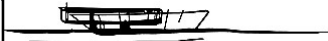


AUT0278 - Desempenho Acústico, Arquitetura e Urbanismo



Ambientes fechados

e-mail: aut278.2018@gmail.com

- Quais os requisitos acústicos dos ambientes fechados necessários para um bom desempenho acústico?

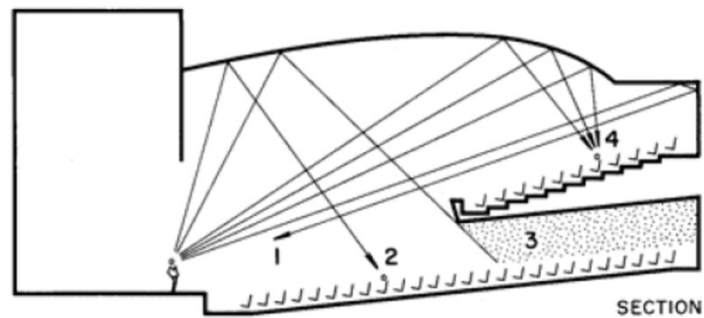
- Quais os principais problemas acústicos de ambientes fechados?

- Requisitos acústicos dos ambientes fechados necessários para um bom desempenho acústico

- uma boa inteligibilidade do som;
- distribuição uniforme do som;
- tempo de reverberação adequado;
- ausência de interferência de ruídos externos sobre o som de interesse.

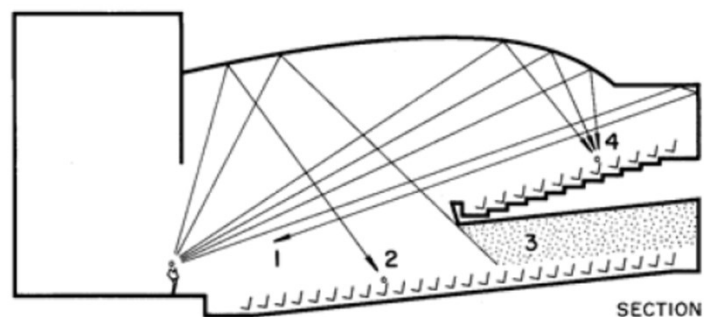
• **Problemas acústicos de ambientes fechados:**

- () - Ecos
- () - Reflexões tardias
- () - Zonas não atingidas pelo som
- () - Zonas de concentração de som



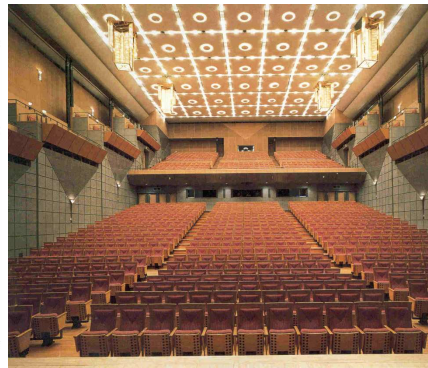
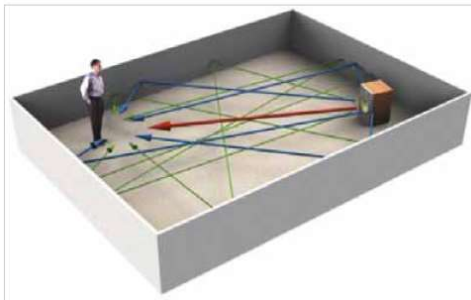
• **Problemas acústicos de ambientes fechados:**

- 1 - Ecos
- 2 - Reflexões tardias
- 3 - Zonas não atingidas pelo som
- 4 - Zonas de concentração de som

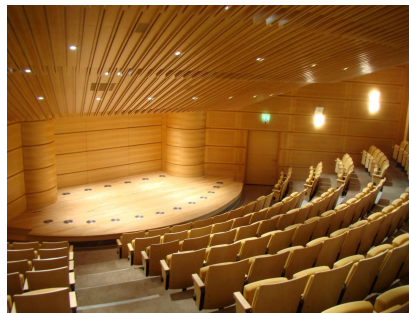
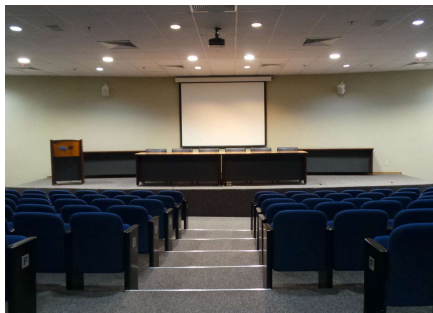


Campo sonoro em espaços fechados

- Depende essencialmente de:
 - Características de absorção sonora dos materiais de revestimento
 - Volume do recinto
 - Geometria do recinto
 - Frequência do som

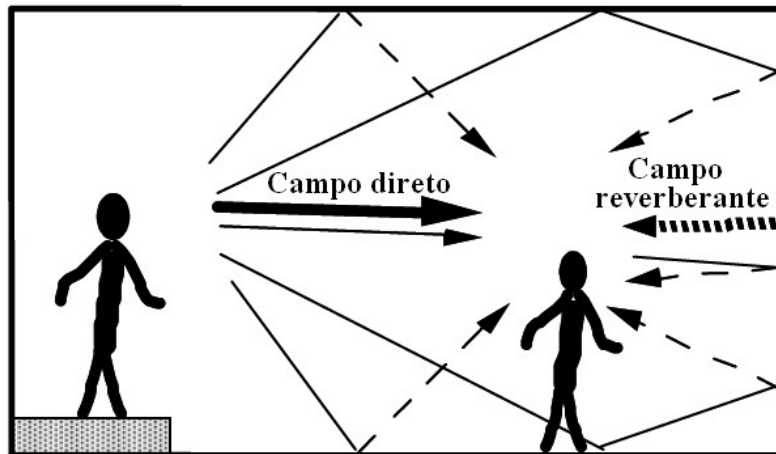


- Diferentes funções dos ambientes (Ex: Auditórios ou Salas):
 - Conferências, aulas ou peças teatrais → privilegiam a palavra:
propagação e decaimento sonoro.
 - Concertos, orquestras, óperas → privilegiam a música:
crescimento sonoro e sequência de reflexões sonoras.

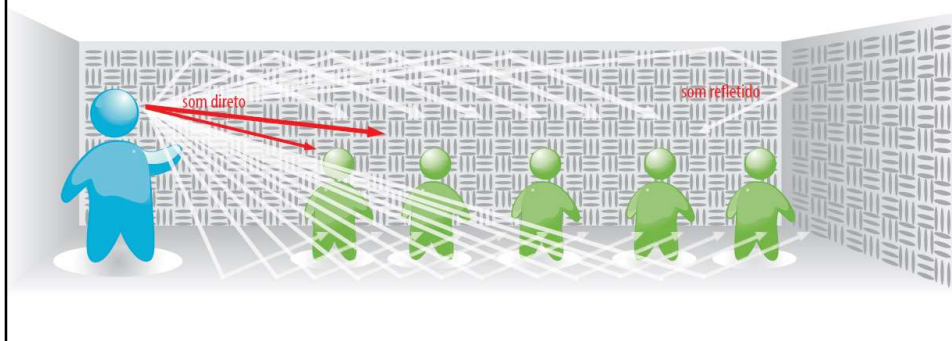


Som direto e som reverberante

- Em um ambiente fechado, o receptor ou ouvinte receberá o som através de duas formas:

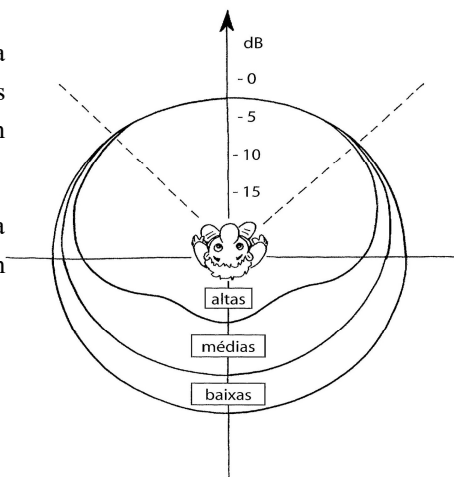


- Som direto:
 - Chega primeiro.
- Som indireto:
 - Atrasa em relação à onda direta.
 - Percurso mais longo e parte da potência é absorvida na reflexão.
 - Mais fraco do que a onda direta.



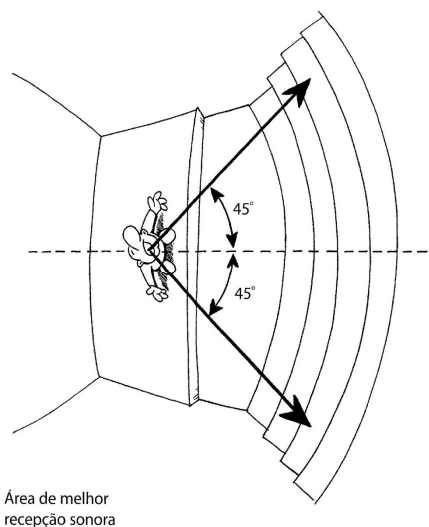
Direcionalidade da fonte sonora

- A maioria das fontes sonoras apresenta direcionalidade: tendência de fontes sonoras irradiarem mais energia em determinada direção do que outras.
- Pode haver, dependendo da fonte, uma maior concentração de energia em determinado sentido – direcionamento.



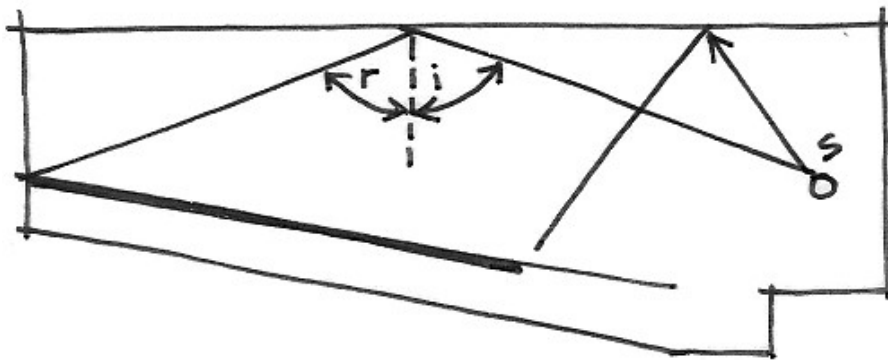
Voz humana

- Área de melhor recepção sonora:
Considera-se que, para a voz humana, o padrão sonoro não é alterado se mantido um ângulo de 90° em relação ao eixo longitudinal, 45° para cada lado da fonte:



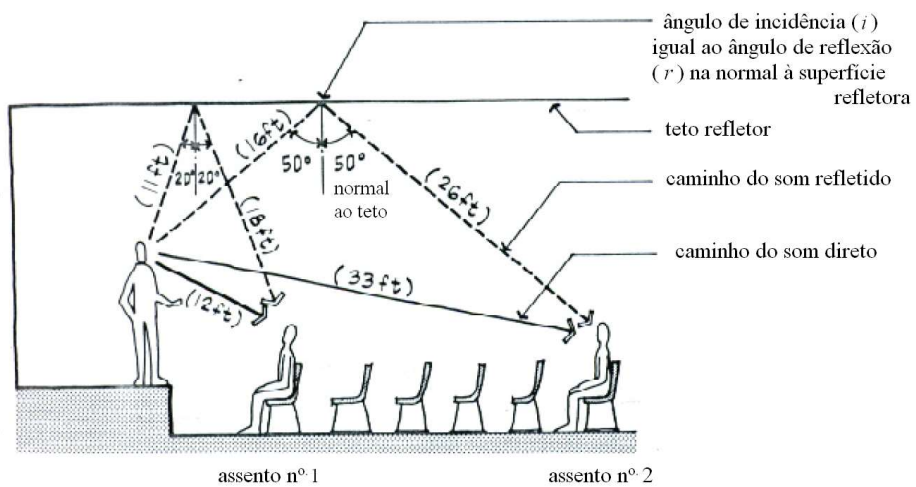
Geometria da sala

- Princípio físico da reflexão sonora:



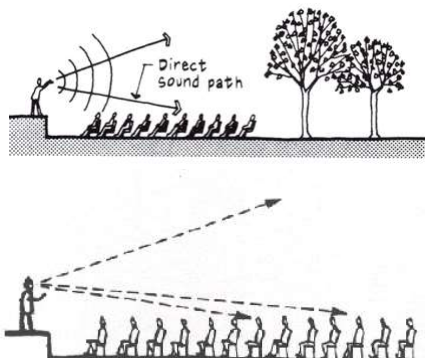
Geometria da sala

- Princípio físico da reflexão sonora:



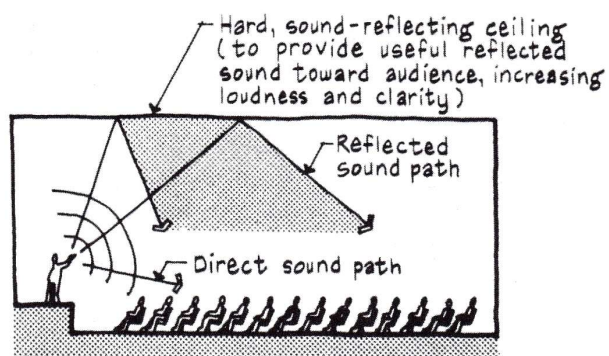
Geometria da sala

- Disposição da platéia:
- Assentos no mesmo nível ao ar livre



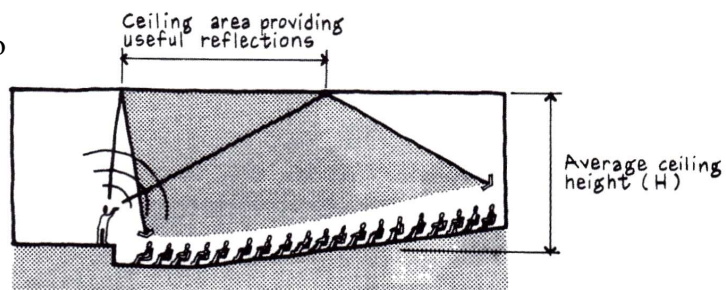
Geometria da sala

- Disposição da platéia:
- Assentos no mesmo nível em ambiente fechado

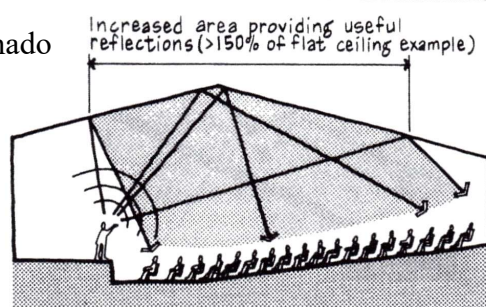


Geometria da sala

- Teto plano

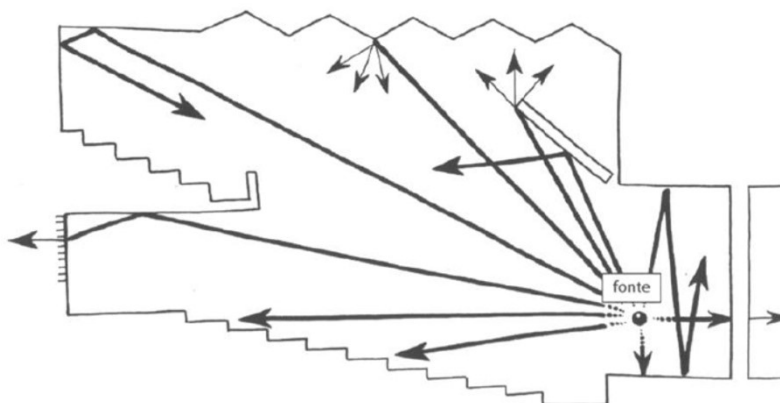


- Teto inclinado



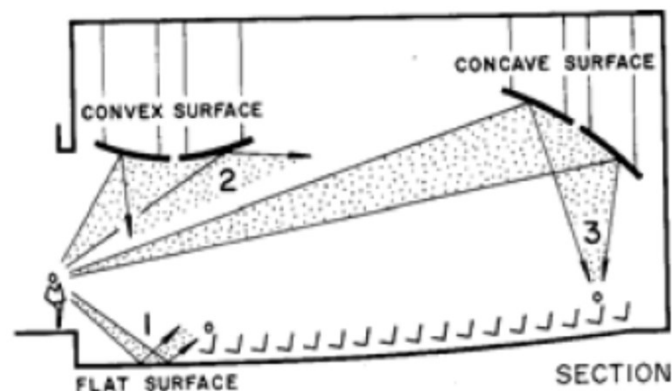
Geometria da sala

- Refletores acústicos:



Geometria da sala

- As superfícies refletoras convexas tendem a dispersar o som e as superfícies côncavas tendem a concentrá-lo.

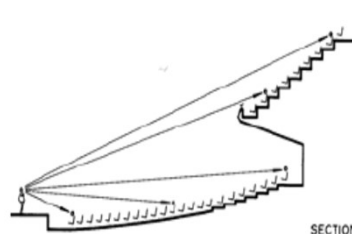
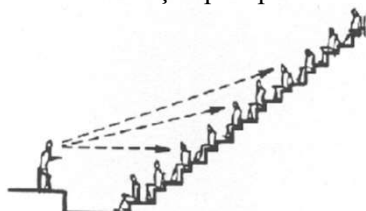
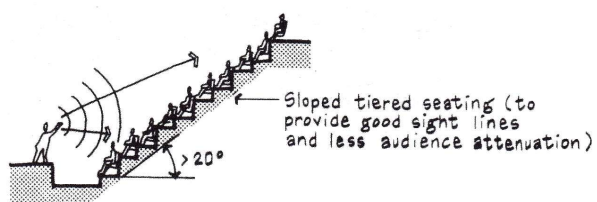


Geometria da sala

- Disposição da platéia:

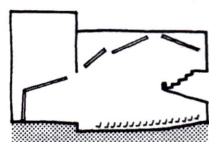
- Assentos inclinados:

- melhor visibilidade
- menor atenuação pela plateia.

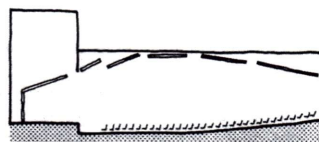


Geometria da sala

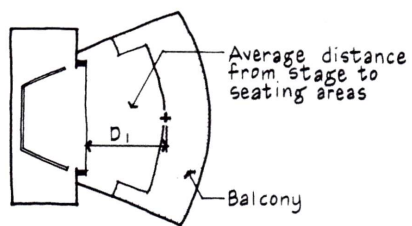
- Disposição da platéia:



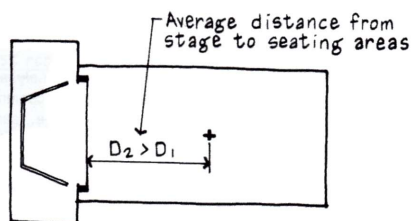
Section



Section



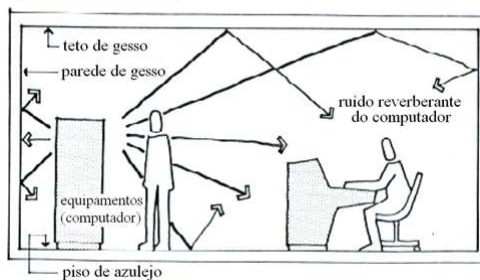
Plan



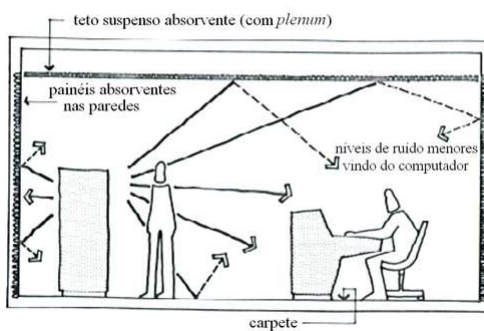
Plan

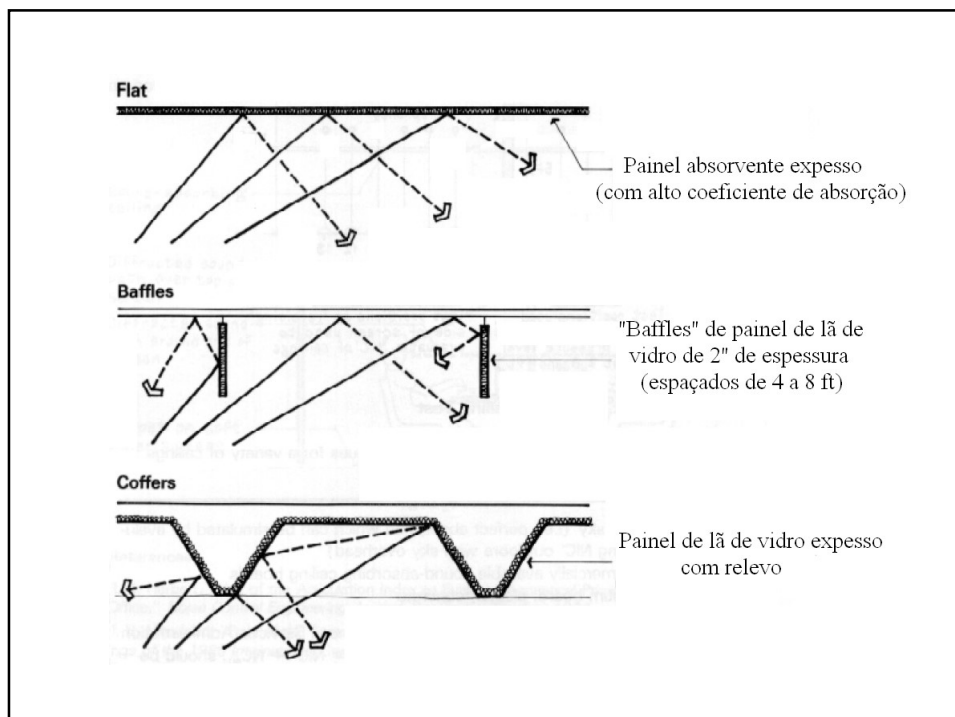
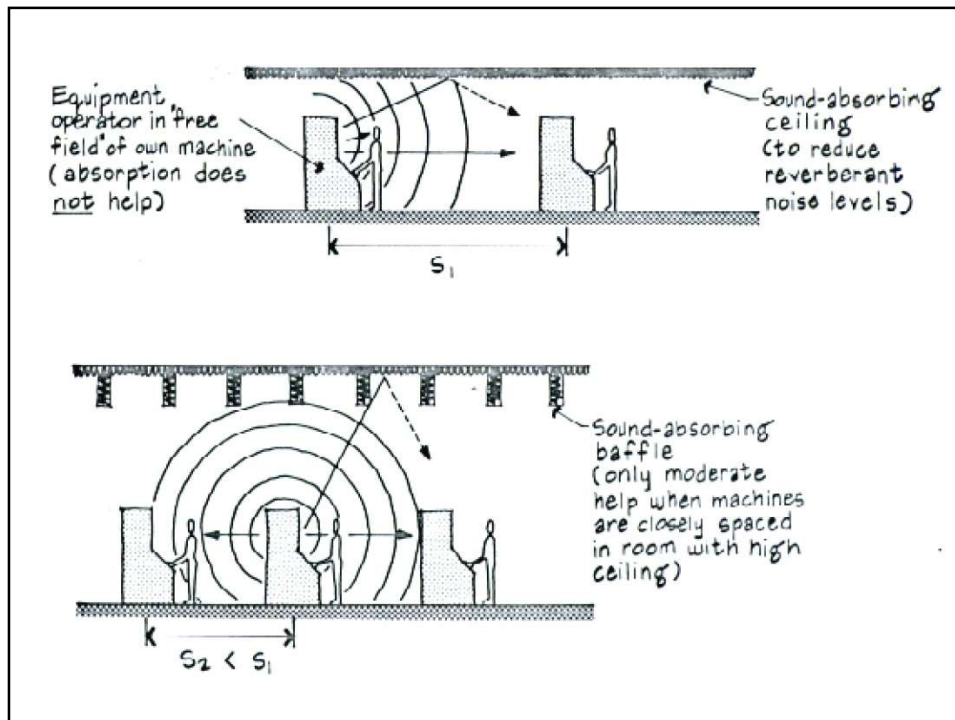
Tratamento acústico

Sala sem tratamento

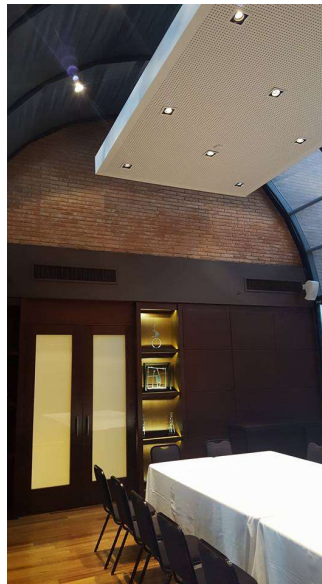


Sala com tratamento de absorção sonora

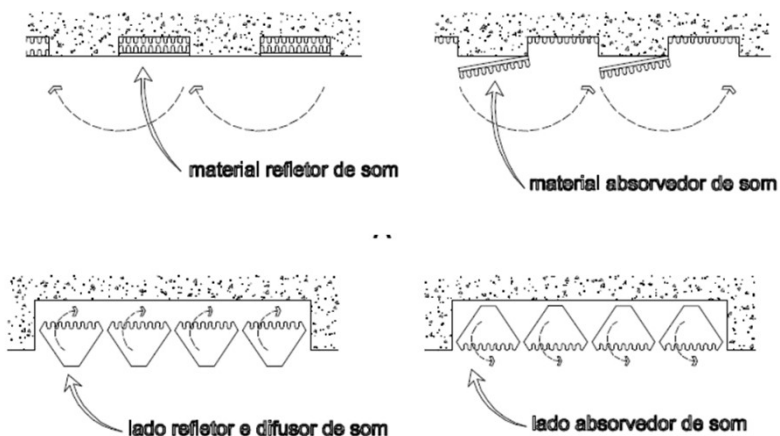


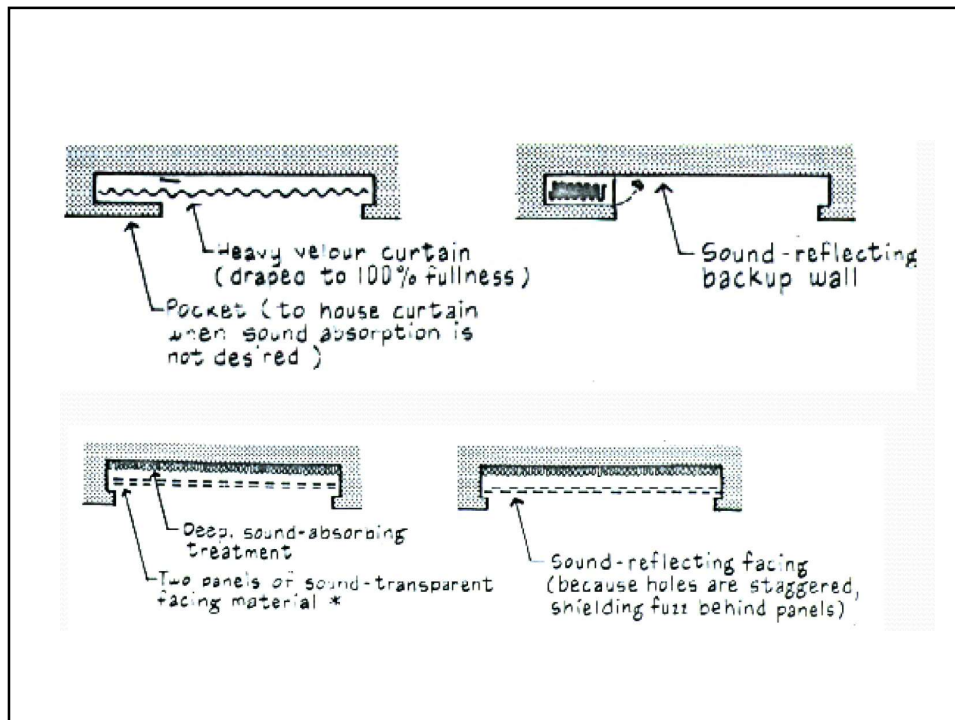


Uma boa opção de lugar para instalar revestimentos absorventes na parede é atrás de prateleiras: painel de madeira perfurado.



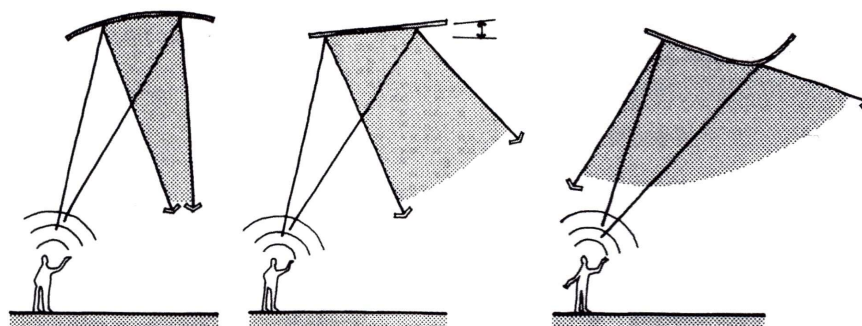
- Geometria da sala:
- Soluções de acústica móveis:





- **Problemas acústicos de ambientes fechados:**

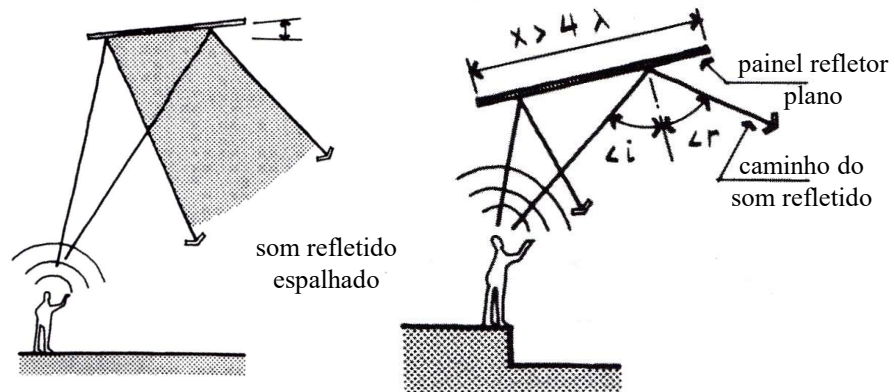
- Qual das três alternativas abaixo para a geometria do teto fornece o melhor desempenho acústico em um ambiente destinado a fala?



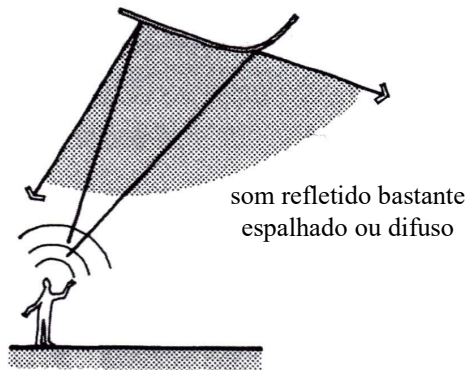
- Geometria da sala:



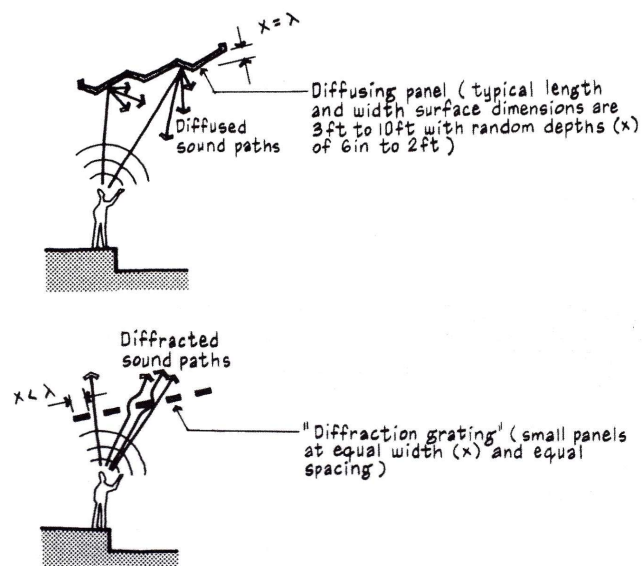
- Geometria da sala:



- Geometria da sala:

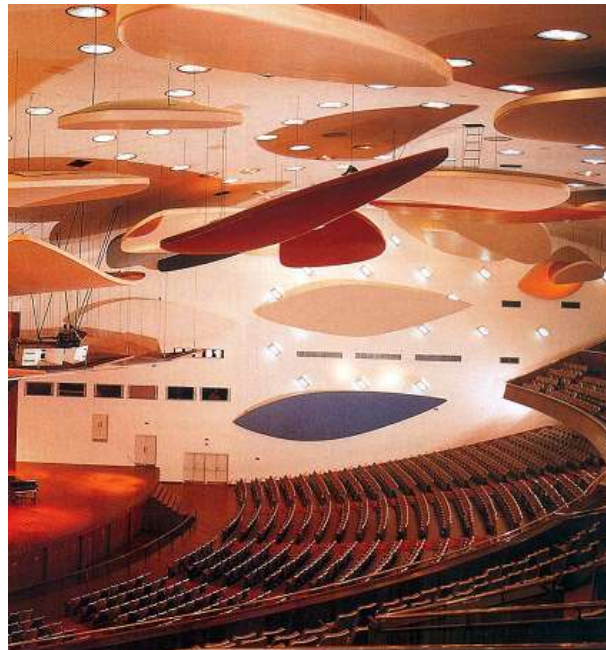


- Geometria da sala:



- Geometria da sala:

- Difusão sonora



- Geometria da sala:

- Uma superfície suspensa pode ser um refletor nas altas frequências, um difusor nas médias e acusticamente invisível nas baixas frequências.



Refletor:

$$L > 2\lambda$$

Difusor:

$$L = \lambda$$

“Invisível”:

$$L < \lambda/2$$

- Geometria da sala:

Difusor:

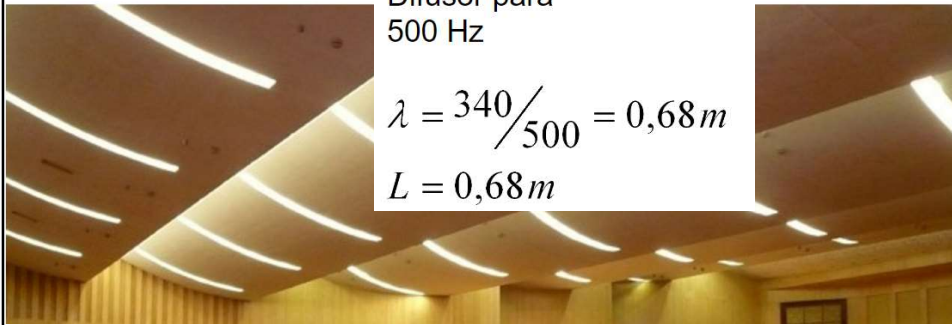
$$L = \lambda$$

Ex:

Difusor para
500 Hz

$$\lambda = 340 / 500 = 0,68m$$

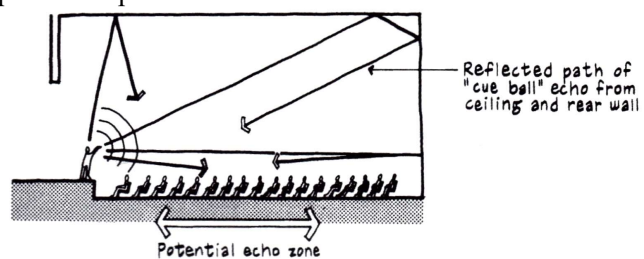
$$L = 0,68m$$



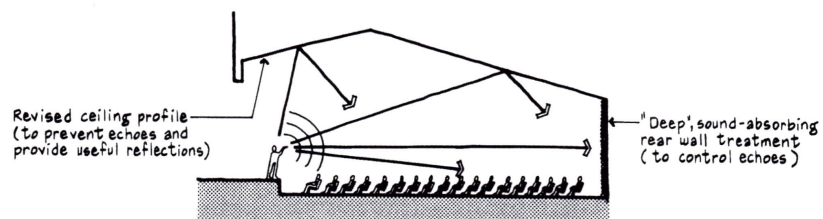
- Dica: para garantir boa inteligibilidade, dimensionar refletores para $f > 500$ Hz.

- Ecos:

- Superfícies potenciais produtoras de eco:

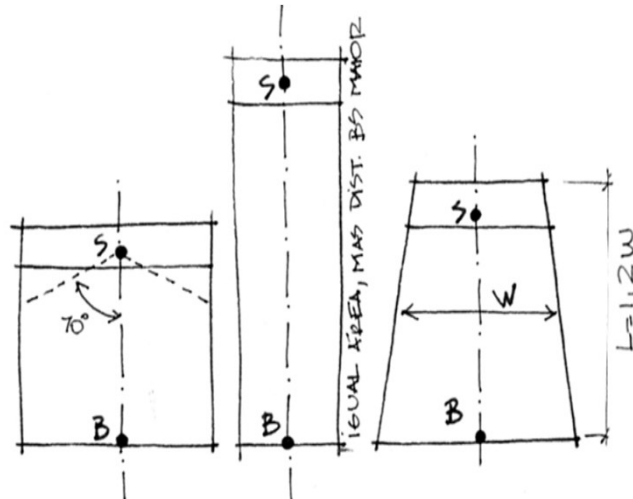


- Perfil de teto revisado (para prevenir ecos e distribuir o som uniformemente):



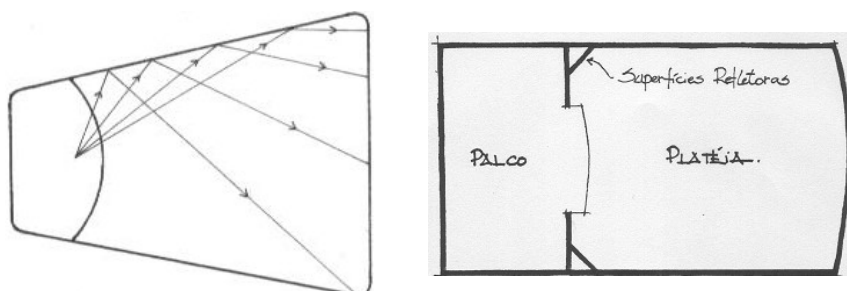
- Ecos:

- Evitar paralelismo – favorece a formação de ecos.



- Ecos:

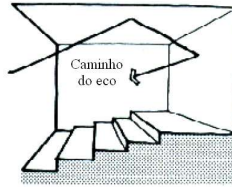
- Paralelismo – favorece a formação de ecos:



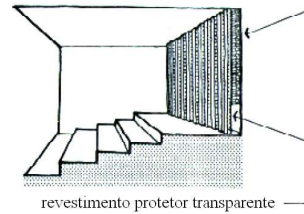
- Ecos:

- Como prevenir ecos e reflexões tardias?

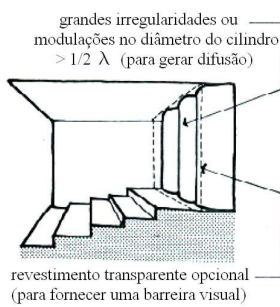
Parede do fundo gerando eco
(eco no ângulo reentrante teto-parede)



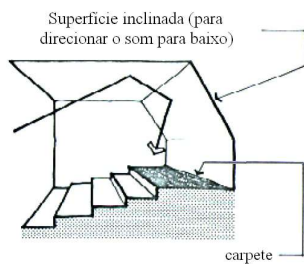
Tratamento com material altamente absorvente (como lã de vidro)



Modulações na superfície
(cilindros com diferentes raios para ótima difusão)

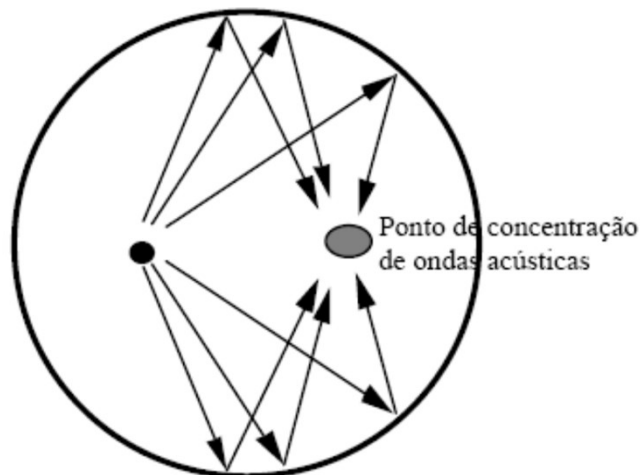


Parede inclinada
(para produzir reflexões curtas)



- Geometria da sala:

- Focalização de ondas sonoras numa sala com seção circular, vista em planta.



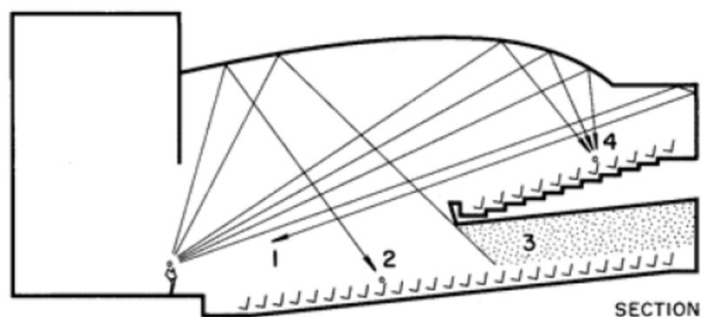
- Geometria da sala:

- Forma de tratamento possível para evitar a focalização do som.



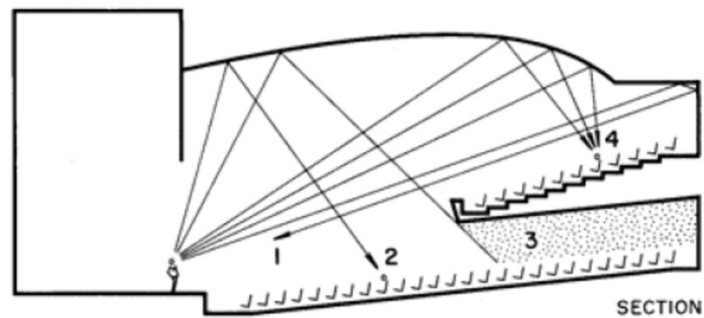
- **Problemas acústicos de ambientes fechados:**

- () - Ecos
- () - Reflexões tardias
- () - Zonas não atingidas pelo som
- () - Zonas de concentração de som



- **Problemas acústicos de ambientes fechados:**

- 1 - Ecos
- 2 - Reflexões tardias
- 3 - Zonas não atingidas pelo som
- 4 - Zonas de concentração de som



Auditório

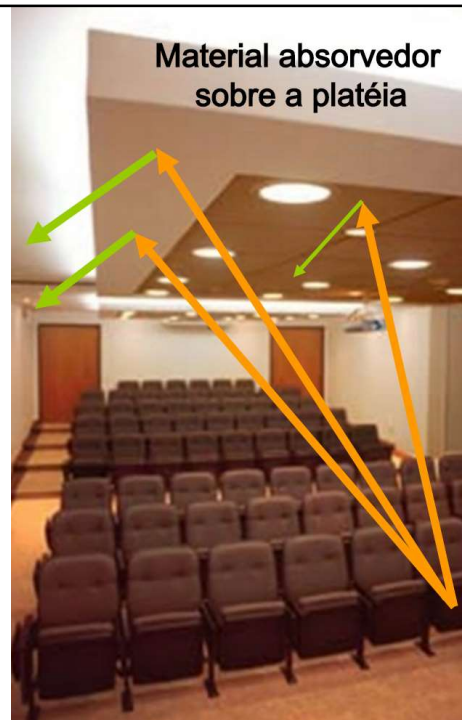
- *Onde está o erro?*



Auditório

- *Onde está o erro?*

Som se concentra nas bordas da sala



Dicas de projeto

- *Auditórios:*

- Evite:

- paralelismo
- salas quadradas

- Considere:

- tratamento acústico interno
- tempo de reverberação adequado
- isolamento acústico do ambiente

- Tire proveito:

- de elementos que favoreçam a acústica (painéis absorventes ou superfícies refletoras)
- a mobília pode servir como um bom absorvente



Dicas de projeto

- *Home theaters, salas de TV e estúdios de ensaio e gravação:*

- Evite:

- pé direito muito alto ou pé direito muito baixo
- superfícies refletoras

- Considere:

- isolamento acústico do ambiente (portas e janelas acústicas)



<http://www.giner.com.br/>

- Tire proveito:

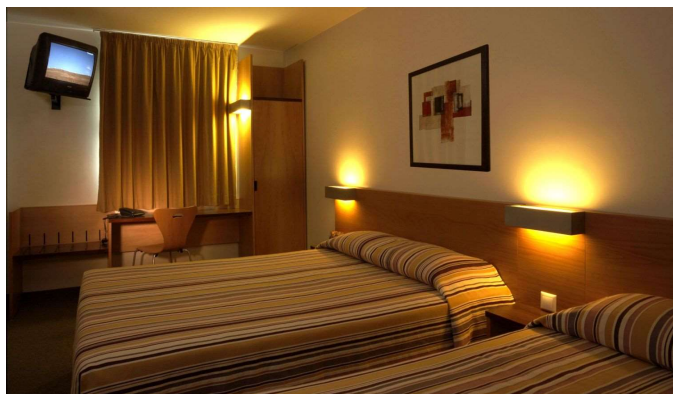
- de elementos que favoreçam a acústica
- a mobília pode servir como um bom absorvente

Dicas de projeto

- *Quarto de hotel:*

- Considere:

- tratamento acústico interno
- isolamento acústico do ambiente a ruídos externos (portas e janela acústicas)



Dicas de projeto

- *Igrejas:*
- Considere:
 - tratamento acústico interno
 - isolamento acústico do ambiente a ruídos externos (porta e janela acústica)



Dicas de projeto

- *Igrejas:*



Filarmônica de Berlim

Berlim

Arquiteto: Hans Scharoun

Consultor acústico: Lothar Cremer

1962



fonte: www.vivaberlim.com

Filarmônica de Berlim

Berlim

Arquiteto: Hans Scharoun

Consultor acústico: Lothar Cremer

1962



fonte: www.berliner-philharmoniker.de/

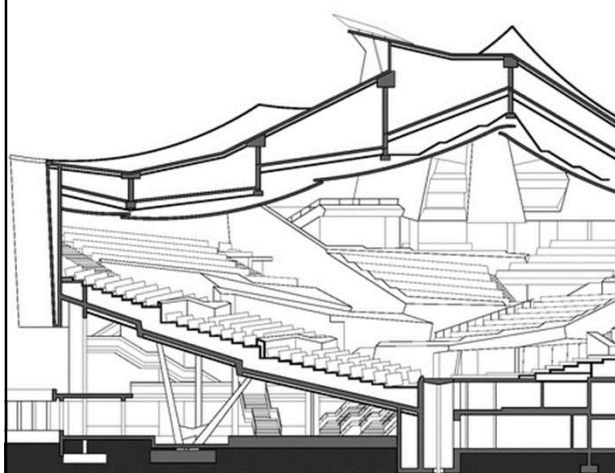
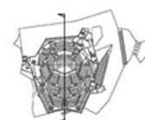
Filarmônica de Berlim

Berlim

Arquiteto: Hans Scharoun

Consultor acústico: Lothar Cremer

1962



Croqui: Paulo Ritter e Leonardo Behnck

fonte: www.berliner-philharmoniker.de/

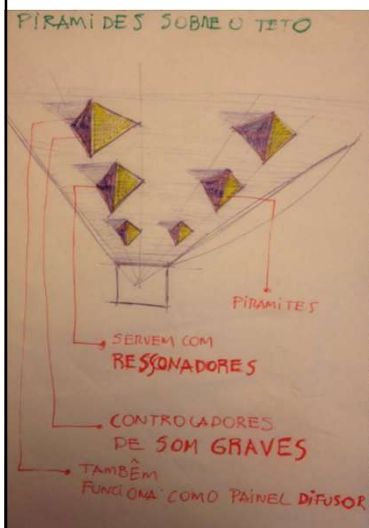
Seção longitudinal

Filarmônica de Berlim

Berlim

Arquiteto: Hans Scharoun

Consultor acústico: Lothar Cremer



Croqui: Paulo Ritter e Leonardo Behnck

fonte: www.berliner-philharmoniker.de/



Filarmônica de Berlim

Berlim

Arquiteto: Hans Scharoun

Consultor acústico: Lothar Cremer

1962

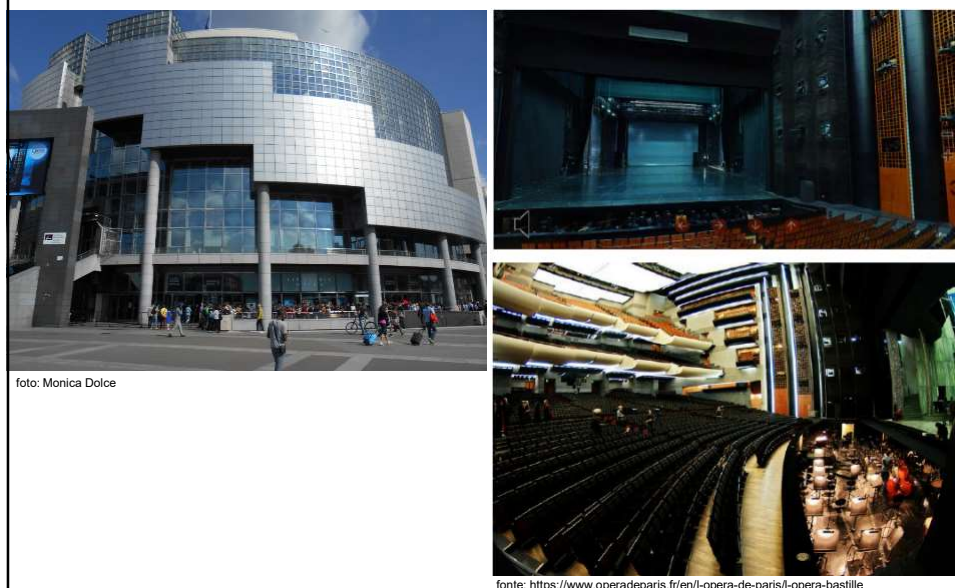


Opéra Bastille

Paris

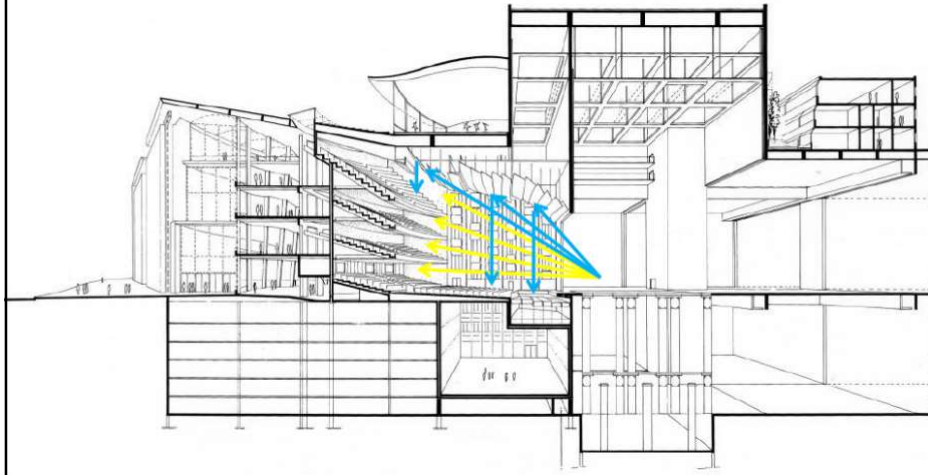
Arquiteto: Carlos Ott

1989



Opéra Bastille

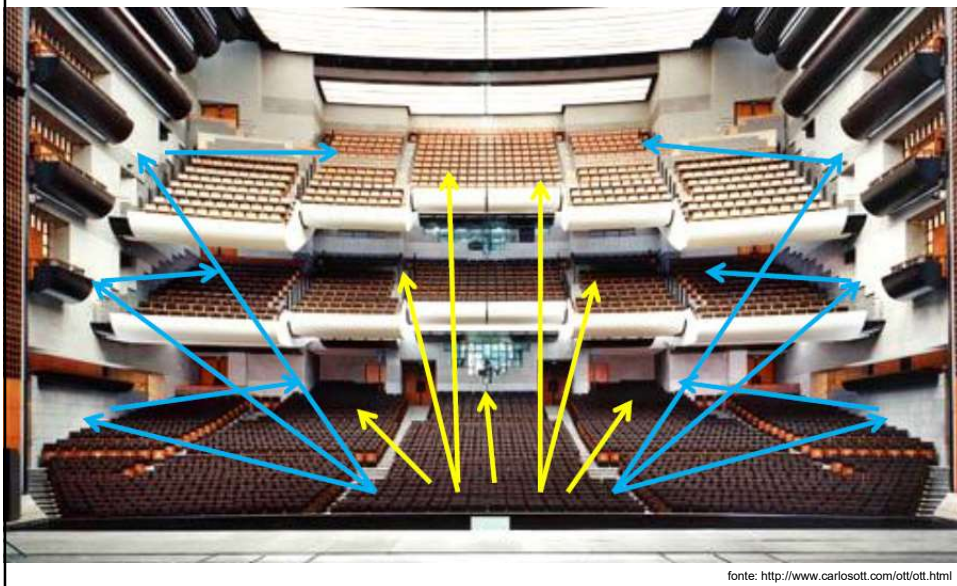
Paris
Arquiteto: Carlos Ott
1989



fonte: <http://www.carlosott.com/ott/ott.html>

Opéra Bastille

Paris
Arquiteto: Carlos Ott
1989



fonte: <http://www.carlosott.com/ott/ott.html>

Exercício 02 - b

- Calcule o tempo de reverberação das salas de aula 801 e 812.
- Para as superfícies do teto, considere uma área de 243,81 m² com o seguinte coeficiente de absorção:

Coeficiente de absorção	Frequências (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Teto salas de aula (com domos)	0,06	0,08	0,10	0,14	0,14	0,14

No Stoa:

- Arquivo em Excel

Planilha Absorção Sonora AUT0280

(com Tabela Coeficientes de Absorção AUT0280)

- Plantas Salas 801 e 812