



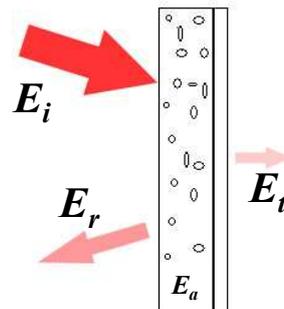
## Absorção Sonora

e-mail: aut278.2018@gmail.com

### 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  $E_t$



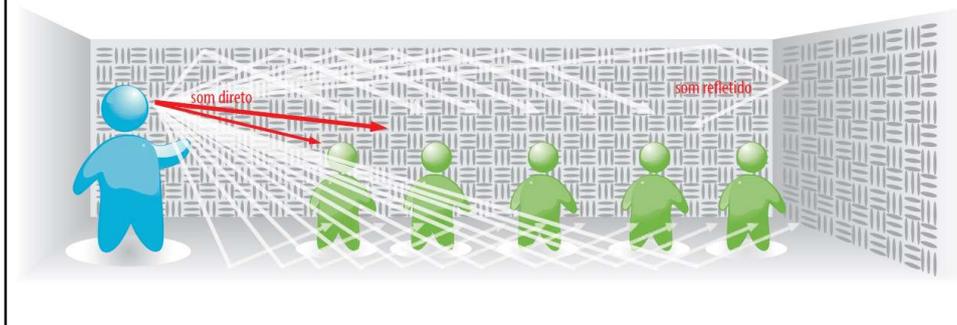
- A absorção sonora ocorre quando parte da energia sonora incidente no material é dissipada, transformando-se em energia térmica.

- Considerando as energias sonoras:

$$E_i = E_r + E_a + E_t$$

## Absorção Sonora

- Utilizada em controle de ruído e reverberação.
- 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.



- **Coefficiente de absorção sonora do material ( $\alpha$ ):**

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

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%).

- **Coefficiente de absorção sonora do material ( $\alpha$ ):**

- $\alpha$  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.)

- **Coefficiente de absorção sonora:**

- Qual o coeficiente de absorção de uma janela aberta?

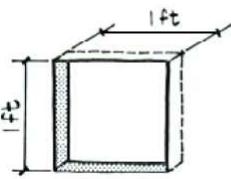


Obs: Considerando dimensões grandes em relação ao comprimento de onda.

• **Coefficiente de absorção sonora:**

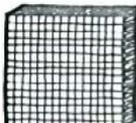
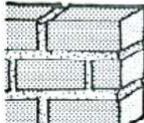
• Janela aberta:

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

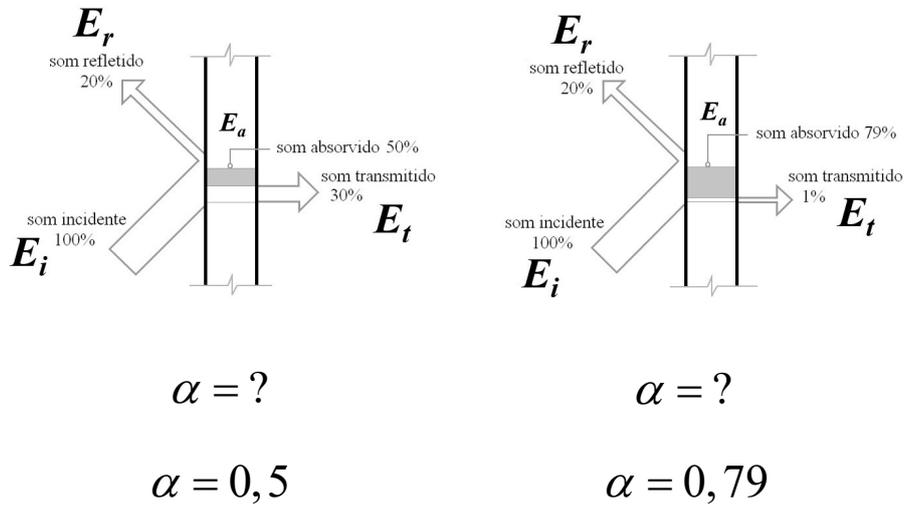
	<u>% refletida</u>	<u>% absorvida e transmitida</u>	<u>coef. de absorção sonora (<math>\alpha</math>)</u>
 <p>Janela aberta *</p> <p>* para efeito de cálculo</p>	0	100	1,00

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

• **Coefficiente de absorção sonora:**

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

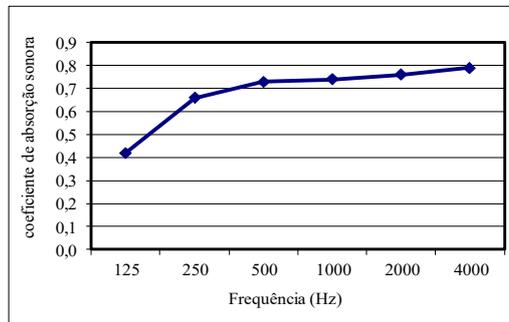
• **Coefficiente de absorção sonora:**



• **Coefficiente de absorção sonora:**

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

Frequência (Hz)	$\alpha$ (lã de rocha - 10mm) (Sabin)
125	0,42
250	0,66
500	0,73
1000	0,74
2000	0,76
4000	0,79



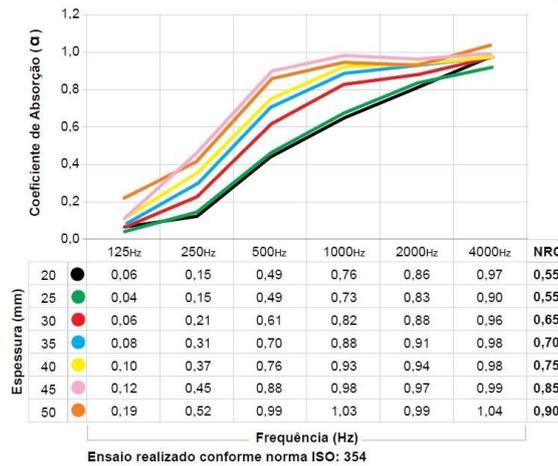
- Wallace C. Sabine – fundador da Acústica Arquitetônica
- unidade de absorção – *Sabin*

- **Coefficiente de absorção sonora:**

- Fornecidos pelos fabricantes.



### Coefficientes 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.

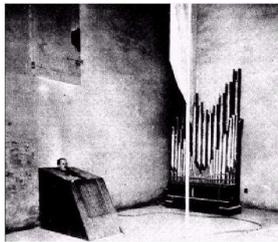
- **Materiais absorventes**

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

- **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*

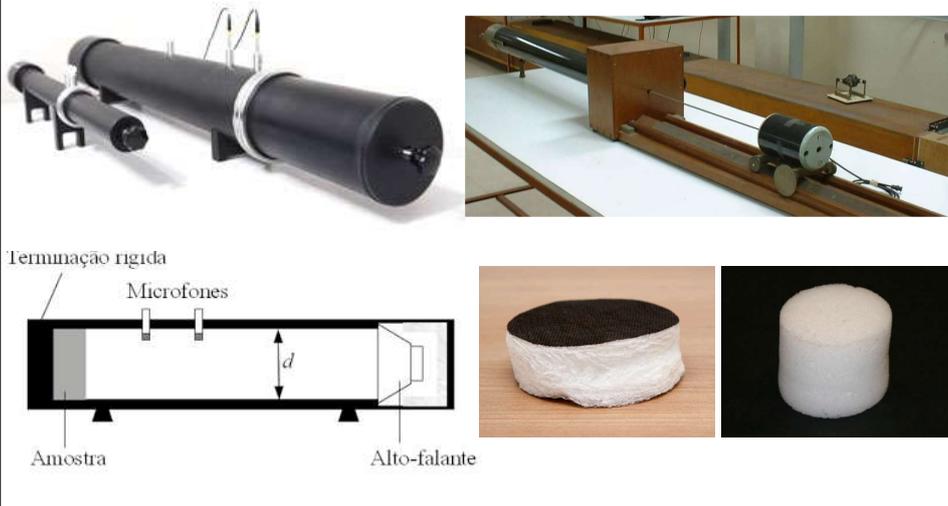
- **Como é medido o coeficiente de absorção sonora?**

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



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

- Tubo de impedância → incidência normal.



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

- Câmara reverberante → incidência aleatória.

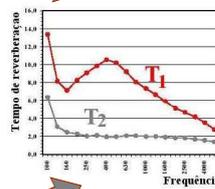
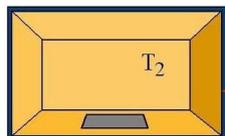
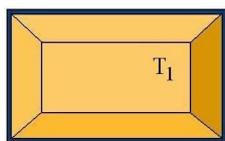


- **Como é medido o coeficiente de absorção sonora?**

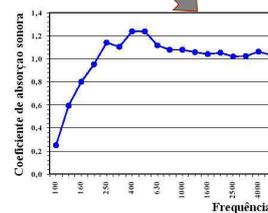
- Câmara reverberante → incidência aleatória.



- **Medição do coeficiente de absorção sonora em câmara reverberante:**



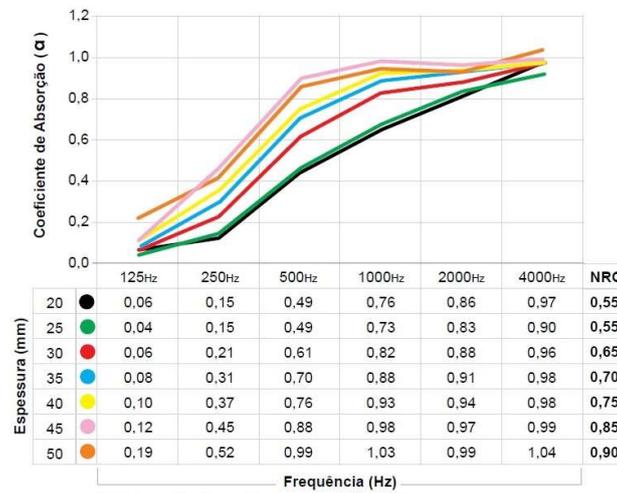
$$\alpha_s = 55,3 \frac{V}{S} \left( \frac{1}{c_2 T_2} - \frac{1}{c_1 T_1} \right)$$



**V** - volume da câmara reverberante (m<sup>3</sup>)  
**S** - área da amostra (m<sup>2</sup>)  
**c** - velocidade de propagação do som no ar

- **Coefficiente de absorção sonora:**

**Coefficientes de Absorção Sonora**



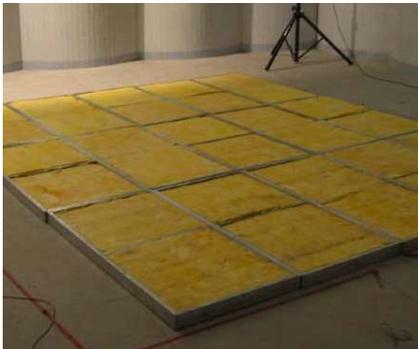
Ensaio realizado conforme norma ISO: 354

É possível  $\alpha > 1$  ???

- **Valores de  $\alpha$  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.*

- **Valores de  $\alpha$  maiores que a unidade**

- Este efeito aumenta com:
  - diminuição da frequência,
  - diminuição do tamanho da amostra,
  - aumento do coeficiente de absorção sonora.
- Ao espaçar pequenas áreas de material com pequena distância entre estas, mais absorção pode ser obtida por uma dada área de material. → absorção diretamente proporcional ao espaçamento entre as pequenas áreas de material → economia em material.
- Para o efeito de bordas não interferir no que também ocorre nas placas vizinhas: placas separadas de meio comprimento de onda (menor frequência de interesse).
- Não há um critério para medir o efeito da difração sonora sobre a absorção sonora dos materiais.

- **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  $\alpha_i$ , assim a área de absorção sonora equivalente (ou total) do ambiente será:

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

- 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:

$$\alpha_{m\u00e9dio} = \frac{A}{S} = \frac{\sum \alpha_i S_i + A_{obj}}{S_1 + S_2 + \dots + S_n}$$

Onde  $S$  é a área total das superfícies do ambiente.

## Exemplo

---

Exemplo 1:

Calcule a área de absorção sonora equivalente de uma parede de concreto com área de 12 m<sup>2</sup>. O coeficiente de absorção sonora do concreto é fornecido na tabela abaixo.

Frequência (Hz)	$\alpha$ – parede de concreto ( <i>Sabin</i> )	$A$ (m <sup>2</sup> <i>Sabin</i> )
125	0,02	
250	0,03	
500	0,03	
1000	0,03	
2000	0,04	

## Exemplo

Exemplo 1:

Calcule a área de absorção sonora equivalente de uma parede de concreto com área de  $12 \text{ m}^2$ . O coeficiente de absorção sonora do concreto é fornecido na tabela abaixo.

$$S = 12 \text{ m}^2$$

$$A = \alpha \cdot S$$

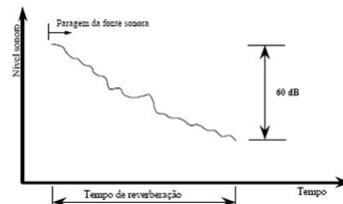
Frequência (Hz)	$\alpha$ – parede de concreto ( <i>Sabin</i> )	$A$ ( $\text{m}^2$ <i>Sabin</i> )
125	0,02	0,24
250	0,03	0,36
500	0,03	0,36
1000	0,03	0,36
2000	0,04	0,48

- **Coefficiente de absorção sonora médio de um ambiente:**

- Salas vivas – excesso de som refletido.
- Salas surdas – a absorção média do recinto é alta.
- Segundo Beranek, para  $\alpha_{\text{médio}}$  igual a:
  - 0,05 – sala viva
  - 0,10 – sala medianamente viva
  - 0,15 – sala média ou comum
  - 0,20 – sala medianamente surda
  - 0,40 – sala surda
  - Para valores de  $\alpha_{\text{médio}} > 0,40$  é necessário que as superfícies tenham tratamento acústico especial.
  - A melhor opção dependerá do uso da sala.

- **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.

- **Tempo de reverberação de uma sala (TR):**

Equação de Sabine:

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

volume da sala (m<sup>3</sup>)

área de absorção sonora equivalente da sala (m<sup>2</sup> Sabin)

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

$\alpha_i$  - coeficiente de absorção sonora das  $n$  superfícies da sala

$S_i$  - áreas das  $n$  superfícies da sala (m<sup>2</sup>)

- 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.

## Exemplo

---

Exemplo 2:

Calcule o tempo de reverberação médio para uma sala com  $50 \text{ m}^3$  e com todas as superfícies de concreto, num total de  $20 \text{ m}^2$  *Sabin*.

$$TR_{\text{médio}} = ?$$

$$V = 50 \text{ m}^3$$

$$A_{\text{médio}} = 20 \text{ m}^2 \text{ Sabin}$$

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

$$TR_m = 0,161 \frac{50}{20}$$

$$TR_m = 0,4 \text{ s}$$

- **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.

- **Tempo ótimo de reverberação**

- Tempo de reverberação ideal para cada ambiente, segundo o volume e a finalidade a que se destina.
- Determinado experimentalmente.
- tempo de reverberação muito longo – haverá sobreposição de sons – dificultando inteligibilidade.
- tempo de reverberação muito curto – som desaparece imediatamente após sua emissão – percepção difícil em pontos afastados da fonte.
- Varia conforme o uso do ambiente:
  - Ambiente para palestra: TR menor.
  - Ambiente para música de órgão: TR maior.

- **Tempo ótimo de reverberação**

