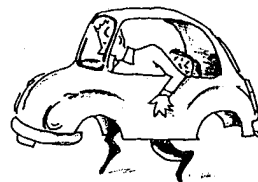
CONCLUSÕES

Nossas capitais galgam rapidamente o posto de mega-cidades e como consequência o agravamento da poluição sonora afetando a saúde de suas populações. Além da conscientização necessária de arquitetos, projetistas e população em geral, temos poucos materiais disponíveis para tratamentos acústicos, freqüentemente caros e sem controle de qualidade. O desenvolvimento de produtos com matéria-prima local, de baixo custo se faz premente.

A acústica, como ciência, é estudada há cerca de cem anos desde as primeiras experiências de Sabine, mas continua sendo o último aspecto a ser considerado numa edificação. Na transição dos princípios acústicos, para a prática da construção na realidade, o projetista fará um passo significativo que nem sempre é bem compreendido. Um projeto envolve colaboração de várias equipes complementares e depende da boa coordenação de um conjunto de informações e objetivos. Não existe receita de bolo e sim decisões bem elaboradas e programadas.

No Brasil, pesquisas tem sido realizadas no sentido de divulgar novas técnicas de medição, controle de ruído, programas matemáticos de cálculo, novos produtos, etc. Precisamos, paralelamente, convencer a indústria da construção civil que a acústica arquitetônica é bem mais que uma abstração, mas uma prática necessária.

Som ou ruído, desejável ou não, projetistas precisam conhecer e usar as noções básicas de acústica para não agravar ou criar novas fontes de poluição sonora.



Tratamento da fonte de ruído...

AGRADECIMENTOS

As irmãs Vera e Virgínia (anjos gráficos), cuja colaboração foi inestimável.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

1. KNUDSEN, V.O. e HARRIS, C.M., Acoustical Designing in Architecture. Ed. American Institute of Physics for the Acoustical Society of America, 1978.
2. EGAN, M.D., Concepts in Architectural Acoustics, New York, Ed. Mc Graw-Hill Book Company, 1972.
3. PORGES, G., Applied Acoustics, London, Ed. Edward Arnold, 1977.
4. Documentation Française du Bâtiment, L'Acoustique, Paris, Ed. Publications du Moniteur, 2ª edição, 1987.
5. PERIDES, S., Acústica Arquitetônica, Belo Horizonte Ed. Engenharia e Arquitetura, 1971.