

Você sabe o que é mapa sonoro?
Já ouviu falar em planejamento sonoro urbano?
Inscreva-se no seminário para saber mais!

Evento gratuito.
Inscrições pelo site: rebrand.ly/mapasonoro



I SEMINÁRIO FAU USP SOBRE MAPEAMENTO SONORO

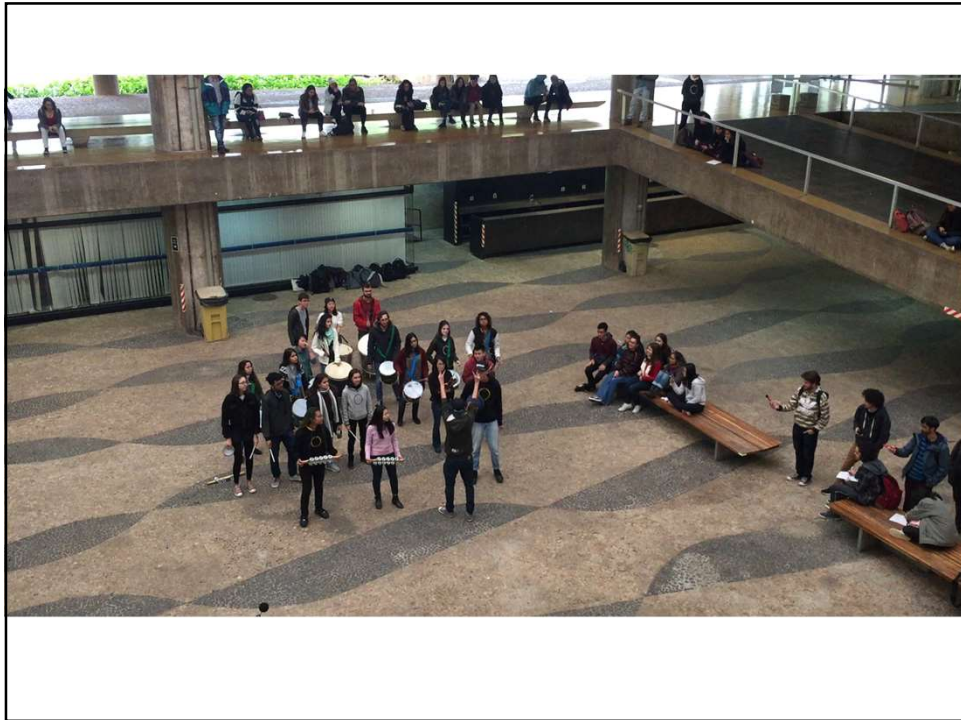
24 de setembro de 2019 (terça-feira) das 09h às 18h
Local: Auditório da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo
Rua do Lago, 876, Cidade Universitária, Butantã, São Paulo - SP

1

Bateria FAU deu um show!!! (20/08/2019)



2



3

- Resultados Exercício de Percepção

4



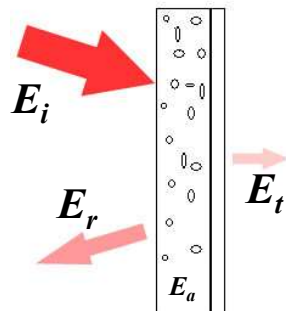
Absorção Sonora

5

Absorção Sonora

- Onda sonora incidente em uma superfície:

- Energia sonora incidente E_i
- Energia sonora absorvida E_a
- Energia sonora refletida E_r
- Energia sonora transmitida E_t



- A absorção sonora ocorre quando parte da energia sonora incidente no material é dissipada, transformando-se em energia térmica.

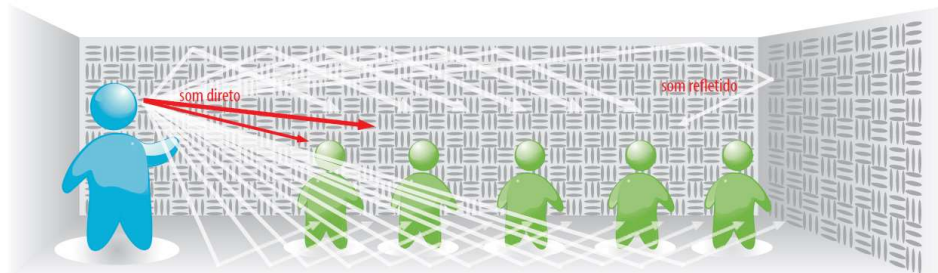
- Considerando as energias sonoras:

$$E_i = E_r + E_a + E_t$$

6

Absorção Sonora

- Utilizada em controle de reverberação e de ruído.
- Distribuída na quantidade correta em teto, paredes, piso ou móveis, elimina boa parcela do som refletido pelas superfícies, reduzindo o nível de ruído ambiente e promovendo condições de trabalho e comunicação adequadas.



7

- **Coefficiente de absorção sonora do material (α):**

$$\alpha = \frac{E_a}{E_i}$$

Onde:

E_a é a energia sonora absorvida pela superfície do material, e
 E_i é a energia sonora incidente na superfície do material.

- Sempre menor que 1, varia de $0 < \alpha < 1$

100% da energia é
refletida e/ou transmitida

100% da energia
é absorvida

- Pode ser expresso por fração decimal (0,07) ou porcentagem (7%).

8

- **Coefficiente de absorção sonora do material (α):**

- α depende de vários fatores:
 - tipo de material (meio) – densidade e estrutura interna
 - frequência da onda sonora incidente
 - ângulo de incidência da onda sonora
 - condições de montagem do material (espessura, modo de fixação, etc.)

9

- **Coefficiente de absorção sonora:**

- Qual o coeficiente de absorção de uma janela aberta?



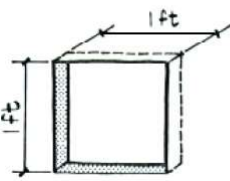
Obs: Considerando dimensões grandes em relação ao comprimento de onda.

10

- **Coefficiente de absorção sonora:**

- Janela aberta:

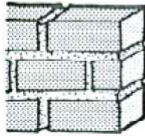
- Praticamente toda a energia incidente sairá do recinto → comporta-se como uma superfície absorvente → Absorção sonora total ($\alpha = 1$)

	<u>% refletida</u>	<u>% absorvida e transmitida</u>	<u>coef. de absorção sonora (α)</u>
 Janela aberta * * para efeito de cálculo	0	100	1,00

Obs: Considerando dimensões grandes em relação ao comprimento de onda.

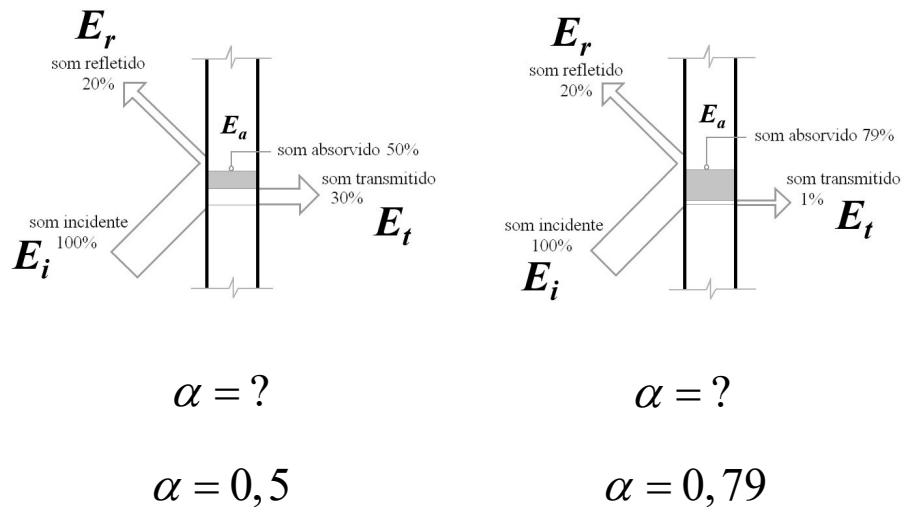
11

- **Coefficiente de absorção sonora:**

	<u>% refletida</u>	<u>% absorvida e transmitida</u>	<u>coef. de absorção sonora (α)</u>
 fibra de vidro (1 1/2" de espessura)	20	80	0,80
 tijolo (4" de espessura)	98	2	0,02

12

• **Coefficiente de absorção sonora:**

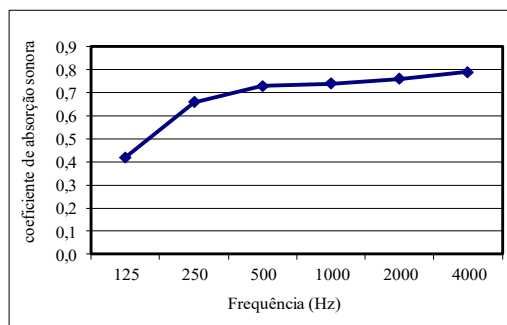


13

• **Coefficiente de absorção sonora:**

- Leva em consideração todas as incidências possíveis.
- Medido e apresentado em tabelas ou gráficos para as frequências principais.

Frequência (Hz)	α (lã de rocha - 10mm) (<i>Sabin</i>)
125	0,42
250	0,66
500	0,73
1000	0,74
2000	0,76
4000	0,79



- Wallace C. Sabine – fundador da Acústica Arquitetônica
- unidade de absorção – *Sabin*

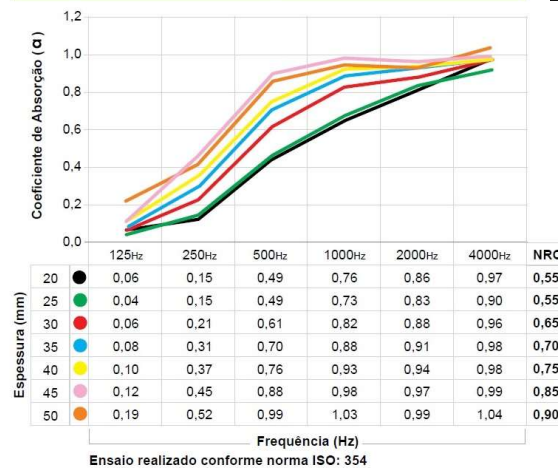
14

- **Coeficiente de absorção sonora:**

- Fornecidos pelos fabricantes.



Coeficientes de Absorção Sonora



- NRC (Coeficiente de Redução de Ruído): é a média aritmética dos 4 coeficientes de absorção sonora centrais, correspondentes às frequências de 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz.

15

- **Materiais absorventes**

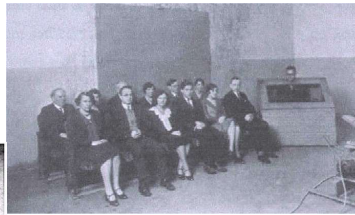
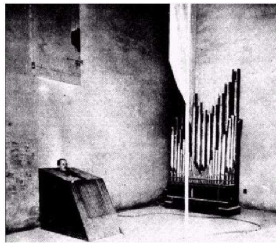
- Geralmente:
- $\alpha > 0,50 \rightarrow$ material absorvente
- $\alpha < 0,20 \rightarrow$ material refletor

16

- Como é medido o coeficiente de absorção sonora?

Wallace Clement Sabine (1868-1919)

*A energia sonora numa sala decai exponencialmente.
A razão na qual a reverberação desaparece é
proporcional à razão na qual o som é absorvido.*



1ª Câmara Reverberante
Método de medição do TR:
man-in-a-box

17

- Como é medido o coeficiente de absorção sonora?

- Tubo de impedância → incidência normal.
- Câmara reverberante → incidência aleatória.



18

- **Como é medido o coeficiente de absorção sonora?**

- Tubo de impedância → incidência normal.



19

- **Como é medido o coeficiente de absorção sonora?**

- Câmara reverberante → incidência aleatória.



21

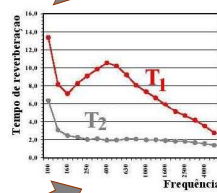
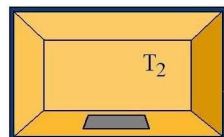
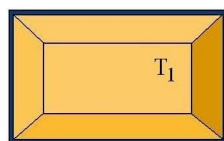
- Como é medido o coeficiente de absorção sonora?

- Câmara reverberante → incidência aleatória.

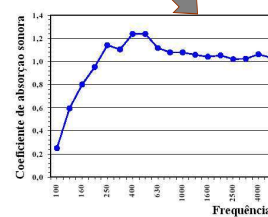


22

- Medição do coeficiente de absorção sonora em câmara reverberante:



$$\alpha_s = 55,3 \frac{V}{S} \left(\frac{1}{c_2 T_2} - \frac{1}{c_1 T_1} \right)$$

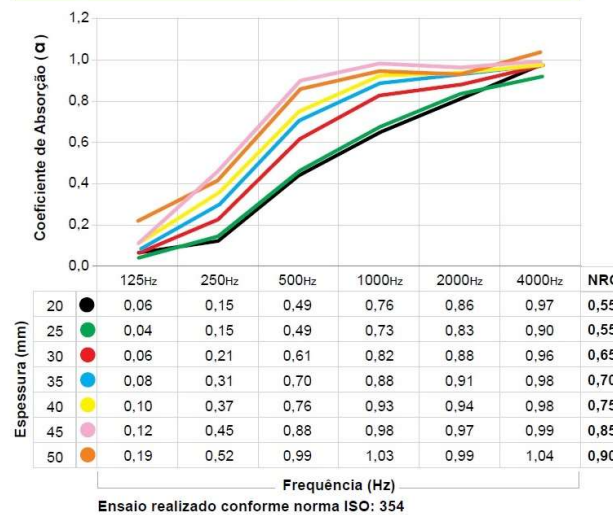


V - volume da câmara reverberante (m³)
S - área da amostra (m²)
c - velocidade de propagação do som no ar

23

- **Coefficiente de absorção sonora:**

Coefficientes de Absorção Sonora



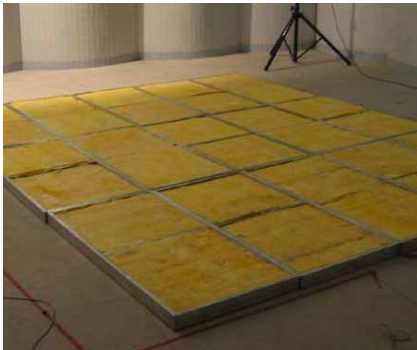
É possível $\alpha > 1$???

24

- **Valores de α maiores que a unidade**

- Fatores:

- forma e tamanho da amostra, configuração da montagem da amostra.
- difração sonora nas bordas da amostra (efeito de borda ou *edge-effect*):



Se uma área absorvente tem bordas livres, ela absorverá mais energia sonora por segundo do que o proporcional à sua área geométrica, a diferença sendo causada pela difração do som para a área absorvente. É como se a amostra fosse maior que sua área plana.

25

- **Área de absorção sonora equivalente (A):**

- O ambiente é composto por um conjunto de superfícies.
- Cada superfície é revestida por uma determinada área S_i de um material, que possui características específicas, como o coeficiente de absorção sonora α_i , assim a área de absorção sonora equivalente (ou total) do ambiente será:

$$A = \sum \alpha_i S_i = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_n S_n$$

27

- Na presença de objetos que absorvem o som, como pessoas, cadeiras, mesas, etc., a absorção sonora total desses elementos deve ser considerada:

$$A = \sum \alpha_i S_i + A_{obj}$$

- Assim, o **coeficiente de absorção sonora equivalente (médio)** do recinto, é dado por:

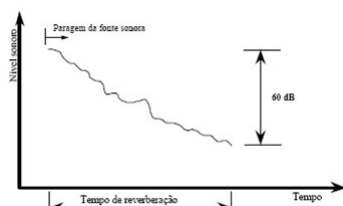
$$\alpha_{médio} = \frac{A}{S} = \frac{\sum \alpha_i S_i + A_{obj}}{S_1 + S_2 + \dots + S_n}$$

Onde S é a área total das superfícies do ambiente.

28

Tempo de reverberação de uma sala (TR)

- Tempo necessário, a partir do fim da excitação sonora numa sala, para o nível de pressão sonora cair 60 dB, isto é, o tempo para a energia sonora total cair a um milionésimo do seu valor inicial.



- É o parâmetro mais utilizado na avaliação da qualidade acústica de um ambiente.

32

- Tempo de reverberação de uma sala (TR):

Equação
de Sabine:

$$TR = 0,161 \frac{V}{A}$$

volume da sala (m³)

área de absorção sonora
equivalente da sala
(m² Sabin)

$$A = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_n S_n + A_{obj}$$

α_i - coeficiente de absorção sonora das n superfícies da sala

S_i - áreas das n superfícies da sala (m²)

- A equação de Sabine fornece resultados válidos para ambientes não muito grandes com características médias de absorção. Para ambiente amplos ou muito absorventes, deve-se usar a equação de Eyring.

33

Tempo de reverberação

- 1,2 segundos



- 0,4 segundos



34

Tempo de reverberação

- Muito longo – haverá sobreposição de sons – dificultando inteligibilidade.
- Muito curto – som desaparece imediatamente após sua emissão – percepção difícil em pontos afastados da fonte.

35

- **Tempo de reverberação**

- Depende de:
 - Volume do ambiente
 - Frequência sonora
 - Materiais do ambiente
- Pode ser alterado mudando-se a geometria do espaço e/ou as características acústicas dos materiais.

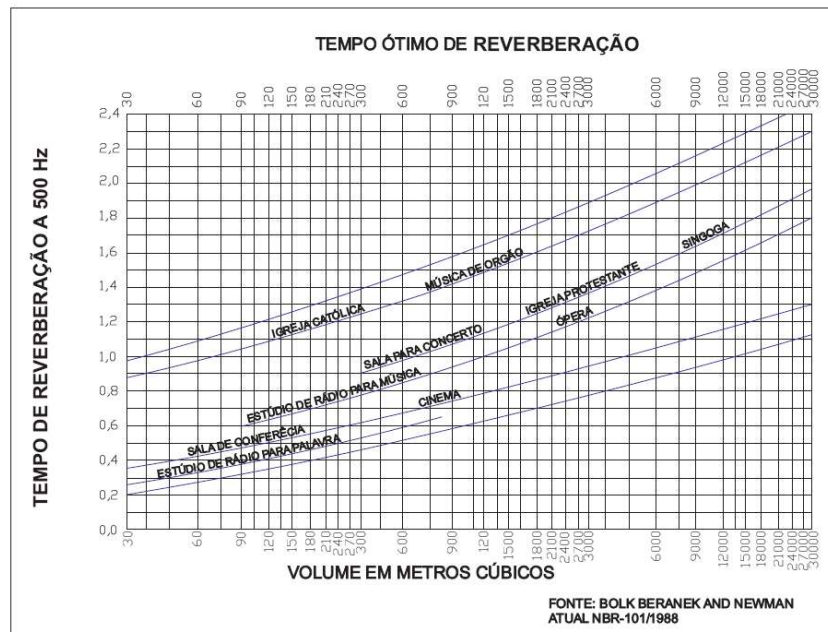
37

- **Tempo ótimo de reverberação**

- Tempo de reverberação ideal para cada ambiente, segundo o volume e a finalidade a que se destina.
- Determinado experimentalmente.
- Varia conforme o uso do ambiente:
 - Ambiente para palestra: TR menor.
 - Ambiente para música de órgão: TR maior.

38

- Tempo ótimo de reverberação



39

Intervenção Acústica em Escola (vídeo)



40

Exercício 02 - a

- Qual o tempo de reverberação da sala de aula?

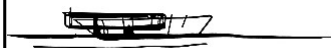


41

Universidade de São Paulo
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Departamento de Tecnologia da Arquitetura



AUT0286 - Conforto Ambiental 3: Termoacústica



Materiais absorventes

42

Materiais absorventes



- **Aplicações:**
- Tratamento acústico de ambientes: controle de reverberação e de ecos.



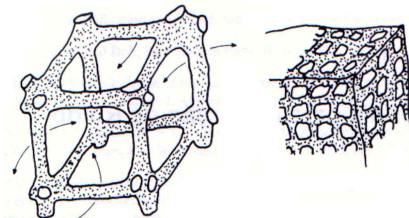
- Controle de ruído: enclausuramento de máquinas em indústrias, atenuação de ruído em sistemas de ventilação e ar condicionado, revestimento interno de paredes ou dutos, ...

43

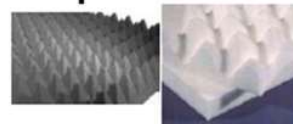
Materiais Porosos

- **Espumas**

A energia acústica incidente entra pelos poros e é parcialmente dissipada, transformando-se em energia térmica, principalmente por reflexões múltiplas e por atrito viscoso entre o ar no interior dos poros e a estrutura do material.

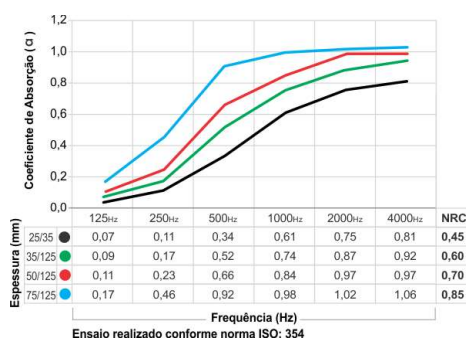


Espumas

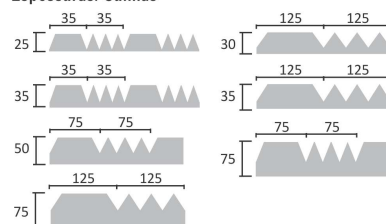


44

Materiais Porosos



Espessuras/Cunhas



Produto: **Placa Acústica Sonex iltec Perfilado**

Fabricante: **Owa**

45

Materiais Porosos

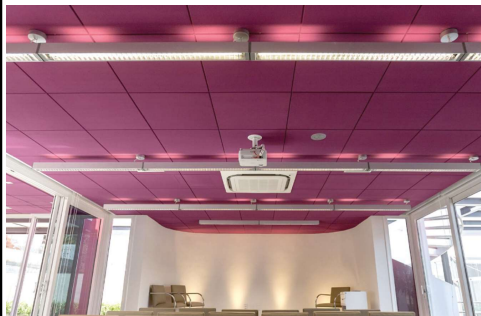
Produto: **Placa Acústica Sonex iltec Perfilado**

Fabricante: **Owa**

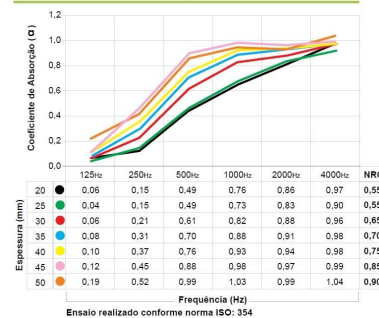


46

Materiais Porosos



Coefficientes de Absorção Sonora



Produto: **Placas Acústicas Sonex Illtec Plano**

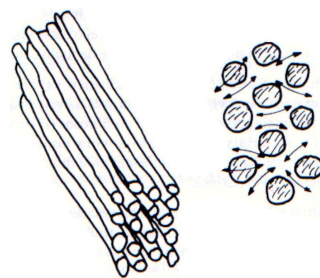
Fabricante: **OWA Sonex**

47

Materiais Fibrosos

- Lã de rocha, lã de vidro, lã de pet

A energia acústica incidente entra pelos interstícios das fibras, fazendo-as vibrar juntamente com o ar, dissipando-se em energia térmica devido ao atrito entre as fibras excitadas.



Lã de rocha



Lã de vidro



LÃ DE PET



48

Lã de rocha

Produzida com densidades de 32 kg/m^3 a 160 kg/m^3 .
Sua principal característica é a resistência à ação do fogo.



49

Lã de vidro

Produzida com densidades de 10 kg/m^3 a 100 kg/m^3 .

Apesar de ser incombustível, possui uma resistência menor ao fogo, sendo necessária, por exemplo, a combinação com outros materiais mais resistentes, como a própria lã de rocha e a lã cerâmica.



50

Lã de Pet

- Fibra 100% poliéster.
- 100% reciclável pois parte da matéria prima é proveniente da reciclagem de garrafas PET.



51

Lã de Pet



Produto: **Revest Decor**

Fabricante: **Trisoft**

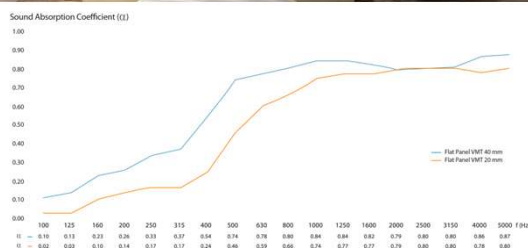
52

Lã de Pet

Produzida a partir de garrafas plásticas recicladas.



Produto: **Flat Panel VMT**
Fabricante: **Vicoustic**



53

Lã de Pet



Produto: **Flat Panel VMT**
Fabricante: **Vicoustic**

Frequência de Absorção: Média / Alta Frequência
NRC: 0,55 (Flat Panel VMT 20 mm aplicado diretamente sobre uma superfície rígida)
NRC: 0,60 (Flat Panel VMT 40 mm aplicado diretamente sobre uma superfície rígida)

54

Lã de Pet

Produto: **Flat Panel VMT**

Fabricante: **Vicoustic**

55

Lã de Pet

Produto: **Flat Panel VMT**

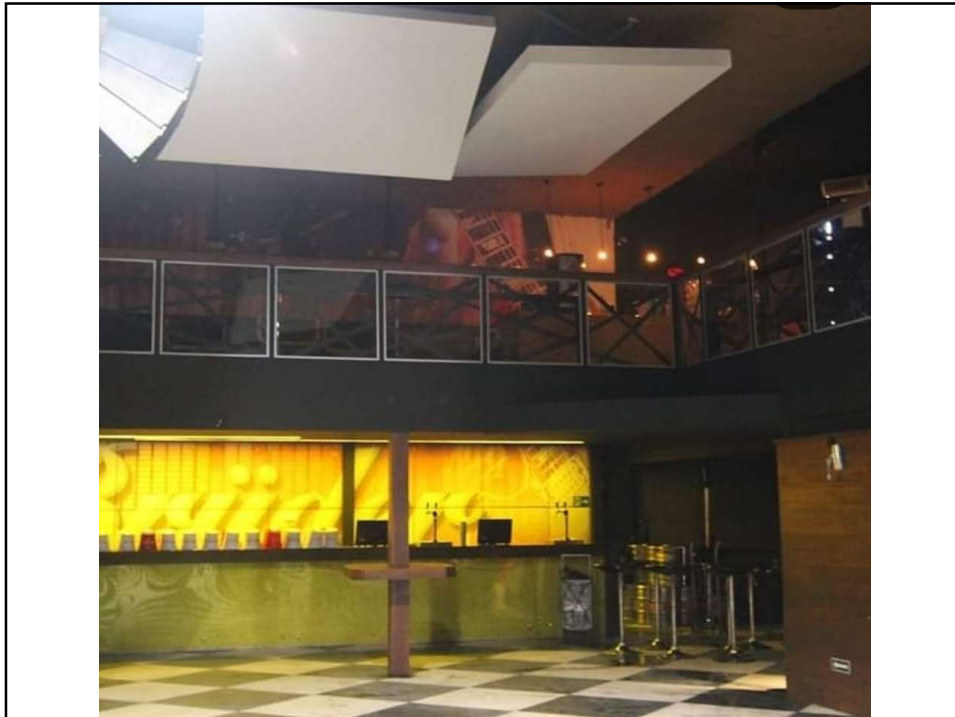
Fabricante: **Vicoustic**

56



Bruder Music Hall - Projeto Acústico: Sense Acústica

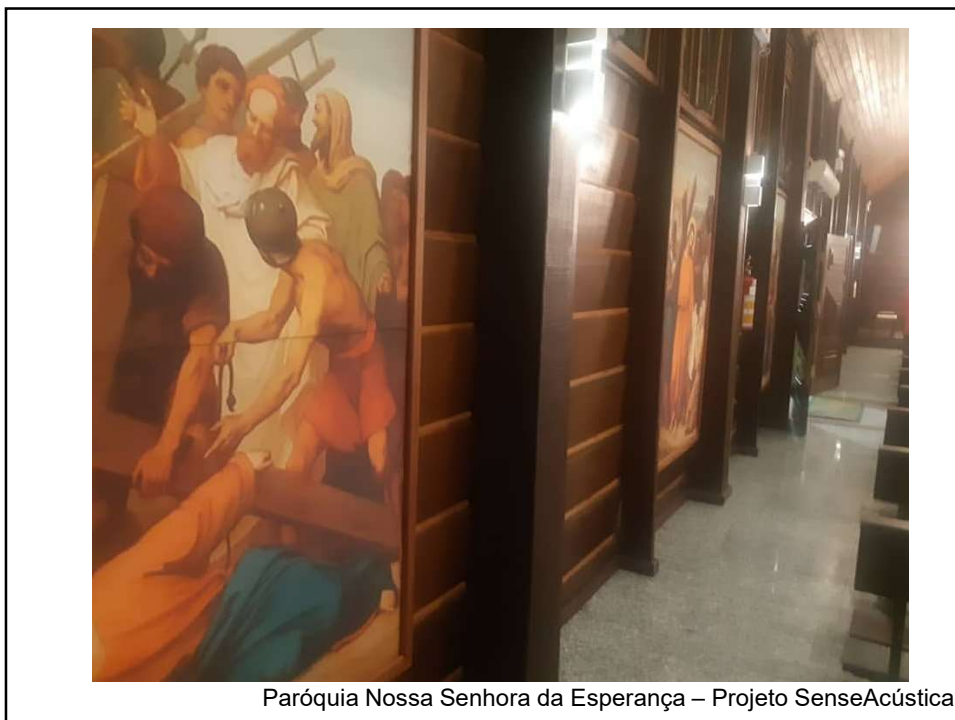
57



58



59



Paróquia Nossa Senhora da Esperança – Projeto SenseAcústica

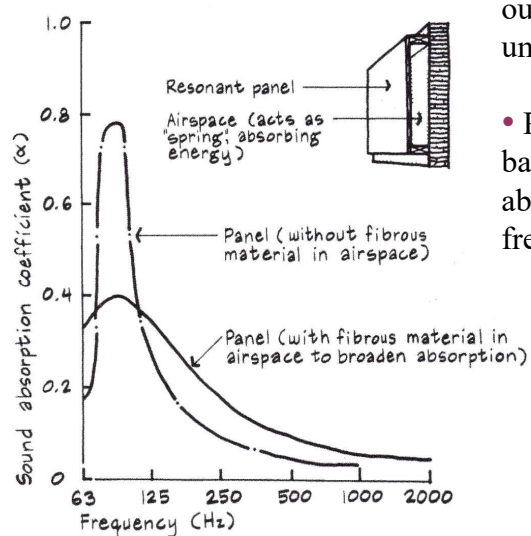
60



Paróquia de Nossa Senhora da Esperança - Projeto Acústico: Sense Acústica

61

Painéis ou membranas flexíveis



- Superfícies montadas sobre outra superfície sólida, com um espaço de ar entre elas.

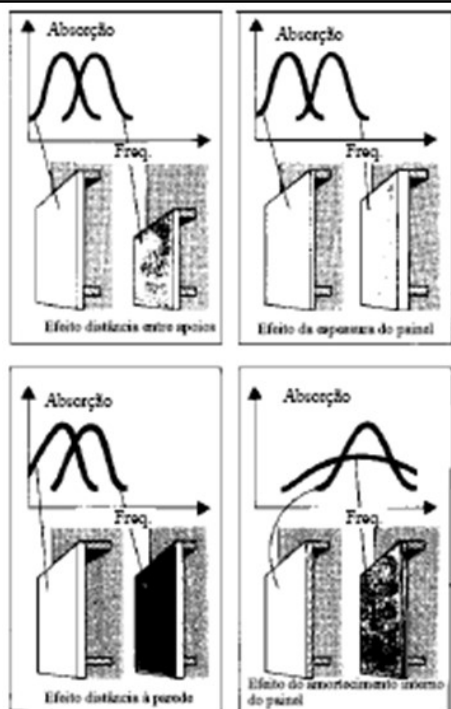
- Para absorção em médias e baixas frequências ou para absorver em uma única frequência.



62

Painéis flexíveis

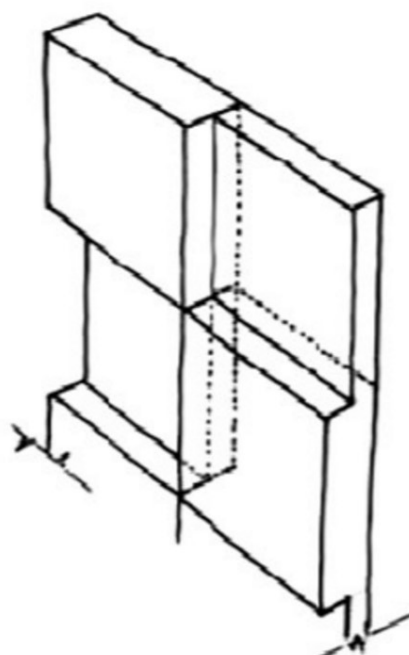
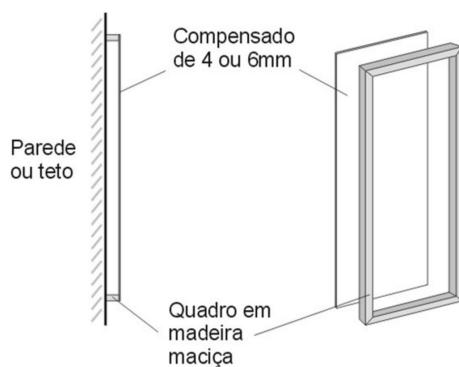
- Paineis leves, flexíveis, de pouca espessura, que atuam como membranas.
- Materiais possíveis: madeira (laminados, compensados), metais, plástico, etc.



63

Painéis flexíveis

- Quanto ao formato, é possível utilizar diferentes espessuras para diferentes frequências de absorção.



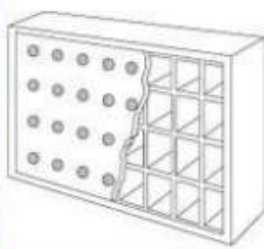
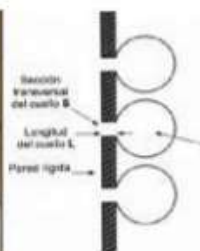
64

Painéis flexíveis



65

Ressoadores (ou ressonadores) de Helmholtz

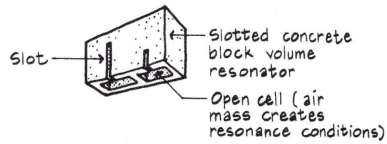
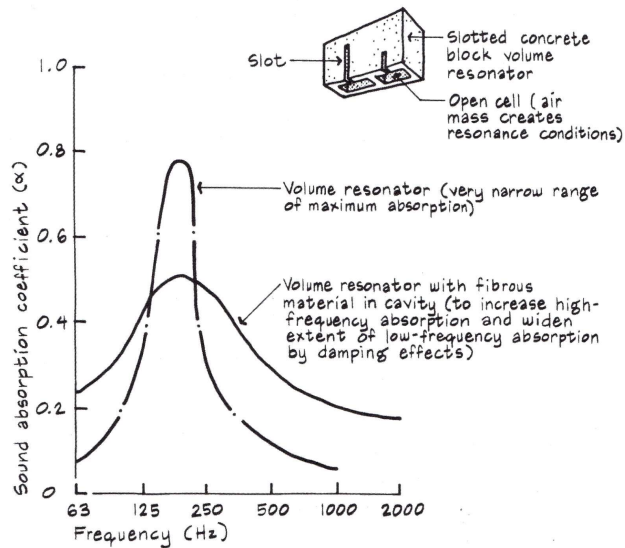


- São cavidades que contém ar confinado e estão conectadas ao ambiente através de uma pequena abertura.

- Para absorção em médias e baixas frequências ou para absorver em uma única frequência.

66

Ressoadores (ou ressonadores) de Helmholtz

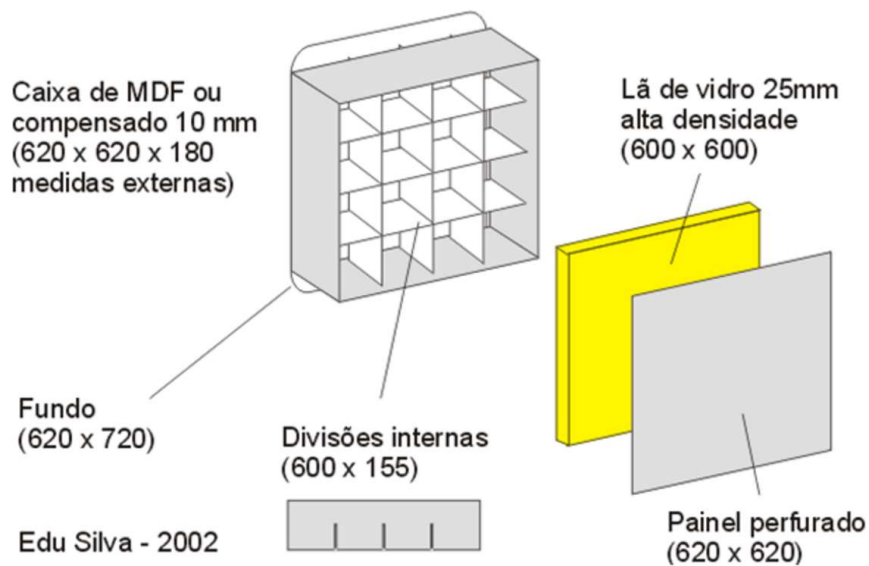


- Tijolos furados



67

Ressoadores (ou ressonadores) de Helmholtz



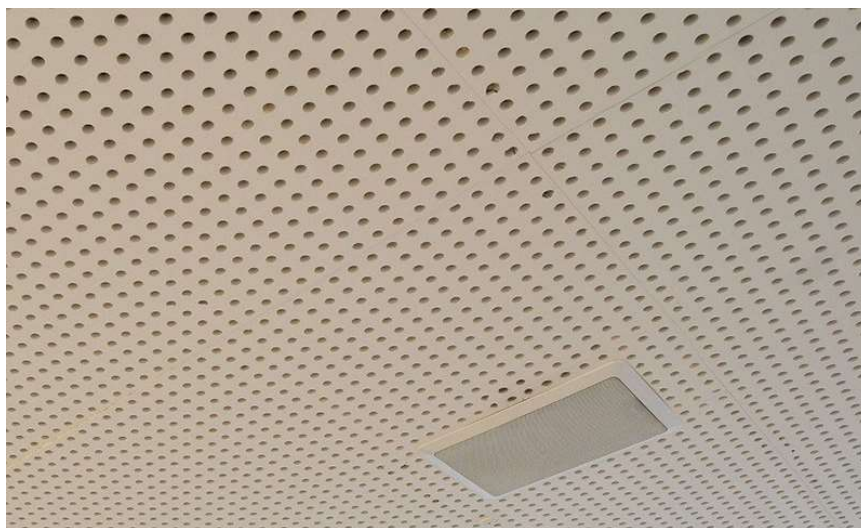
68

Ressoadores (ou ressonadores) de Helmholtz



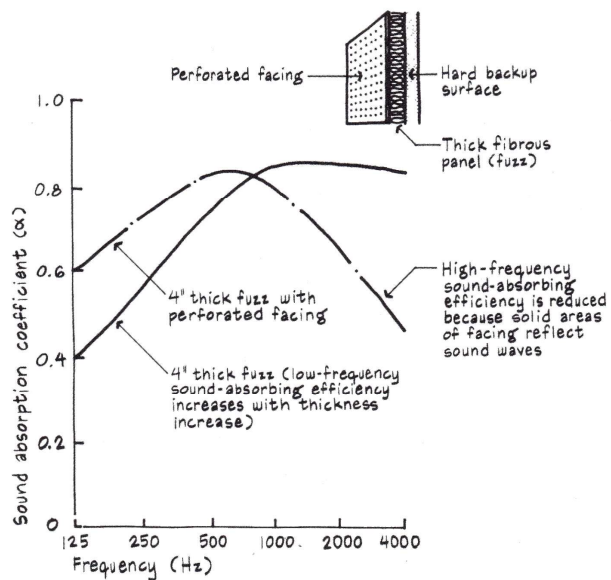
69

Painéis perfurados



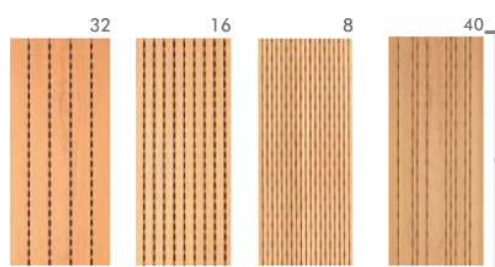
70

Painéis perfurados



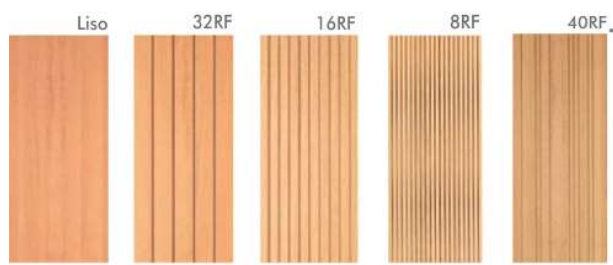
71

Painéis perfurados de madeira



Produtos: **Paineis Nexacoustic**
Fabricante: **OWA Sonex**

Painéis perfurados
(Absorvedores acústicos)

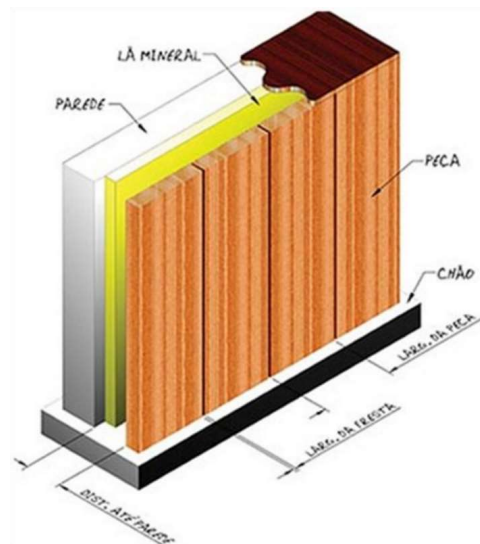


Painéis não perfurados
(Refletores acústicos)

*Consultar cores disponíveis em cada modulação.

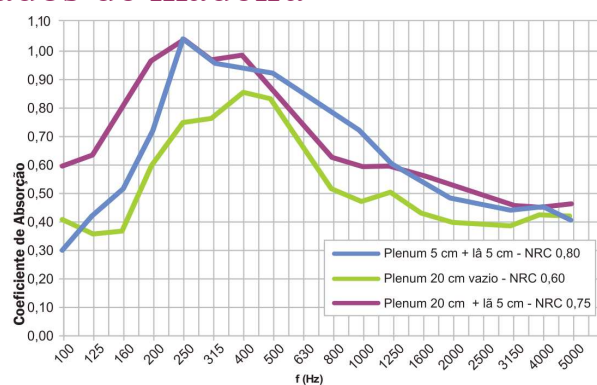
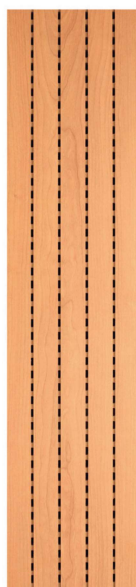
72

Painéis perfurados



73

Painéis perfurados de madeira



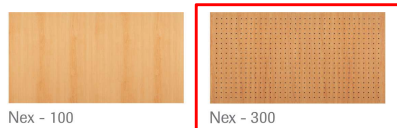
Nexacustic 32	125	250	500	1000	2000	4000	5000
— (Azul)	0,41	1,02	0,90	0,70	0,47	0,44	0,40
— (Verde)	0,35	0,73	0,81	0,46	0,39	0,41	0,41
— (Roxo)	0,62	1,01	0,83	0,58	0,50	0,44	0,45

Produto: **Painel Nexacustic 32**

Fabricante: **OWA Sonex**

74

Painéis perfurados de madeira



Nex - 100

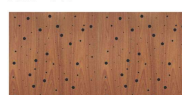
Nex - 300



Nex - 310



Nex - 320



Nex - 330



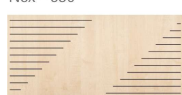
Nex - 500



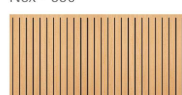
Nex - 530



Nex - 550

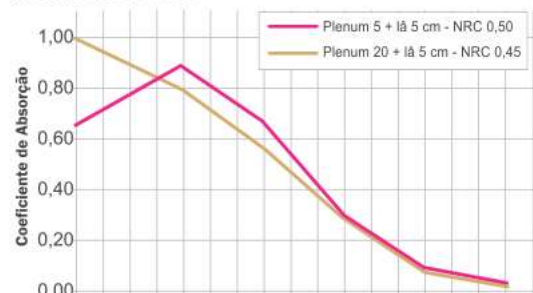


Nex - 580



Nex - 590

Nexacoustic 300



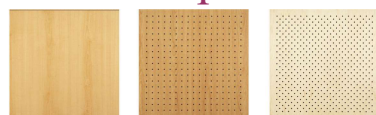
f(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
●	0,65	0,90	0,65	0,30	0,10	0,05
●	1,00	0,80	0,55	0,30	0,10	0,05

Produtos: **Revestimentos Nexacoustic**

Fabricante: **OWA Sonex**

75

Painéis perfurados de madeira (Forro)



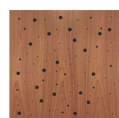
Nex - 100

Nex - 300

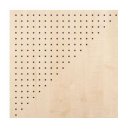
Nex - 310



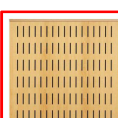
Nex - 320



Nex - 330



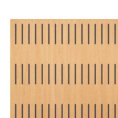
Nex - 350



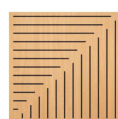
Nex - 500



Nex - 530



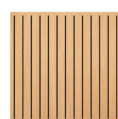
Nex - 550



Nex - 570

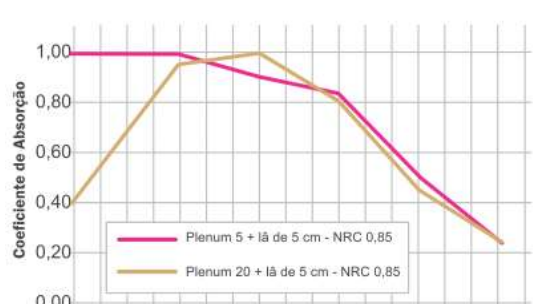


Nex - 580



Nex - 590

Nexacoustic 500



f(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
●	0,40	0,95	1,00	0,80	0,45	0,25
●	1,00	1,00	0,90	0,85	0,50	0,25

Produtos: **Forros de Madeira Nexacoustic 500**

Fabricante: **OWA Sonex**

76

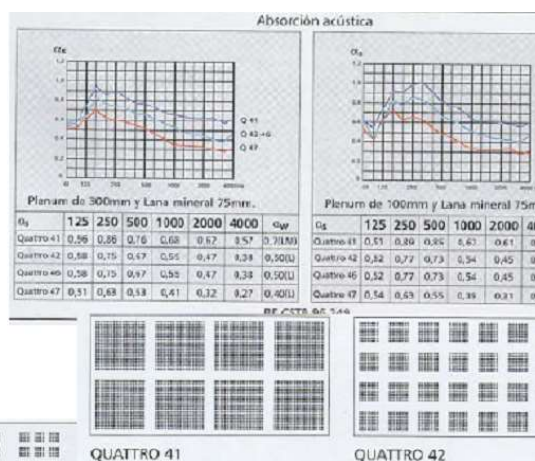
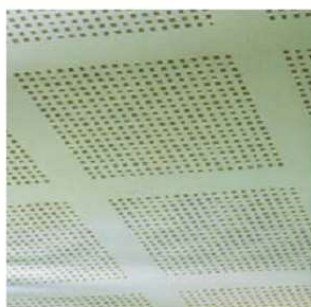
Painéis perfurados de madeira (Forro)



77

Painéis perfurados

Painéis perfurados ou ranhurados



QUATTRO 41

QUATTRO 42

78

Painéis perfurados

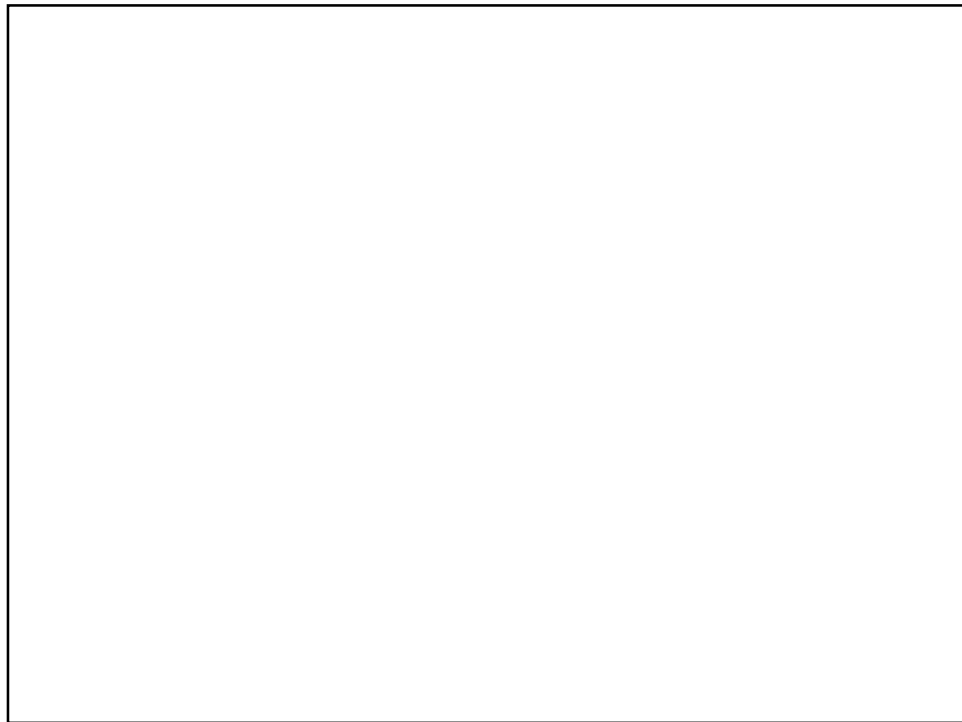


79

Painéis perfurados



80



81

- **E a caixa de ovo?**



- Não é material acústico.
- Não é material de isolamento.
- Seu formato lembra o de espuma acústica, mas absorve pouco o som.



82



83

Escolha do material

Em termos práticos, a escolha de um material de absorção acústica, além dos coeficientes de absorção e da frequência do ruído, depende também de:

- Custo
- Características em altas temperaturas / Resistência ao fogo
- Peso e volume em relação ao espaço disponível
- Rigidez mecânica
- Fixação e manutenção
- Aparência e pintura
- Limpeza

84

Escolha do material

Para a escolha dos materiais, deve-se combinar todos os elementos necessários de forma a obter o melhor resultado para a finalidade desejada em toda a faixa de frequência.

85

Placas acústicas



Produto: **Sonex Illtec Plano**

Fabricante: **OWA Sonex**



86

Placas acústicas

Produto: **Sonex Illtec Plano**

Fabricante: **OWA Sonex**



87

• Mossbourne Community Academy
School, Londres

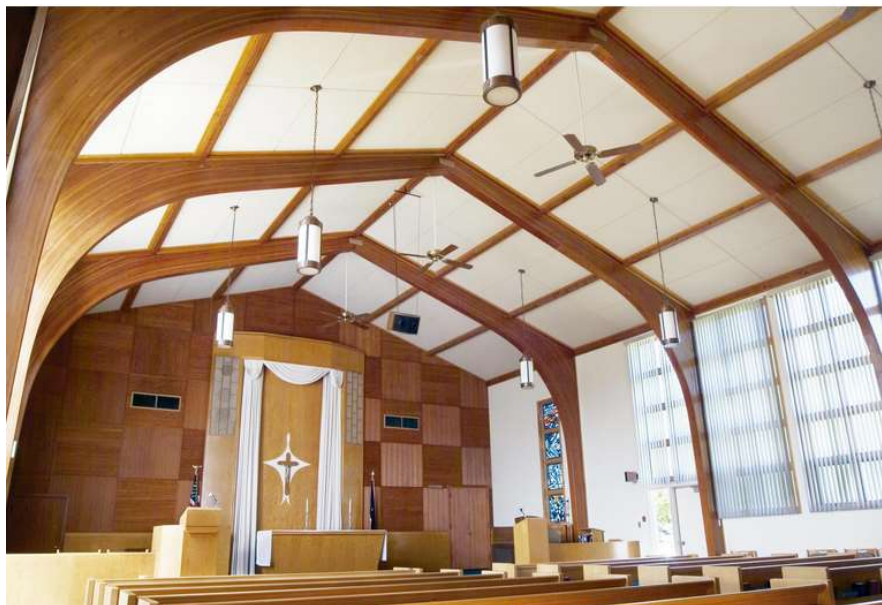


88

Placas acústicas

Produto: **Sonex Illtec Plano**

Fabricante: **OWA Sonex**



89

Placas acústicas

Produto: **Sonex Illtec Plano**

Fabricante: **OWA Sonex**



90

Placas acústicas

Produto: **Placa Acústica Sonex illtec Perfilado**

Fabricante: **OWA Sonex**



91

Placas acústicas



Produto: **Placa Acústica Sonex illtec Perfilado**

Fabricante: **OWA Sonex**

92

Placas acústicas

Produto: **Flat panels**

Fabricante: **Vicoustic**



93

- Paineis acusticos



94

Placas acústicas

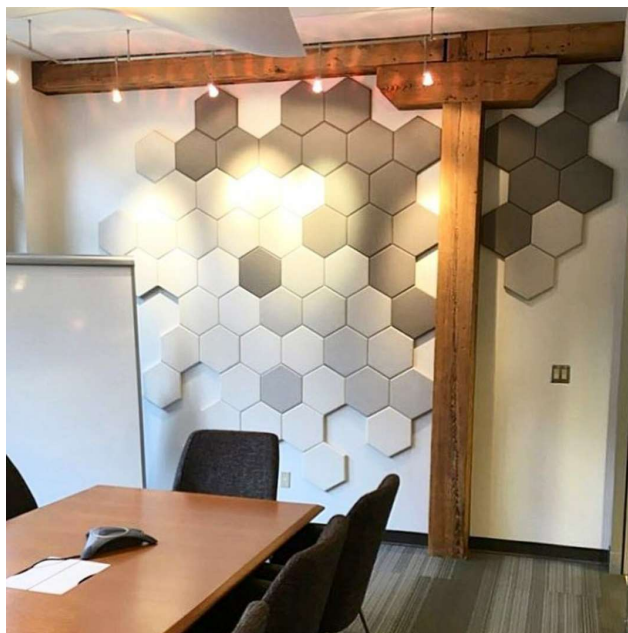
Fabricante: **Xorel Artform**



95

Placas ou “Azulejos” acústicos

Fabricante: **Xorel Artform**



96

Placas ou “Azulejos” acústicos

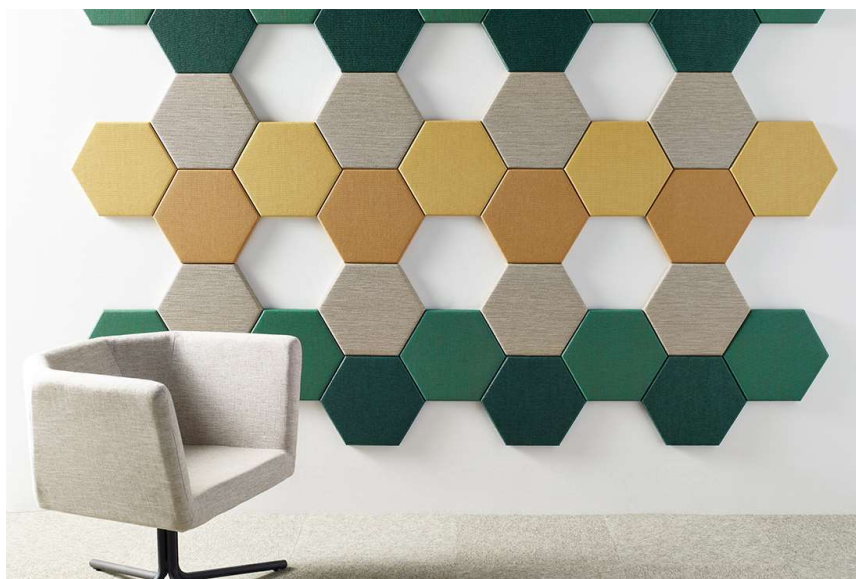
Fabricante: **Xorel Artform**



97

Placas ou “Azulejos” acústicos

Fabricante: **Xorel Artform**



98

Painéis acústicos



Produto: **Paineis Nexacustic**
Fabricante: **OWA Sonex**

99

Painéis acústicos



Produto: **Paineis Nexacustic**
Fabricante: **OWA Sonex**

100

Forro perfurado



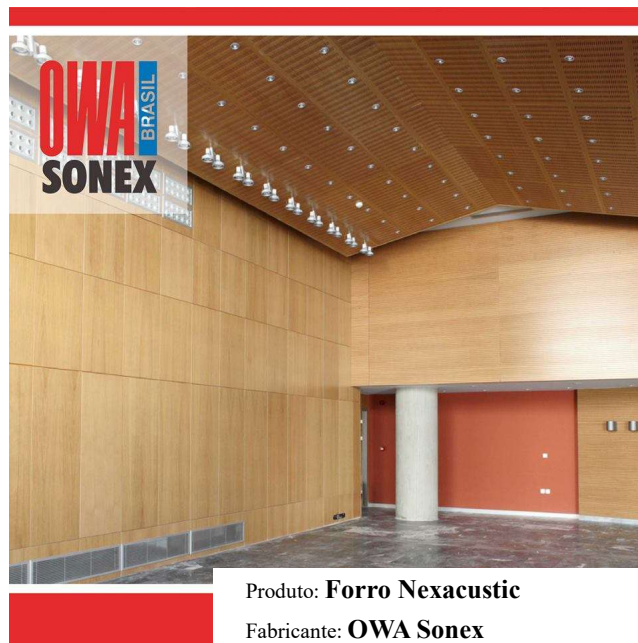
Edifício Cinerama

Produto: **Revestimento Nexacustic**

Fabricante: **OWA Sonex**

101

Forro perfurado



Produto: **Forro Nexacustic**

Fabricante: **OWA Sonex**

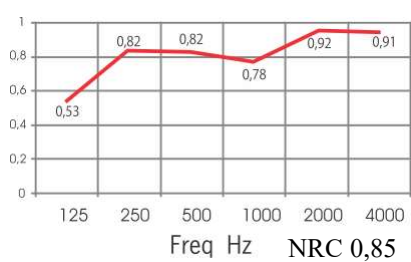
102

Forro mineral



Produto: **Forro Mineral Humancare**

Fabricante: **OWA Sonex**



103

Forro mineral



NRC até 0,90

Forro Mineral Sinfonia

Produto: **Forro Mineral Sinfonia**

Fabricante: **OWA Sonex**

104

Forro mineral



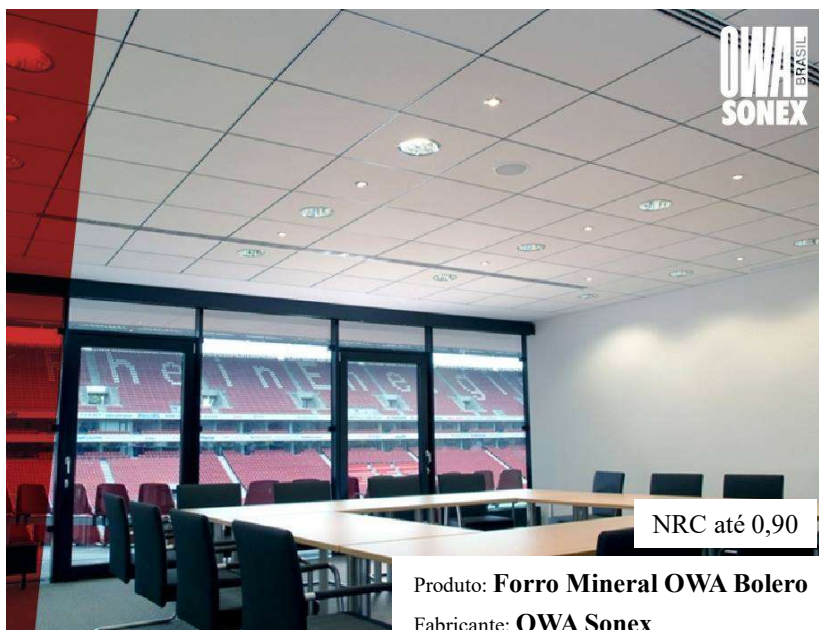
105

Forro mineral



106

Forro mineral



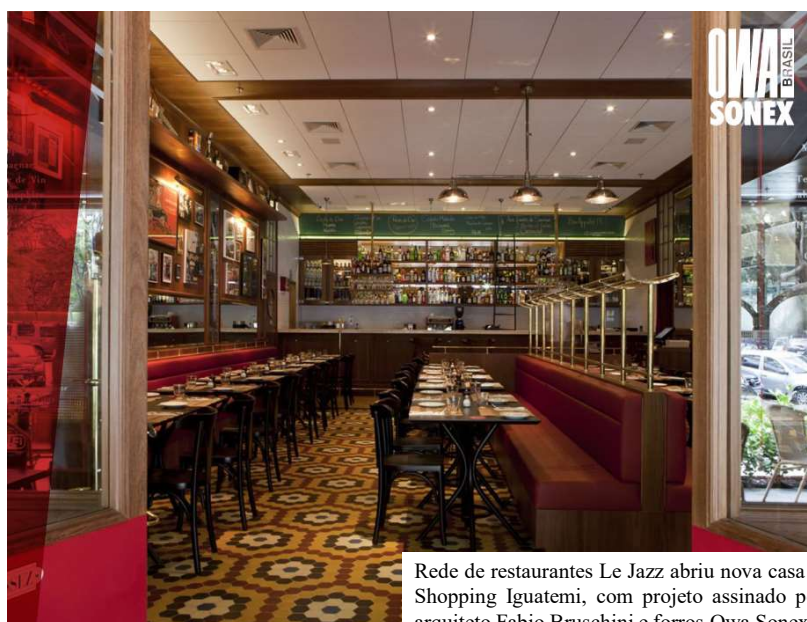
NRC até 0,90

Produto: **Forro Mineral OWA Bolero**

Fabricante: **OWA Sonex**

107

Forro mineral



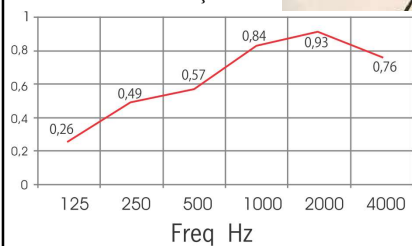
Rede de restaurantes Le Jazz abriu nova casa no Shopping Iguatemi, com projeto assinado pelo arquiteto Fabio Bruschini e forros Owa Sonex.

108

Forro mineral



Coefficiente de absorção:



Produto: **Forro Mineral Creaprint - NRC 0,70**

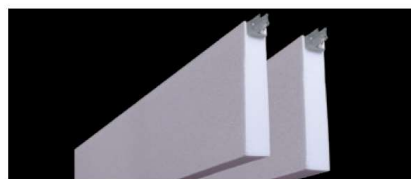
Fabricante: **OWA Sonex**

109

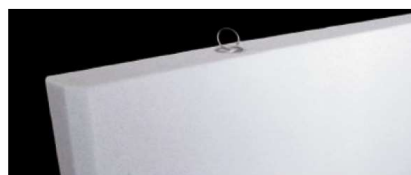
Baffles (Paineis acústicos suspensos)



Baffle Linear



Baffle T



Baffle

Produto: **Sonex Illtec Baffle**

Fabricante: **OWA Sonex**

110

Baffles (Paineis acústicos suspensos)

Produto: **Sonex Illtec Baffle**

Fabricante: **OWA Sonex**

Material

Placa acústica SONEX illtec, semi-rígida, de estrutura micro-celular, densidade 11 kg/m³, alta resistência ao fogo, atende aos requisitos máximos de segurança Norma NBR 9442/ IT-10.

Cores

- Natural: cinza claro
- Padrão: conforme tabela. (pag. 15)
- Pintura especial: sob consulta

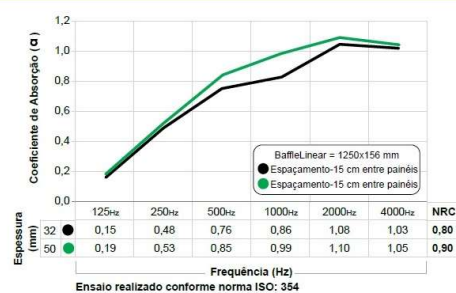
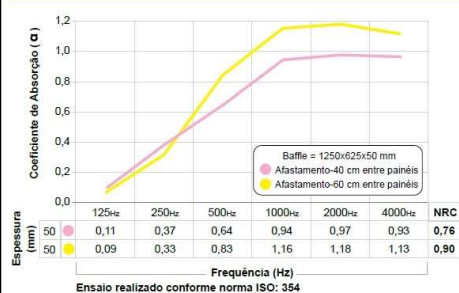
Garantia

5 anos

Espessuras (mm)

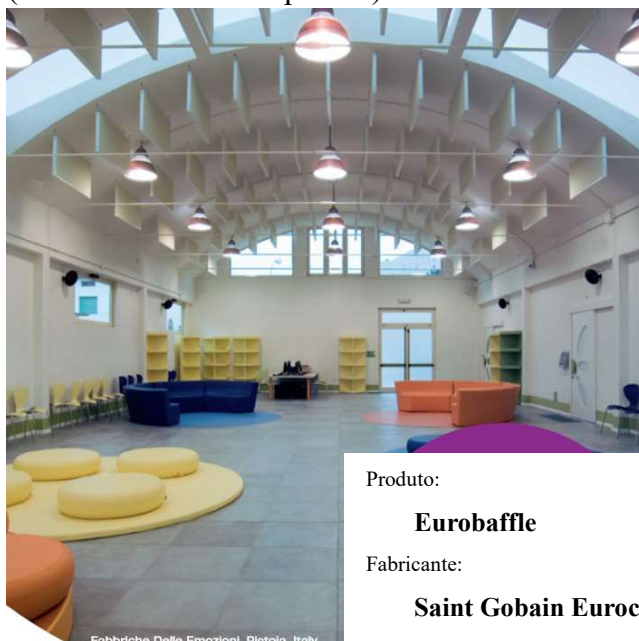
- 35 mm
- 50 mm

Coefficientes de Absorção Sonora



111

Baffles (Paineis acústicos suspensos)



Produto:

Eurobaffle

Fabricante:

Saint Gobain Eurocoustic

112

Baffles (Paineis acústicos suspensos)



Produto:

Eurobaffle

Fabricante:

Saint Gobain Eurocoustic

113

Baffles (Paineis acústicos suspensos)



Produto:

Eurobaffle

Fabricante:

Saint Gobain Eurocoustic

114

Baffles (Paineis acústicos suspensos)



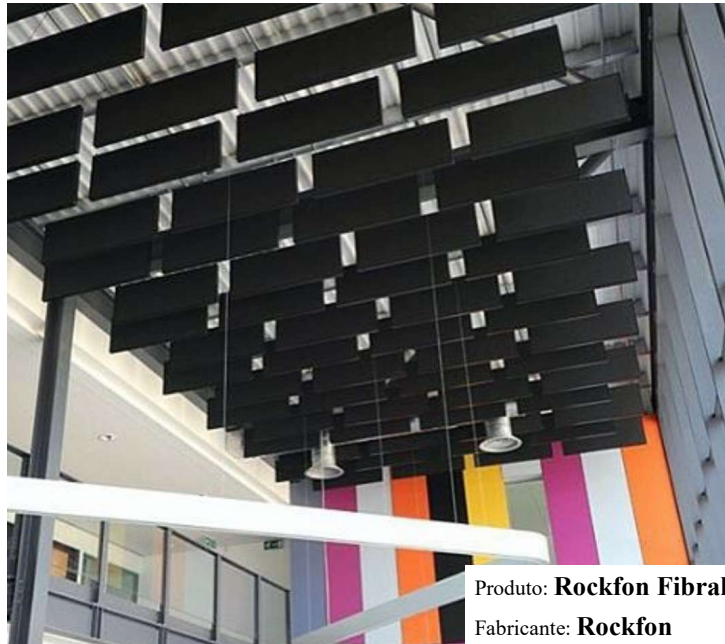
115

Baffles (Paineis acústicos suspensos)



116

Baffles (Paineis acústicos suspensos)



Produto: **Rockfon Fibril Baffles**
Fabricante: **Rockfon**

117

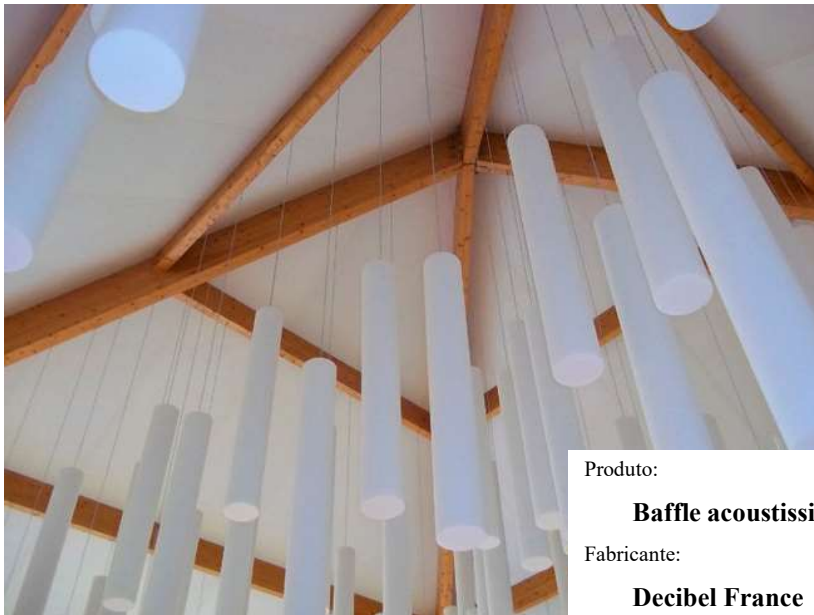
Baffles (Paineis acústicos suspensos)



Painéis acústicos garantem volumetria e estética à clínica.

118

Baffles (Paineis acústicos suspensos)



Produto:

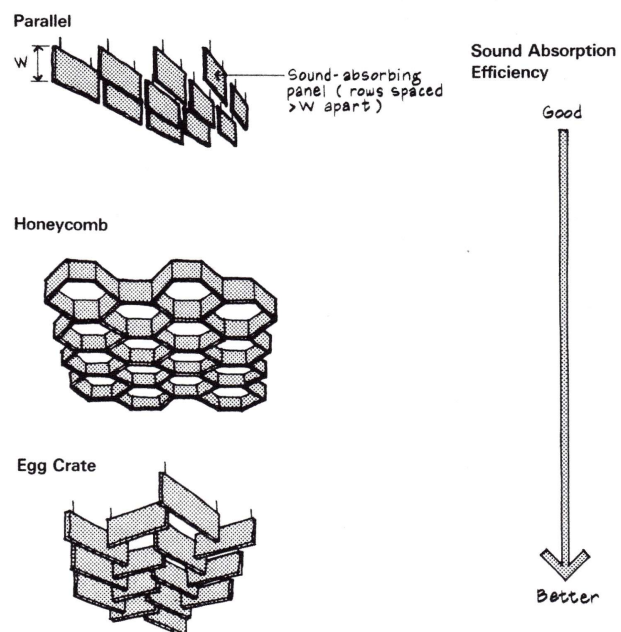
Baffle acoustissimo

Fabricante:

Decibel France

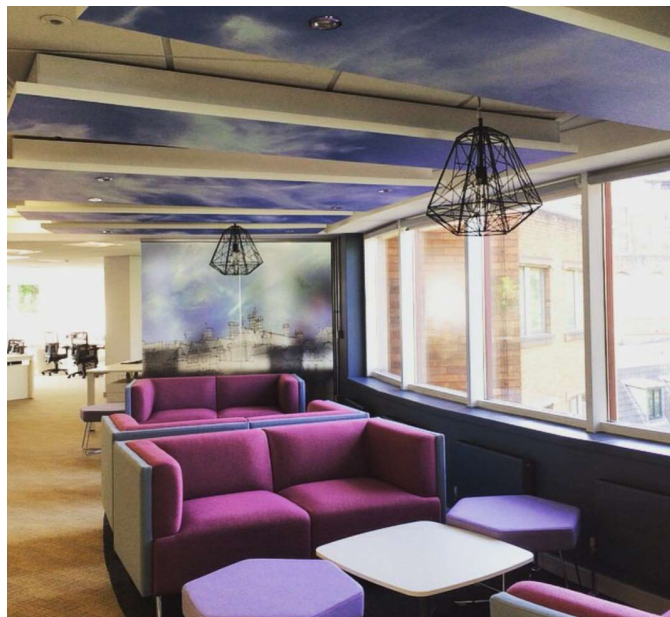
119

Baffles (Paineis acústicos suspensos)



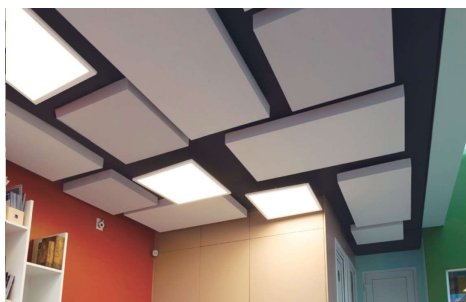
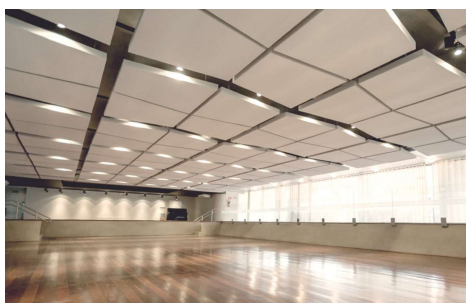
120

Painéis acústicos suspensos

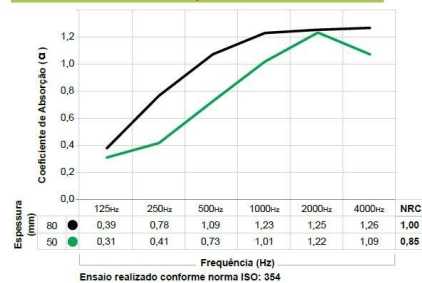


121

Nuvens acústicas



Coefficientes de Absorção Sonora

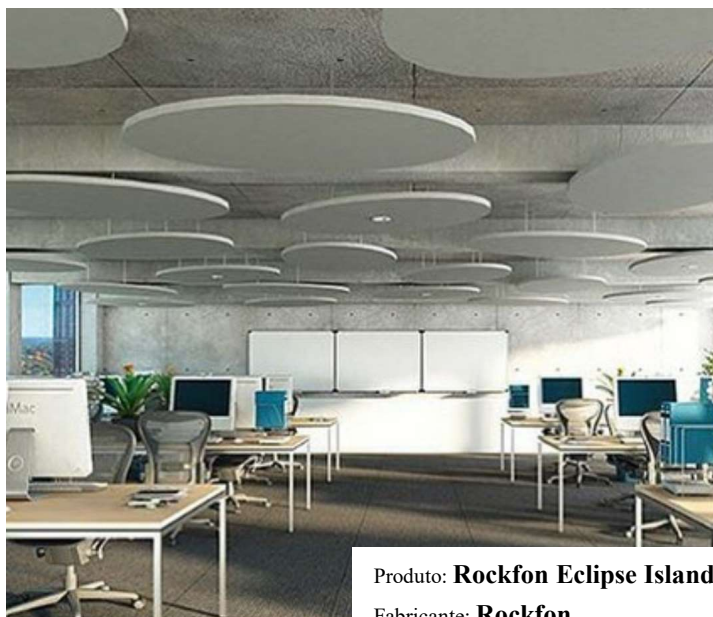


Produto: **Sonex Illtec Nuvens**

Fabricante: **OWA Sonex**

122

Nuvens acústicas

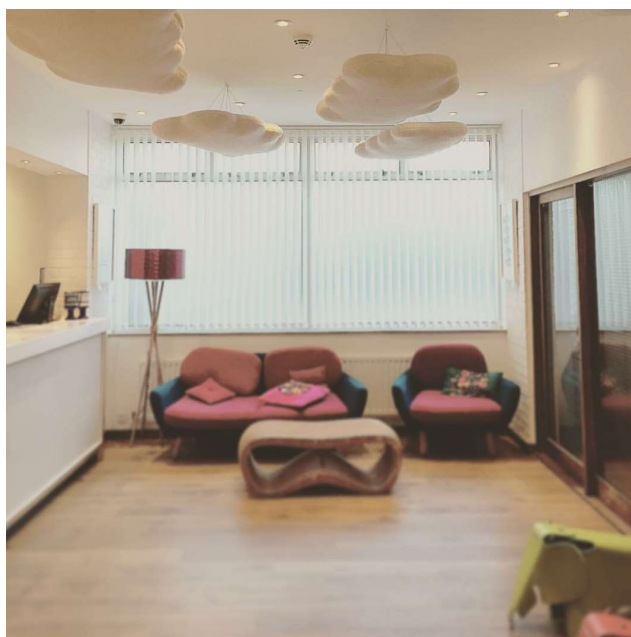


Produto: **Rockfon Eclipse Island**
Fabricante: **Rockfon**

123

Nuvens acústicas

Bedruthan Hotel e Spa - Reino Unido



124

Nuvens acústicas



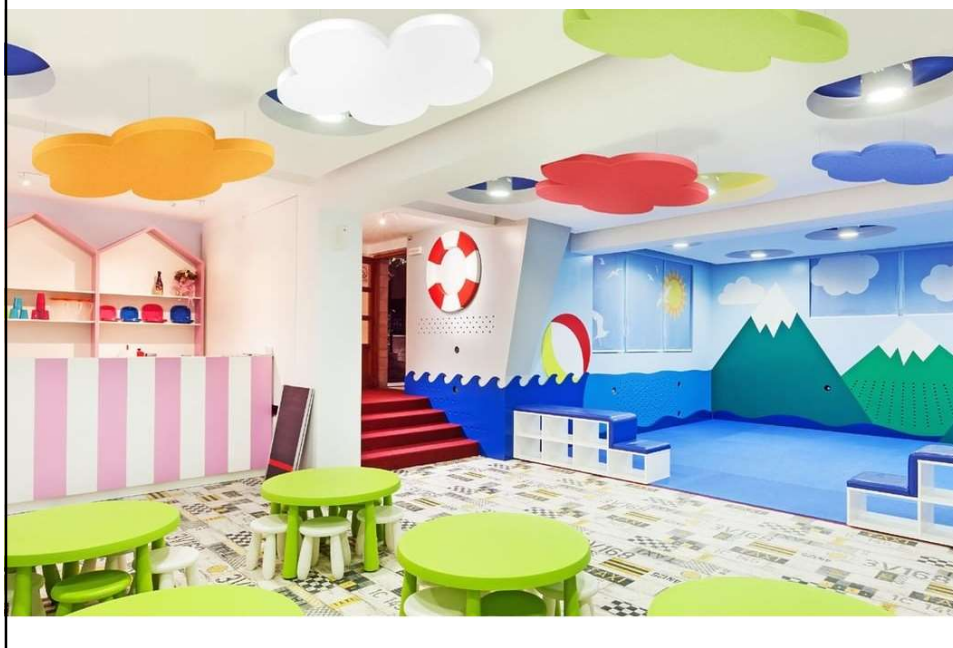
125

Nuvens acústicas



126

• Brinquedoteca



127

Nuvens acústicas

Produto: **VI Cloud**
Fabricante: **Vicoustic**



128

Placas e divisórias acústicas

Produtos: **Woolbubbles**, **Town** e **MyPlace**

Fabricante: **Wobedo**



129

My Place

Product: **My Place**

Fabricante: **Wobedo**



130

My Place

Product: **My Place**
Fabricante: **Wobedo**

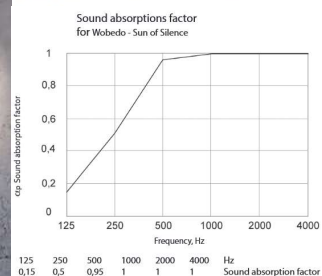


131

Mobiliário acústico

Sun of Silence

Product: **Sun of Silence**
Fabricante: **Wobedo**



132

Square of Silence

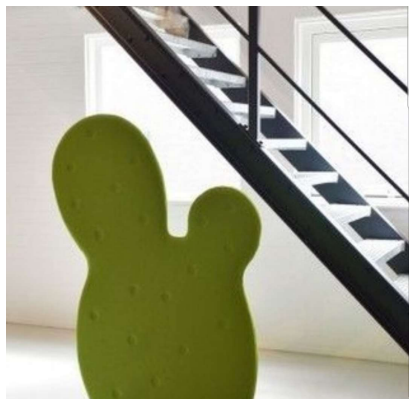
Product: **Square of Silence**

Fabricante: **Wobedo**



133

Mobiliário acústico



134

Luminárias acústicas

Produto: **Material Acoustic Light**

Fabricante: **Acousticaitalia**



135

E paredes verdes / jardins verticais ?



136

E paredes verdes / jardins verticais ?

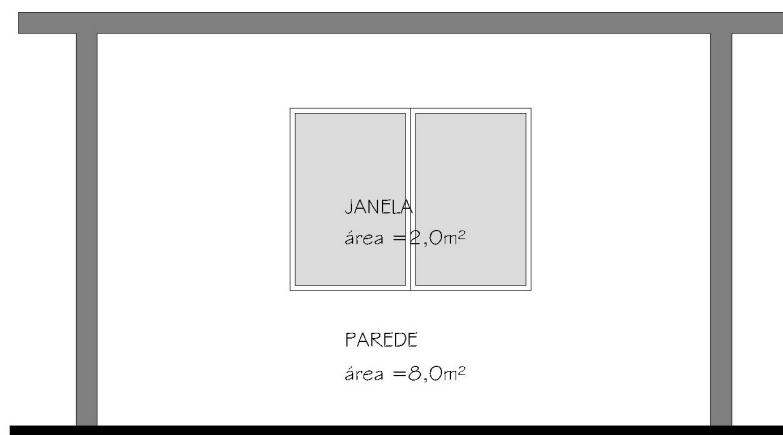


137

Exemplo

Exemplo 3:

Calcule a área de absorção sonora equivalente da superfície composta por parede de 8 m^2 ($\alpha = 0,20$) e janela de 2 m^2 ($\alpha = 0,10$):



140

Exemplo

Exemplo 3:

1) Áreas da superfície:

$$\text{Parede: } S_{\text{parede}} = 8 \text{ m}^2$$

$$\text{Janela: } S_{\text{janela}} = 2 \text{ m}^2$$

2) Calcule a área de absorção sonora equivalente:

$$A = \sum \alpha_i S_i = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_n S_n$$

$$A = \alpha_{\text{parede}} S_{\text{parede}} + \alpha_{\text{janela}} S_{\text{janela}}$$

$$A = 0,20 \times 8 + 0,1 \times 2$$

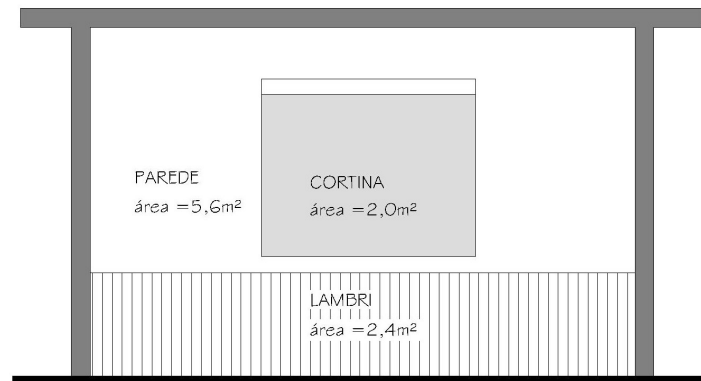
$$A = 1,6 + 0,2 = 1,8 \text{ m}^2 \text{ Sabin}$$

141

Exemplo

Exemplo 4:

Calcule a área de absorção sonora equivalente da superfície composta por parede de $5,6 \text{ m}^2$ ($\alpha = 0,20$), lambri de $2,4 \text{ m}^2$ ($\alpha = 0,30$) e cortina de 2 m^2 ($\alpha = 0,50$) :



142

Exemplo

Exemplo 4:

1) Áreas da superfície:

$$\text{Parede: } S_{\text{parede}} = 5,6 \text{ m}^2$$

$$\text{Lambri: } S_{\text{lambri}} = 2,4 \text{ m}^2$$

$$\text{Cortina: } S_{\text{cortina}} = 2 \text{ m}^2$$

2) Calcule a área de absorção sonora equivalente:

$$A = \sum \alpha_i S_i = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_n S_n$$

$$A = \alpha_{\text{parede}} S_{\text{parede}} + \alpha_{\text{lambri}} S_{\text{lambri}} + \alpha_{\text{cortina}} S_{\text{cortina}}$$

$$A = 0,20 \times 5,6 + 0,30 \times 2,4 + 0,50 \times 2$$

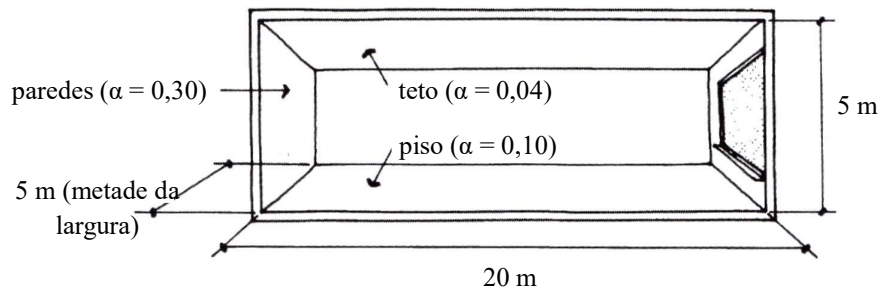
$$A = 1,12 + 0,72 + 1 = 2,84 \text{ m}^2 \text{ Sabin}$$

143

Exemplo

Exemplo 5:

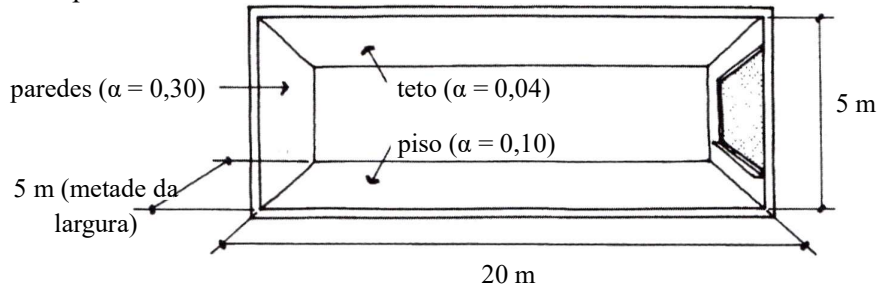
Uma sala de aula com 20 m de comprimento, 10 m de largura e 5 m de altura, possui os seguintes coeficientes de absorção sonora na frequência de 500 Hz: 0,30 para paredes, 0,04 para o teto e 0,10 para o piso. Calcule o tempo de reverberação na frequência de 500 Hz na sala vazia e sem nenhum tratamento acústico.



144

Exemplo

Exemplo 5:



- 1) Calcule o volume da sala:
- 2) Calcule as áreas das superfícies da sala:
- 3) Calcule a área de absorção sonora equivalente da sala em 500 Hz:
- 4) Calcule o tempo de reverberação da sala em 500 Hz:

145

Exemplo

Exemplo 5:

- 1) Calcule o volume da sala:

$$V = 20 \times 10 \times 5 \text{ m} = 1000 \text{ m}^3$$

- 2) Calcule as áreas das superfícies da sala:

$$\text{Teto: } S_{\text{teto}} = 20 \times 10 = 200 \text{ m}^2$$

$$\text{Paredes: } S_{\text{paredes}} = 2 (5 \times 10) + 2 (5 \times 20) = 300 \text{ m}^2$$

$$\text{Piso: } S_{\text{piso}} = 20 \times 10 = 200 \text{ m}^2$$

146

Exemplo

Exemplo 5:

3) Calcule a área de absorção sonora equivalente da sala em 500 Hz:

$$A = \sum \alpha_i S_i = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_n S_n$$

$$\begin{aligned} A &= \alpha_{\text{teto}} S_{\text{teto}} + \alpha_{\text{paredes}} S_{\text{paredes}} + \alpha_{\text{piso}} S_{\text{piso}} \\ A &= 0,04 \times 200 + 0,30 \times 300 + 0,10 \times 200 \\ A &= 8 + 90 + 20 = 118 \text{ m}^2 \text{ Sabin} \end{aligned}$$

4) Calcule o tempo de reverberação da sala em 500 Hz:

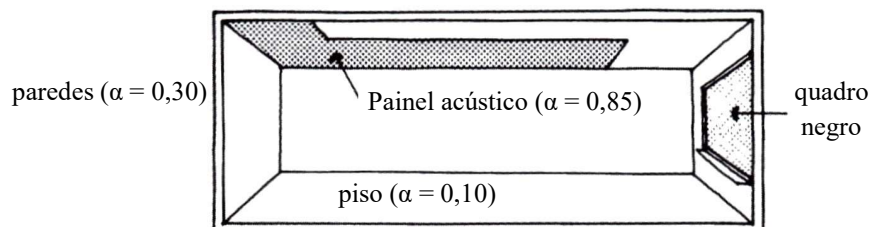
$$TR = 0,161 \frac{V}{A} \quad TR = 0,161 \frac{1000}{118} = 1,36 \text{ s}$$

147

Exemplo

Exemplo 6:

Calcule o tempo de reverberação caso metade da superfície do teto seja tratada com material absorvente ($\alpha = 0,85$). A área central se mantém refletora para ajudar a distribuir energia sonora do orador ao fundo da sala.



148

Exemplo

Exemplo 6:

1) Calcule a área de absorção sonora equivalente da sala em 500 Hz:

$$A = \sum \alpha_i S_i = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_n S_n$$

$$A = \alpha_{teto} S_{teto} + \alpha_{teto\ absorvente} S_{teto\ absorvente} + \alpha_{paredes} S_{paredes} + \alpha_{piso} S_{piso}$$
$$A = 0,04 \times 100 + 0,85 \times 100 + 0,30 \times 300 + 0,10 \times 200$$
$$A = 4 + 85 + 90 + 20 = 199 \text{ m}^2 \text{ Sabin}$$

2) Calcule o tempo de reverberação da sala em 500 Hz:

$$TR = 0,161 \frac{V}{A} \quad TR = 0,161 \frac{1000}{199} = 0,81 \text{ s}$$

149

No Stoa:

- Arquivo em Excel

Planilha Acústica AUT0286 - 01

Absorção Sonora

Tabela Coeficientes de Absorção

150

Exercício 02 - a

- Qual o tempo de reverberação da sala de aula?

