

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



AUT0278 - Desempenho Acústico, Arquitetura e Urbanismo



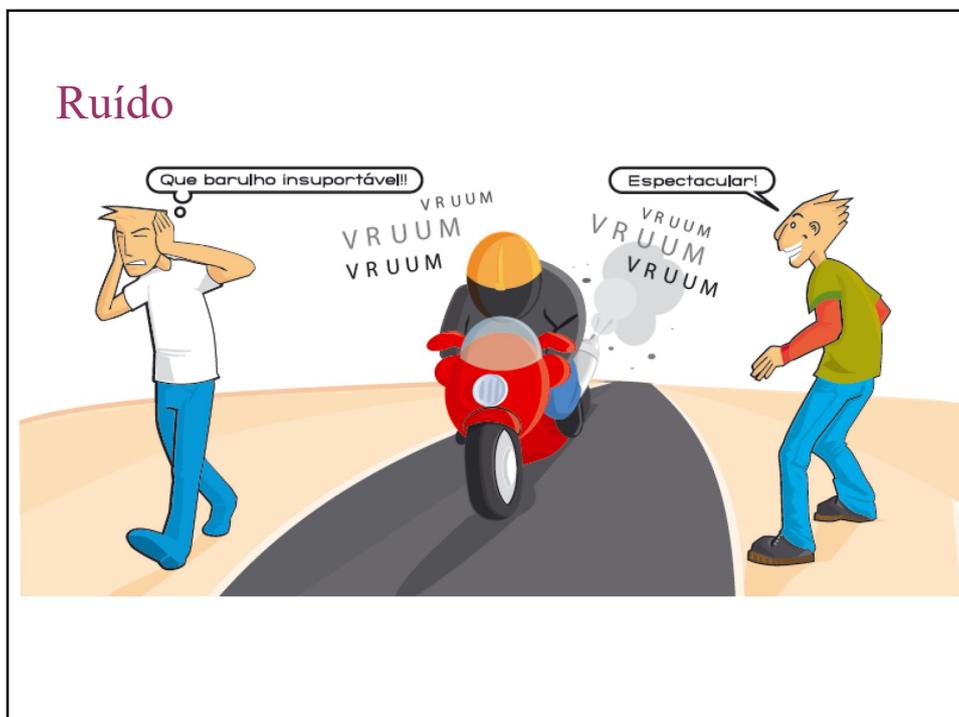
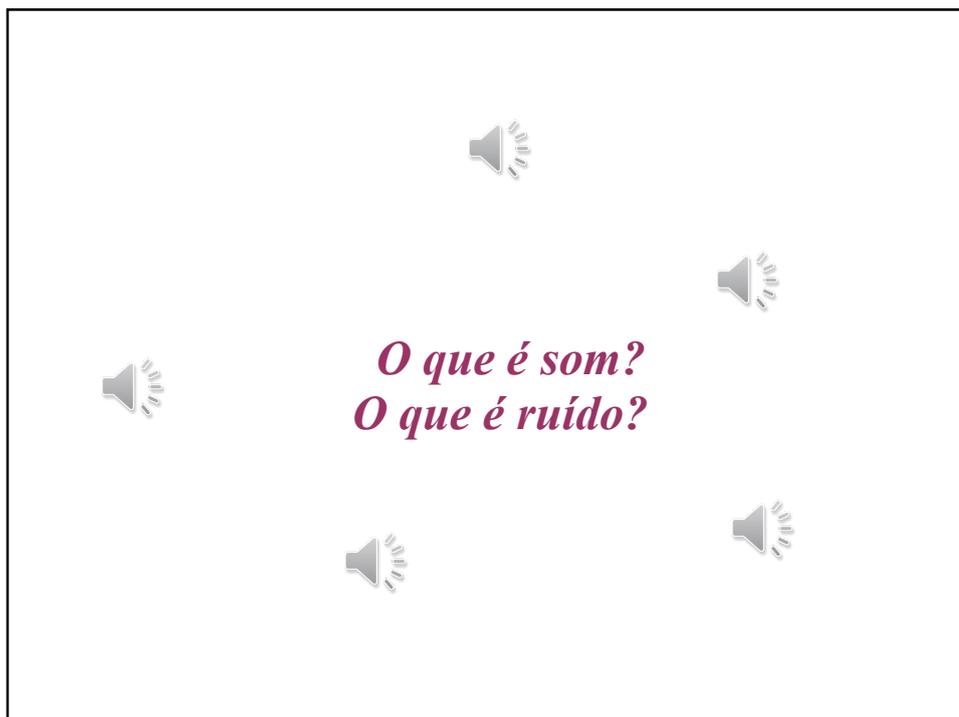
## Introdução à Acústica

e-mail: [aut278.2018@gmail.com](mailto:aut278.2018@gmail.com)



*Agradável?*  
*Desagradável?*



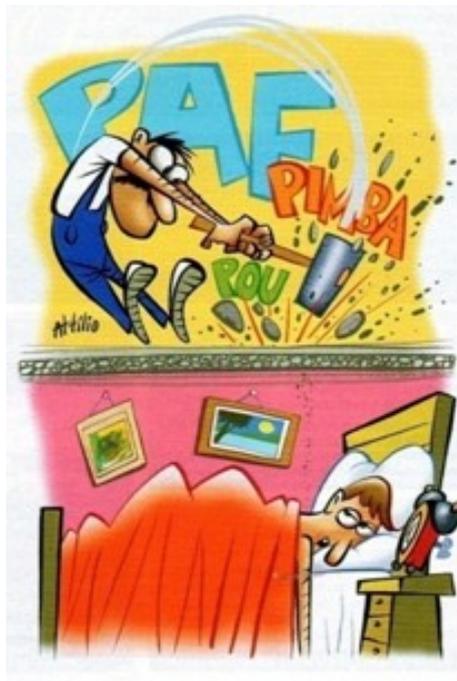


## Ruído

- Qualquer som indesejável.

Sua classificação é subjetiva (depende do ouvinte)

- Percepção pessoal diferenciada.
- está presente em praticamente todos os instantes da nossa vida.
- “Subproduto” do desenvolvimento
- O que pode acarretar?



Fonte: Veja São Paulo, Ed. Abril, 14/05/2008 e 11/08/2010

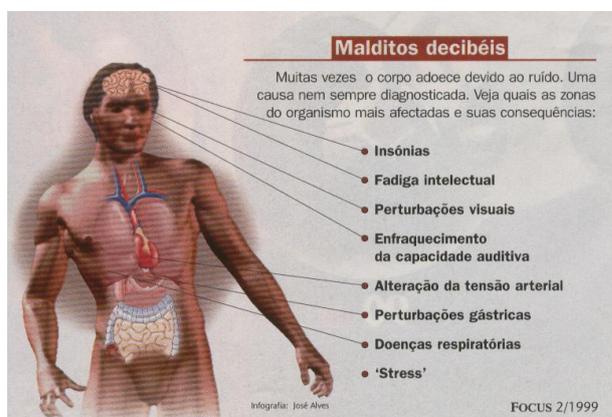
## Efeitos nocivos do ruído no homem



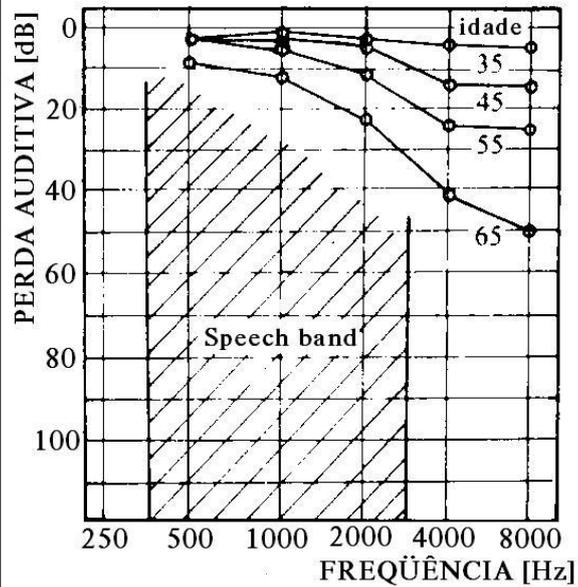
- Efeitos negativos
  - Físicos
  - Fisiológicos
  - Psicológicos

Perda auditiva, alterações da pressão sanguínea, problemas cardiovasculares e respiratórios, tensões musculares, distúrbios do sono, estresse, depressão, irritabilidade, fadiga, diminuição da capacidade de concentração.

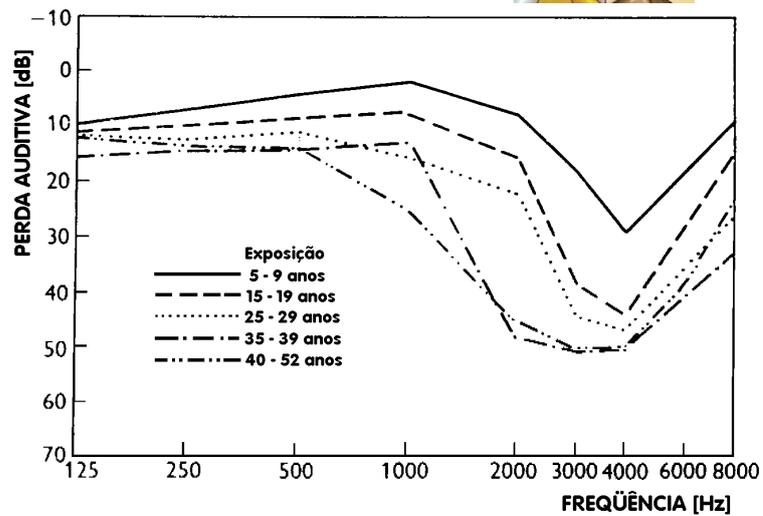
Dependendo do: Nível de pressão sonora e  
Tempo de exposição do indivíduo



• Perda da audição com a idade



• Perda auditiva permanente com o aumento dos anos de exposição



## Poluição Sonora



• A poluição sonora é um **problema de saúde pública**. É o segundo maior agente poluidor ambiental, depois da poluição do ar, Organização Mundial de Saúde (OMS).



- Segundo a OMS, a população urbana pode se expor ao seguinte nível de pressão sonora sem que este lhes cause danos à saúde:
  - limite de 50 dB(A) para o dia e 40 dB(A) para a noite.

## Começam as reclamações...



Fonte: Veja São Paulo, Ed. Abril, 11/08/2010

- Processos;
- Brigas;
- E até mortes!

## Acústica Urbana

- Problemas de saúde devido a exposição a níveis elevados de pressão sonora.
- Crescimento da conscientização da comunidade
  - têm revelado a necessidade de adoção de estratégias de gestão voltadas à melhoria da qualidade de vida ambiental urbana.



## Acústica Urbana

- Assim sendo, é fundamental para a preservação da qualidade de vida nos centros urbanos estabelecer normas, métodos e ações que:
  - permitam o controle do ruído
  - e visem à melhoria da qualidade sonora em áreas urbanas.



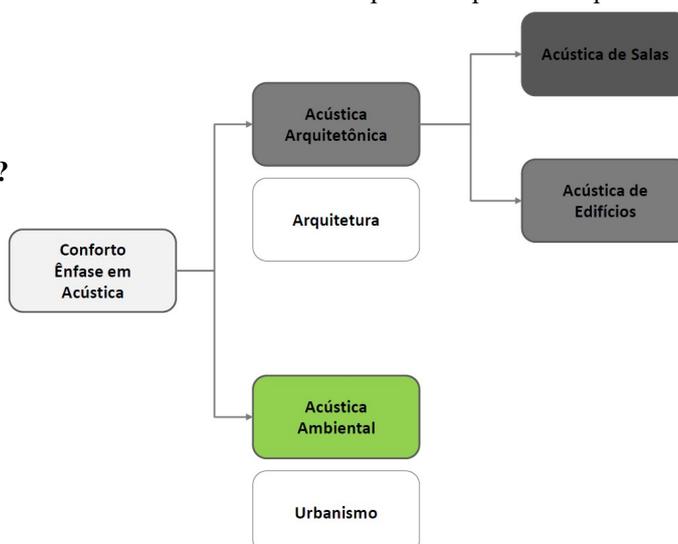
- **Poluição sonora - problema de saúde pública.**
  - **Mas e o conforto?**
  - Depois das preocupações com saúde, que obviamente devem ser atendidas, nos voltamos à questão do conforto.



## Conforto Acústico

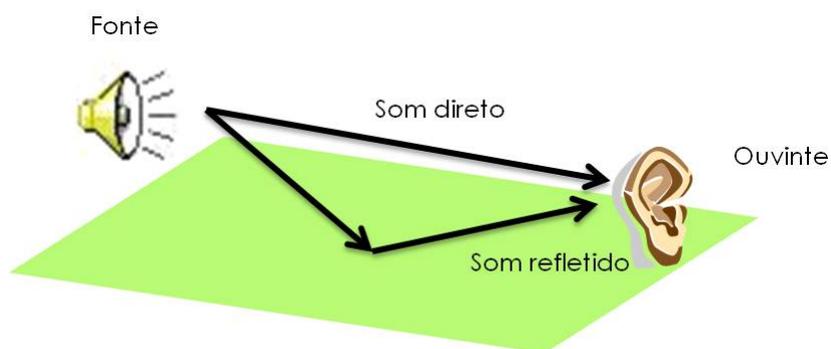
- A qualidade acústica dos ambientes é fator importante para os arquitetos e urbanistas.

- **Como abordar?**



## Propagação do som

- Normalmente estudada em termos desses três componentes:
- fonte sonora
- trajetória de transmissão
- receptor

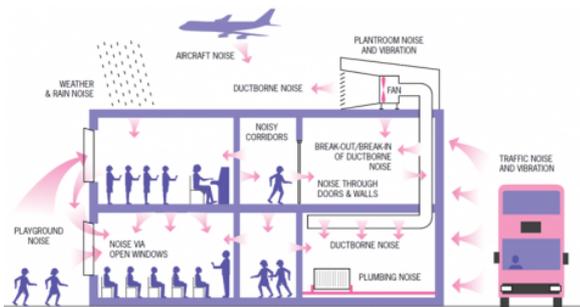


## Conforto Acústico

- Se pensarmos de fora pra dentro:
- Quais as principais fontes de ruído urbano?
- Quais as principais fontes de ruído numa edificação?
- Quais as principais fontes de ruído numa sala?

## Fontes de ruído

- Fontes externas ao edifício:
  - Tráfego rodoviário
  - Tráfego ferroviário
  - Tráfego aéreo
  - Atividades comerciais
  - Atividades industriais

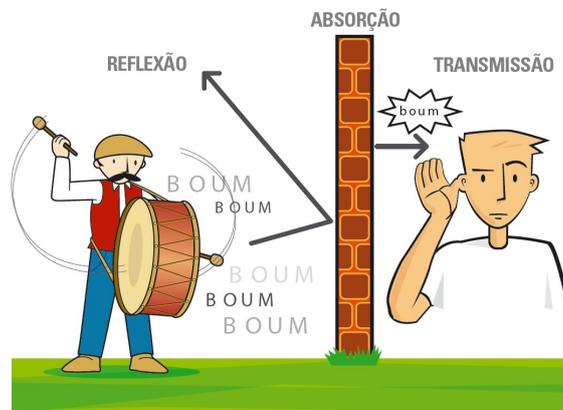


- Fontes internas ao edifício:

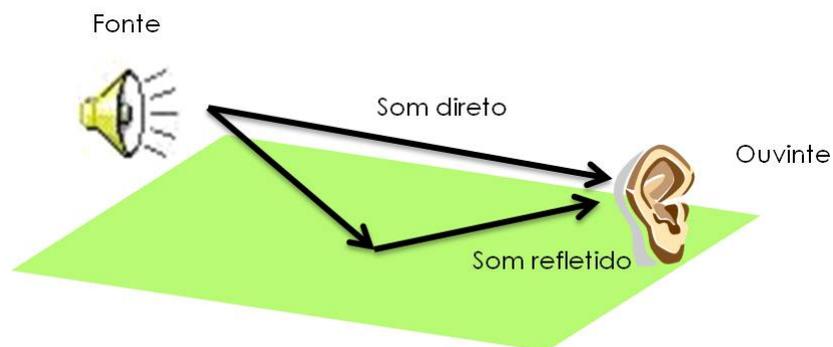
- Comunicação oral, crianças chorando, cachorro latindo
- Televisores; aparelhos eletrodomésticos
- Atividades realizadas pelos moradores (passos; objetos caindo, descarga, etc.)
- Maquinário diverso: elevadores; canalização; sistemas de ventilação e de ar condicionado; máquinas de lavar roupa, etc.

## Como o som se propaga?

- Quando o som atinge um obstáculo, uma parte é refletida, outra é absorvida, dissipando-se sob a forma de calor, e outra é transmitida através do obstáculo.



## Como controlar ou reduzir a propagação do ruído?



## Controle e Redução do Ruído

Há três métodos gerais de atuação:

- **Redução na fonte**
  - Redução das emissões de ruído na fonte: 1ª prioridade
- **Redução no caminho de propagação**
  - Redução da transmissão nos caminhos de propagação:  
2ª prioridade
    - Colocar obstáculos entre a fonte e o receptor (já existentes e/ou especialmente construídos para isso).
- **Redução no receptor**
  - Redução das emissões de ruído no receptor:  
última prioridade

Se possível atuar em dois ou até nos três!

## Controle de ruído urbano

- **Na fonte:**
- **Ruído de tráfego**

## Redução do ruído de tráfego

- redução do tráfego
- redirecionamento do tráfego
  - alteração dos percursos
- uso de veículos não motorizados



- preferência ao transporte público coletivo

- aumento do conforto nos veículos
- horários convenientes
- interfaces adequadas e ajustadas



- limitações de velocidade:

- Zonas de velocidade reduzida



- Permite uma redução de até 6 a 8 dB(A) sem alterar o volume de tráfego.

## Redução do ruído de tráfego

- limitações de velocidade:
- Se uma frota de veículos circular a 120 km/h e gerar um nível de pressão sonora de cerca de 78 dB(A);  
a 90 km/h observa-se uma redução para 74 dB(A) e,  
a 60 km/h o nível de pressão sonora fica reduzido a 70 dB(A) .



78 dB(A)



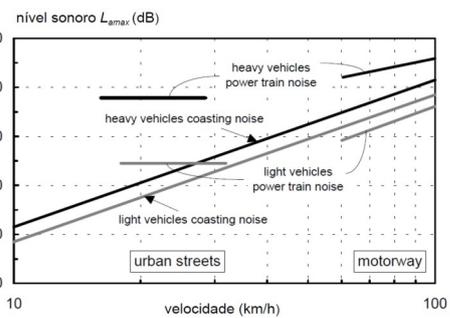
74 dB(A)



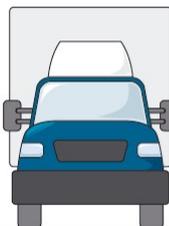
70 dB(A)

## Redução do ruído de tráfego

- transportes alternativos  
- veículos leves x pesados



77 a 80 dB(A)



Veículos pesados

74 dB(A)



Veículos ligeiros

75 a 80 dB(A)



Motociclos

66 a 71 dB(A)



Ciclomotores



Bicicletas

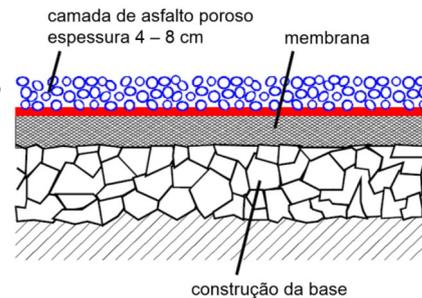


Peões

## Redução do ruído de tráfego

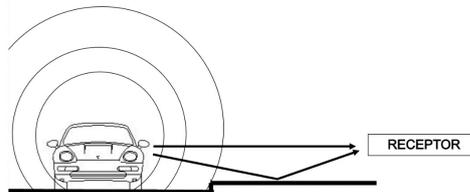
- Atuar nas rodovias
- Utilizar pavimentos de baixo ruído

- asfaltos com amortecimento
- asfaltos com absorção acústica: pode permitir uma redução na emissão do ruído de tráfego rodoviário entre 3 e 5 dB(A).

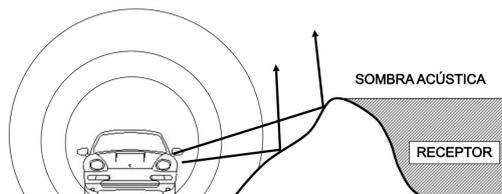


## Redução do ruído de tráfego

- perfis adequados
- traçado com curvas homogêneas, evitando declives acentuados.
- Perfil plano:

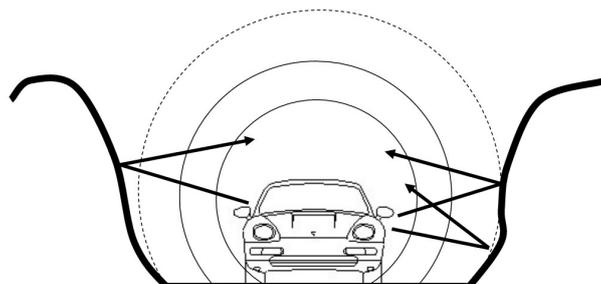


- Perfil convexo: separação (natural ou construída) entre vias de tráfego pesado e vias secundárias ou ruas de pedestres



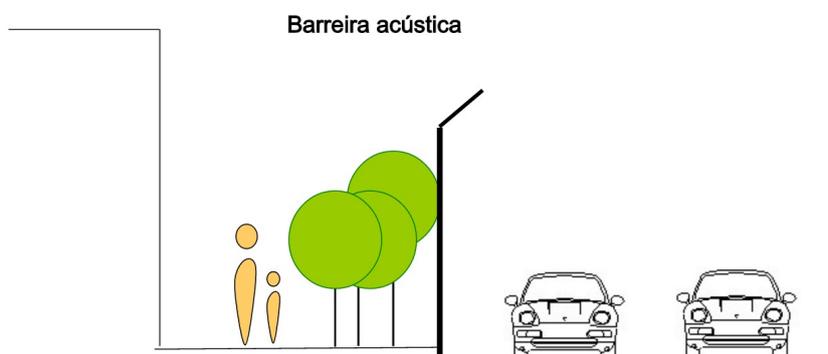
## Redução do ruído de tráfego

- Perfil côncavo:



## Redução do ruído de tráfego

- barreiras acústicas (naturais ou não)



## Redução do ruído rodoviário

- Redução das emissões de ruído na fonte
  - Redução de Veículos
  - Pisos (asfaltos absorventes, asfaltos com amortecimento)



- Redução da transmissão nos caminhos de propagação
  - Geometria da estrada (projeto da estrada)
  - Dispositivos atenuadores (barreiras acústicas)



## Redução do ruído ferroviário



- Redução das emissões de ruído na fonte
- Redução de vibrações (redução da interação trilho veículo)
  - mecanismos de excitação
  - vibração dos veículos
  - vibração do trilho
  - vibração do solo

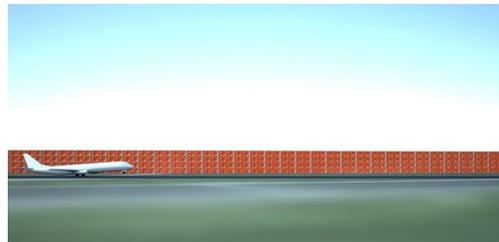
- Redução do ruído de rolamento

- Redução da transmissão nos caminhos de propagação
  - Barreiras Acústicas



## Redução do ruído aeroviário

- Redução das emissões de ruído na fonte
  - Banimento das aeronaves mais ruidosas
  - Planejamento e Gerenciamento do Uso do Solo
  - Procedimentos de Atenuação de Ruído (procedimentos especiais de saída e aproximação de aeronaves, visando o menor impacto de ruído em certas regiões).
  - Restrições Operacionais (últimas alternativas)
- Restrições de horário.
- Redução da transmissão nos caminhos de propagação
  - Barreiras Acústicas
- Redução de ruído no receptor
  - Tratamento acústico de residências



## Caso do Aeroporto de Congonhas

**Mapamento realizado pela Anac revela que bairros no entorno do aeroporto têm nível inaceitável de barulho**

**Estudo apresentado à Justiça Federal sugere remanejar voos fretados nos fins de semana para atenuar o nível de ruído**

**Morador quebrou até janela devido a barulho de aviões**

**Produção em Congonhas que vive em área de ruído acima de 65 dB**

9.951 casas afetadas | 30.826 habitantes

50 dB | 65 dB | 70 dB

Referências sonoras

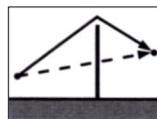
6h às 23h

Ação Civil Pública no MPF  
A comunidade queria reduzir o horário de funcionamento.

Restrições Operacionais:  
Restrições de horário.

6 h às 23 h

## Barreiras Acústicas



- **No caminho de propagação.**
- Barreiras naturais ou artificiais:
  - Qualquer estrutura ou obstáculo entre a fonte e o receptor (já existente e/ou especialmente construído para isso).
  - Aterros, desníveis, taludes já existentes, construções que funcionem como obstáculos à propagação do ruído, etc.



## Barreiras Acústicas

- Redução sonora no caminho de propagação
- Principais ferramentas utilizadas em controle de ruído, pois podem bloquear a propagação do som na direção dos receptores expostos a elevados níveis de ruído.



Barreira em madeira de pinho

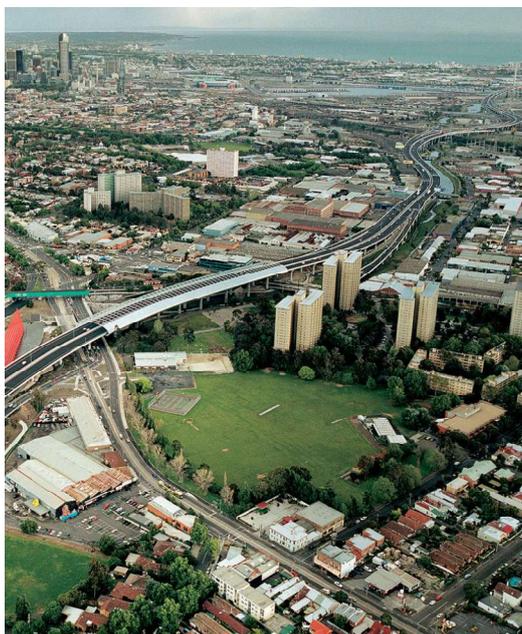


Barreira com painéis metálicos sanduíche: chapas de alumínio com recheio de lã de rocha

## Barreiras

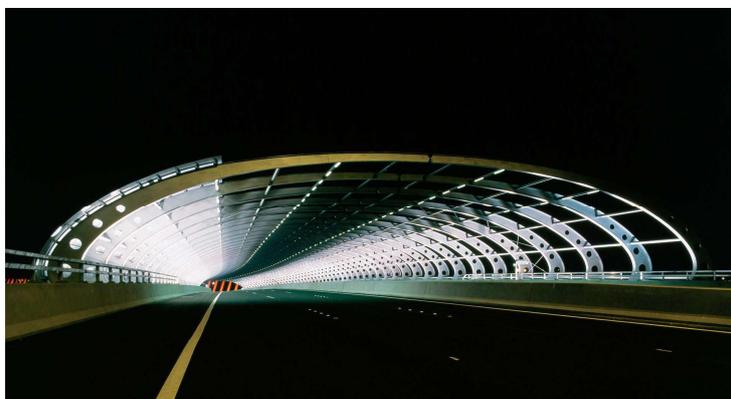
- Soundtube (Citylink Urban Highway) - Melbourne, Austrália
- um trecho em formato tubular que constitui uma barreira de som envoltória com 300 metros de extensão, nos locais próximos a apartamentos em North Melbourne. O projeto consiste em um esqueleto de metal onde são acopladas placas acústicas refletoras, concentradas nas adjacências de um conjunto habitacional. No lado oposto as estruturas são vazadas.

**Projeto:** Denton Corker  
Marshall Architects (DCM)



## Exemplos de Barreiras Acústicas

- **Soundtube** - para amenizar a poluição sonora criada pela nova rodovia, com o objetivo de não se ultrapassar um nível sonoro equivalente de 63 dB(A).
- O caráter modular do projeto permite facilmente instalar tubos similares à medida que outros empreendimentos forem feitos próximos à rodovia, assim como permite estender os já existentes.



## Exemplos de Barreiras Acústicas

- Elevado Tamanduateí - São Paulo
  - consiste em barreiras laterais, fechamentos e revestimentos acústicos e atenuadores de ruídos (lamelas de absorção acústica instaladas nos túneis).



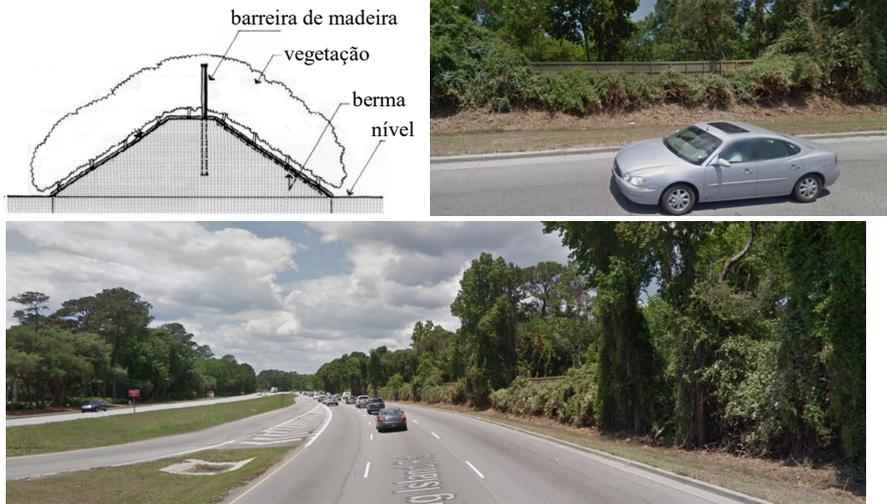
## Exemplos de Barreiras Acústicas

- Elevado Tamanduateí



## Exemplos de Barreiras Acústicas

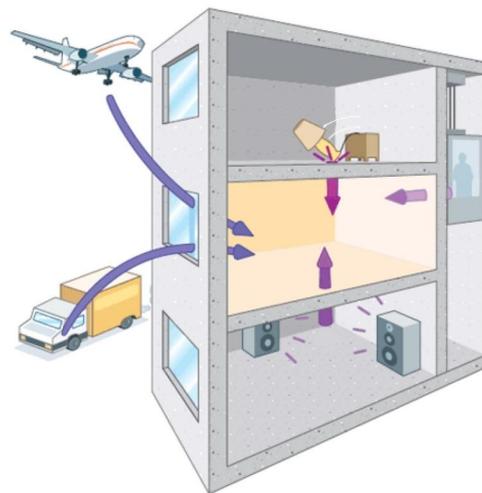
- **Condomínio Moss Creek (Hilton Head Island, Carolina do Sul)**
- Combinação acostamento de terra + barreira longa para reduzir ruído de tráfego rodoviário numa área residencial.



## Edificações

### • Receptor:

- O ruído que chega na fachada entra na edificação?
- Temos que pensar nisso na hora de projetar!
- Qual o ruído externo?  
Quanto chega na fachada?  
Quanto entra?
- Questão do isolamento



## Projeto de Isolamento Sonoro

- Disposição dos edifícios:

- De forma que os ambientes menos sensíveis ao ruído (corredores, escadas, cozinhas, dispensas, banheiros) fiquem virados para a fachada mais exposta ao ruído, reservando as fachadas restantes para quartos, sala de estar, etc.



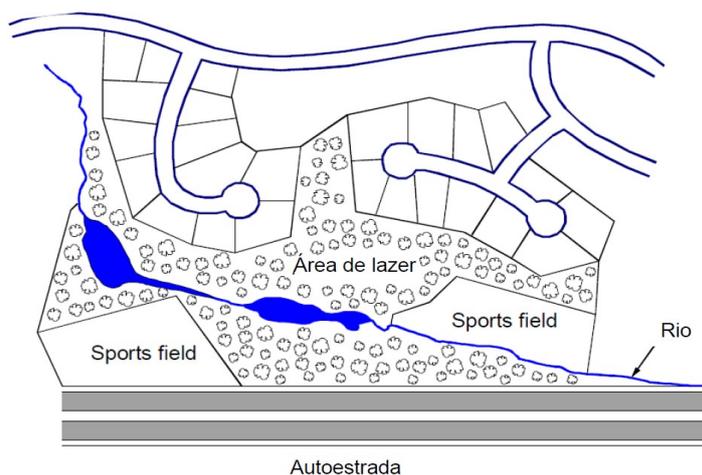
## Projeto de Isolamento Sonoro

- Disposição dos edifícios:

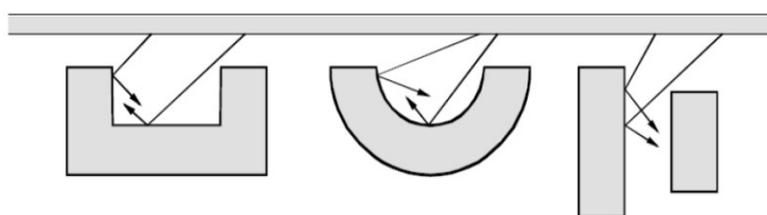


## Projeto

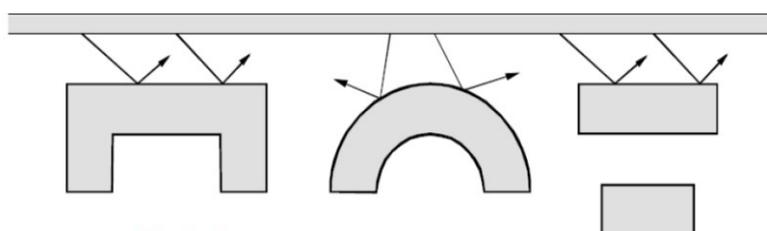
- Áreas não suscetíveis ao ruído, como espaço intermediário entre fontes sonoras e áreas que precisam de silêncio.



## Soluções – Configuração urbana e reflexão



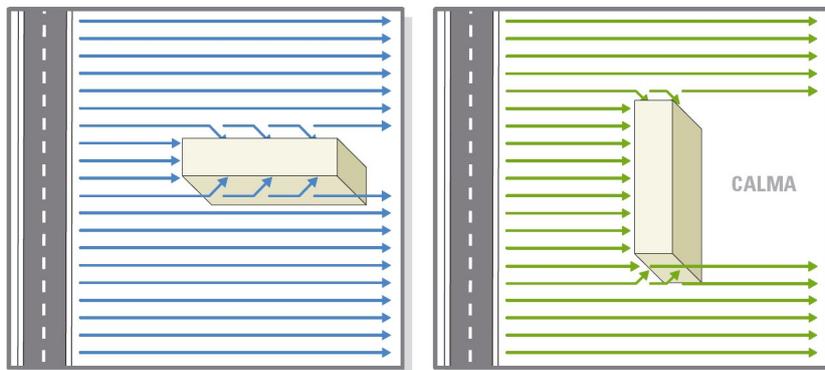
**Evitar**



**Preferir**

## Soluções

- Reduzir o número de fachadas expostas ao ruído

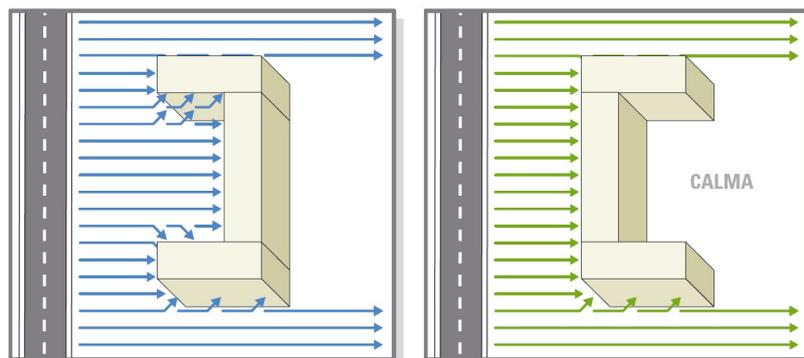


1. Todas as fachadas estão igualmente expostas

2. Foi criada uma fachada "calma"

## Soluções

- Reduzir o número de fachadas expostas ao ruído

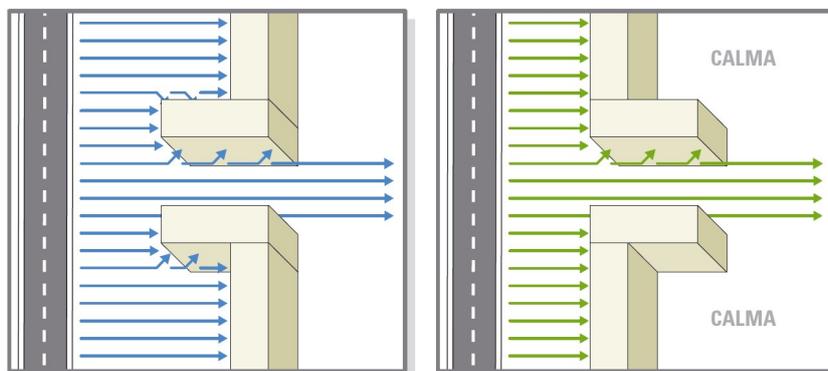


1. Implantação mais desfavorável em termos de exposição ao ruído

2. A superfície de fachada "calma" aumenta

## Soluções

- Reduzir o número de fachadas expostas ao ruído



**1. Implantação mais desfavorável em termos de exposição ao ruído**

**2. A superfície de fachada "calma" aumenta**

## Edificações

- Residência Estudantil:

Arquiteto: Lacroix Chessex

Localização: Genebra, Suíça

Ano do projeto: 2014



## Edificações - isolamento

- Residência Estudantil:

- Localizada na entrada de Genebra, os apartamentos de estudantes situam-se em um terreno que segue a curva das vias ferroviárias.

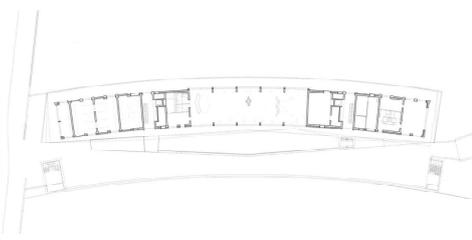
- A fachada consta de varandas privadas no lado leste e longos corredores no lado oeste.



## Edificações - isolamento

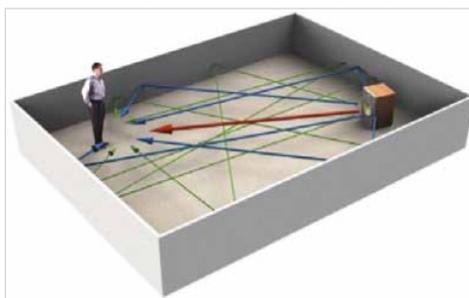
- Residência Estudantil:

- A altura das balaustradas varia de acordo com o ângulo de incidência de ruído dos trens que passam por ali. Por consequência, este princípio também proporciona ao edifício uma fachada que progressivamente vai se abrindo para o céu.



## Controle de ruído interno

- Acústica de salas:
- Campo sonoro em espaços fechados depende essencialmente de:
  - Características de absorção sonora dos materiais de revestimento
  - Volume do ambiente
  - Geometria do ambiente
  - Frequência do som



- Pode ser alterado mudando-se a geometria do espaço e/ou as características acústicas dos materiais.

## Tempo de reverberação

- 1,2 segundos

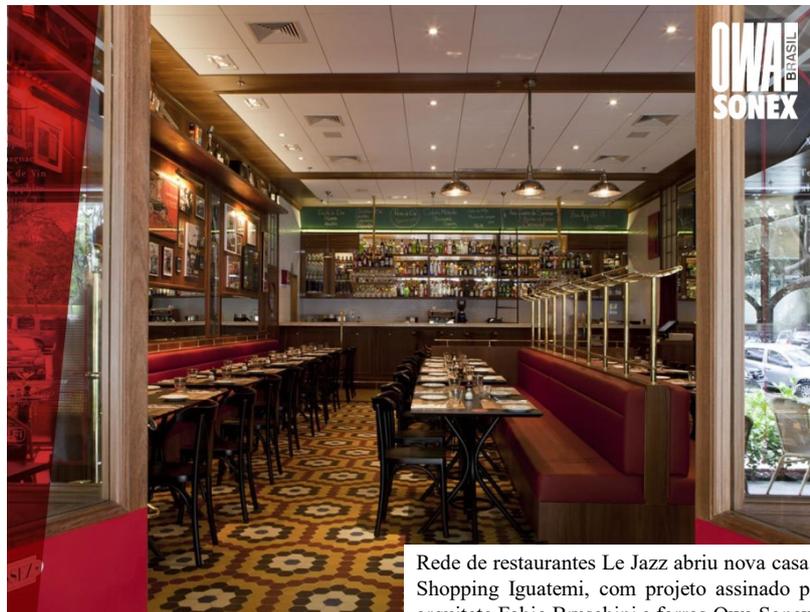


- 0,4 segundos



## Restaurantes

## Forro mineral



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

## Ginásio de esportes



## Acústica de escritórios

### DENTSU AEGIS NETWORK

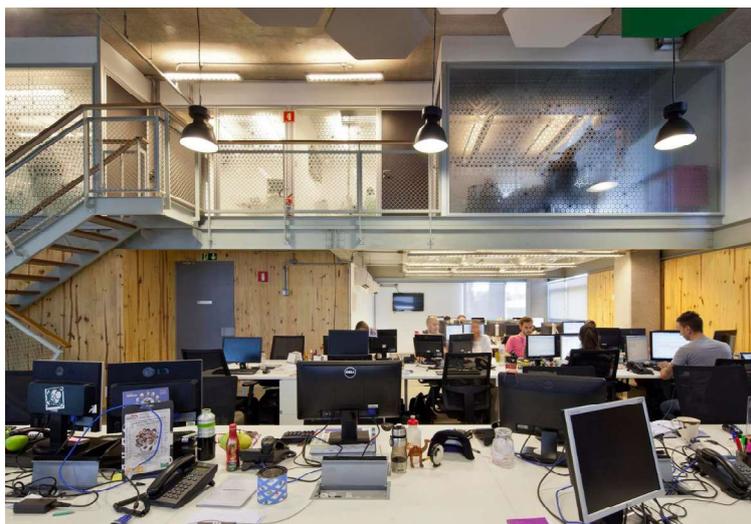
Edifício **BOX 298**, Vila Madalena, São Paulo

Projeto do Escritório: DMDV Arquitetos (2014)

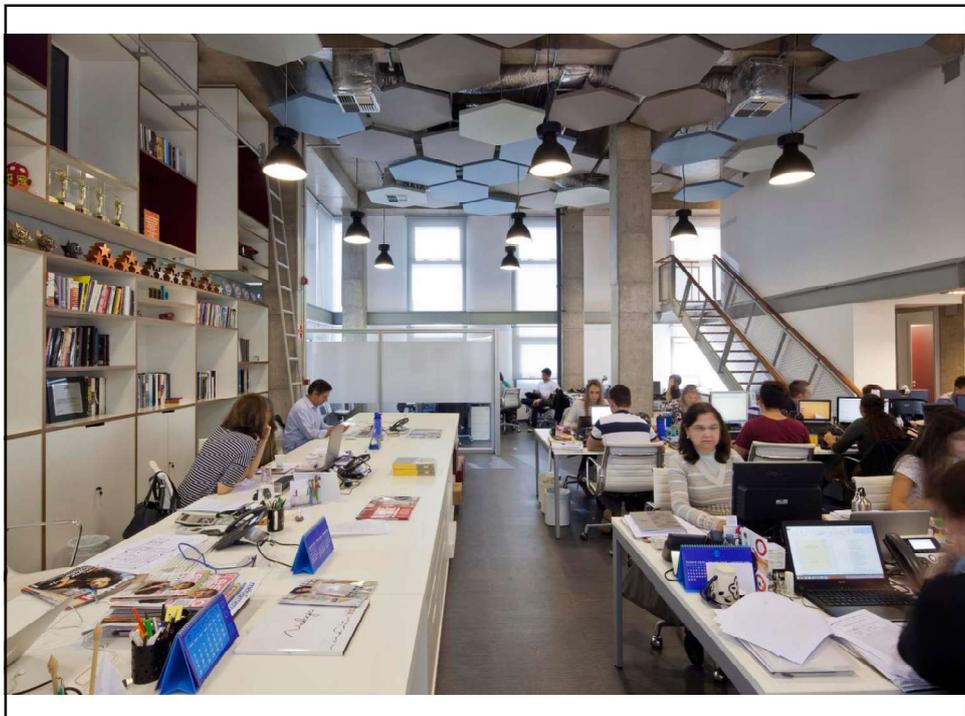
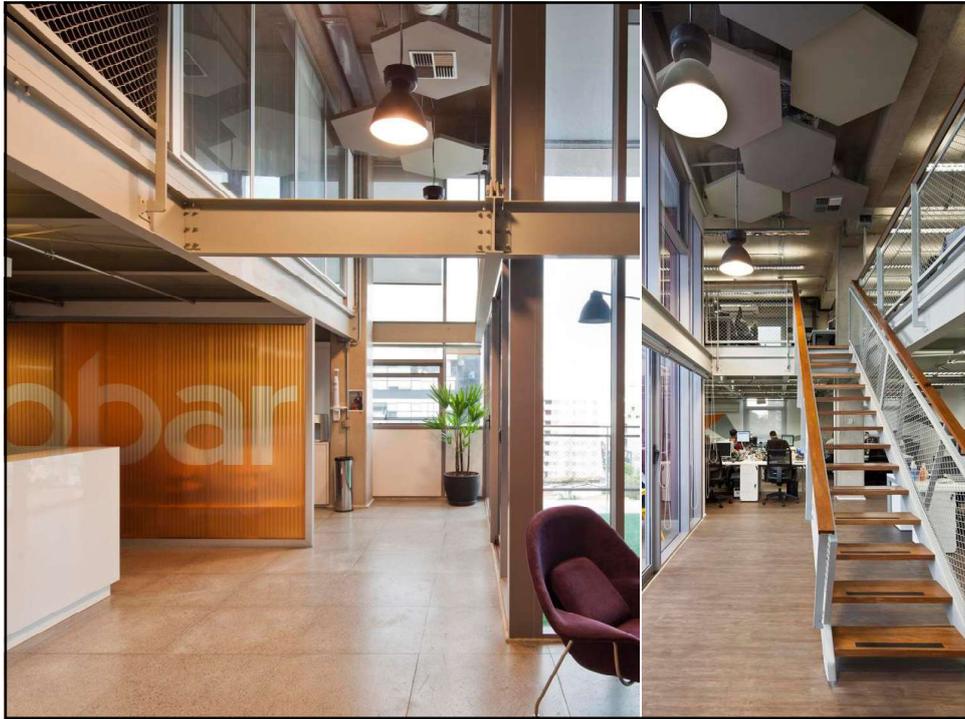
Projeto de Acústica: Harmonia Acústica

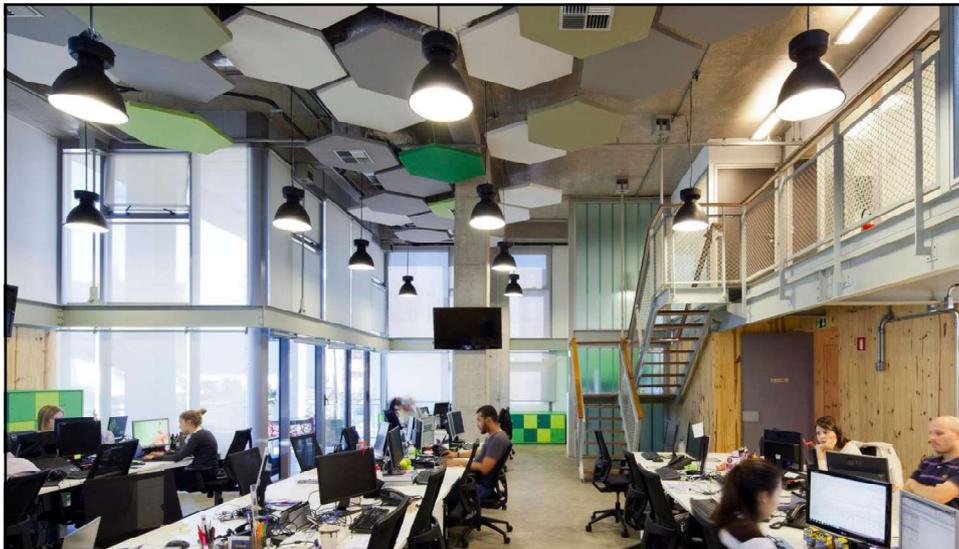


## Acústica de escritórios



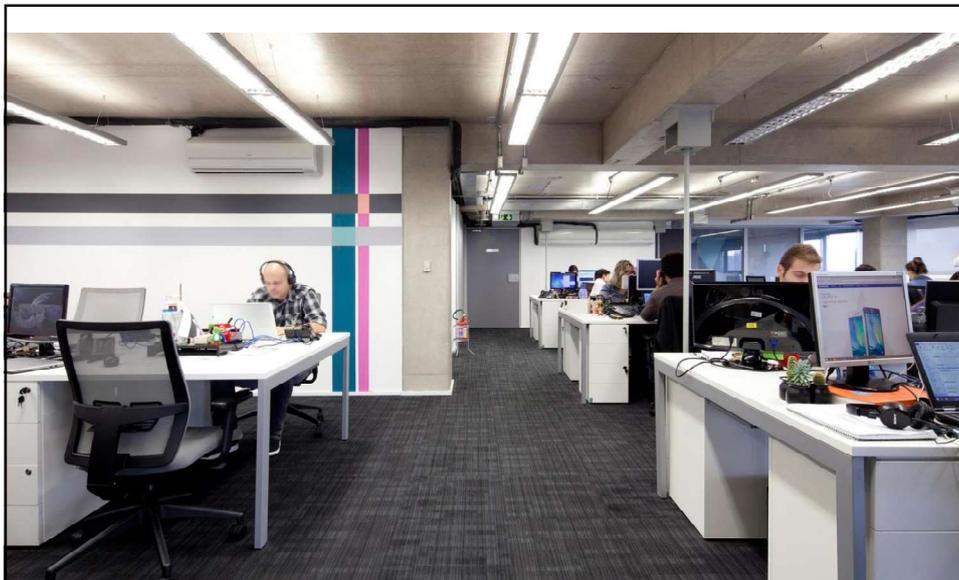
- empresa de comunicação
- plantas irregulares com alturas variáveis
- salas fechadas e trechos de pé direito duplo para trabalho de tipo ‘open space’





Conceito:

- preocupação com as atividades da empresa da comunicação
- privilegiar ambientes por critério de confidencialidade
- dinâmica *open plan* para o trabalho em equipe



- absorção sonora:  
nuvens acústicas de absorção sonora no teto dos ambientes de trabalho coletivo, carpetes e divisórias diversas.

## Teatro Renault

Antigo Cine/Teatro Paramount

Rua Brigadeiro Luís Antônio, São Paulo

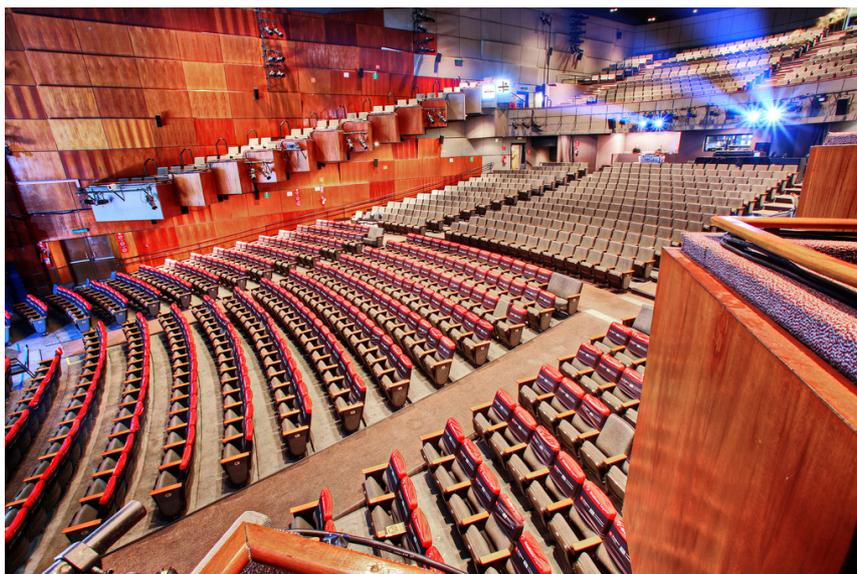
Marcos Carrilho/Aflalo & Gasperini (requalificação)

1969/2001 (requalificação)

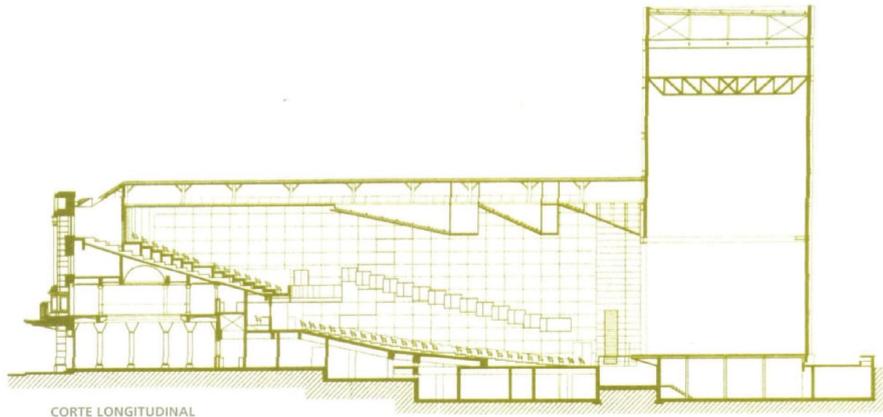
capacidade para 1530 espectadores



## Teatro Renault



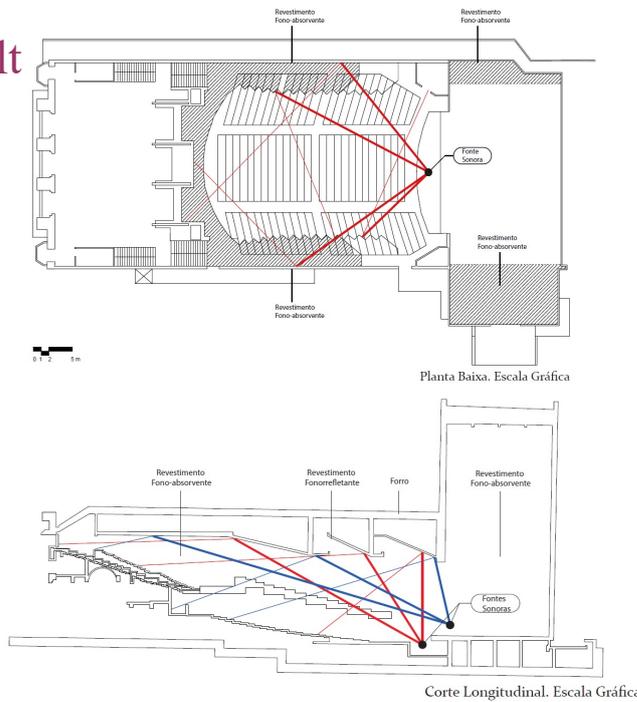
## Teatro Renault



CORTE LONGITUDINAL

fonte: [www.arcoweb.com.br/arquitetura/alfalo-gasperini-arquitelos-teatro-abril-28-06-2001.html](http://www.arcoweb.com.br/arquitetura/alfalo-gasperini-arquitelos-teatro-abril-28-06-2001.html)

## Teatro Renault



Planta Baixa, Escala Gráfica

Corte Longitudinal, Escala Gráfica

## Filarmônica de Berlim

Berlim  
Arquiteto: Hans Scharoun  
Consultor acústico: Lothar Cremer  
1962



fonte: [www.vivaberlim.com](http://www.vivaberlim.com)

## Filarmônica de Berlim

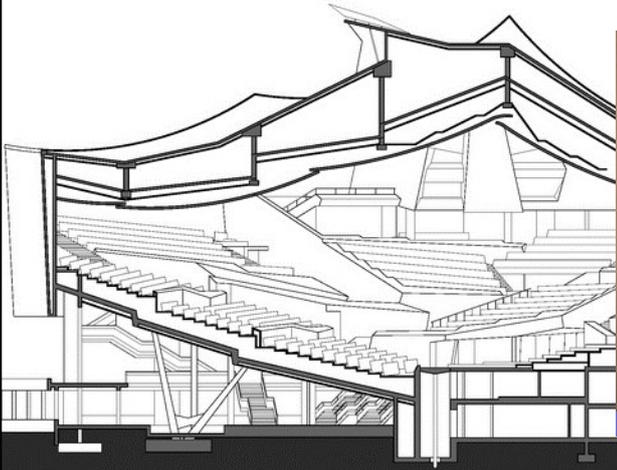
Berlim  
Arquiteto: Hans Scharoun  
Consultor acústico: Lothar Cremer  
1962



fonte: [www.berliner-philharmoniker.de/](http://www.berliner-philharmoniker.de/)

# Filarmônica de Berlim

Berlim  
Arquiteto: Hans Scharoun  
Consultor acústico: Lothar Cremer  
1962



fonte: [www.berliner-philharmoniker.de/](http://www.berliner-philharmoniker.de/)

Seção longitudinal

# Filarmônica de Berlim

Berlim  
Arquiteto: Hans Scharoun  
Consultor acústico: Lothar Cremer



fonte: [www.berliner-philharmoniker.de/](http://www.berliner-philharmoniker.de/)

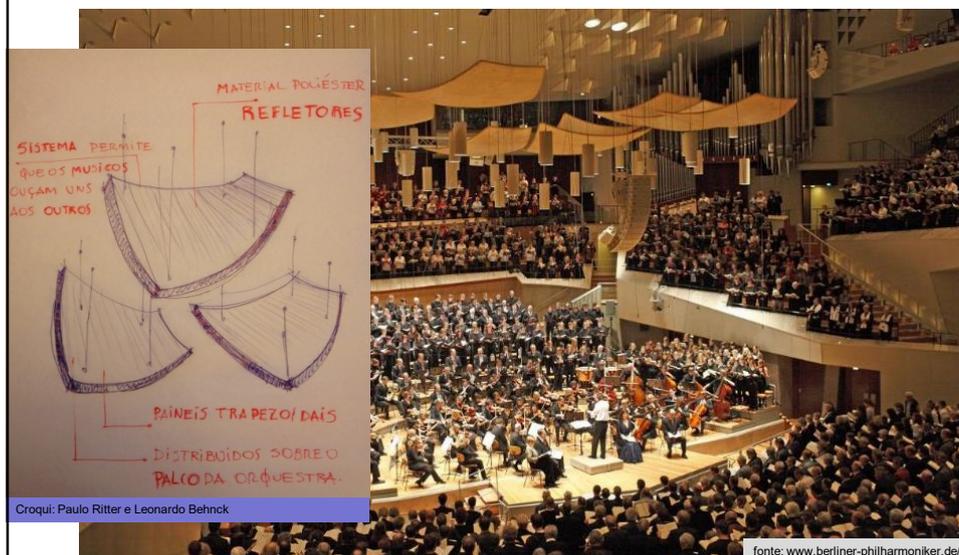
## Filarmônica de Berlim

Berlim

Arquiteto: Hans Scharoun

Consultor acústico: Lothar Cremer

1962



## Sala Pleyel

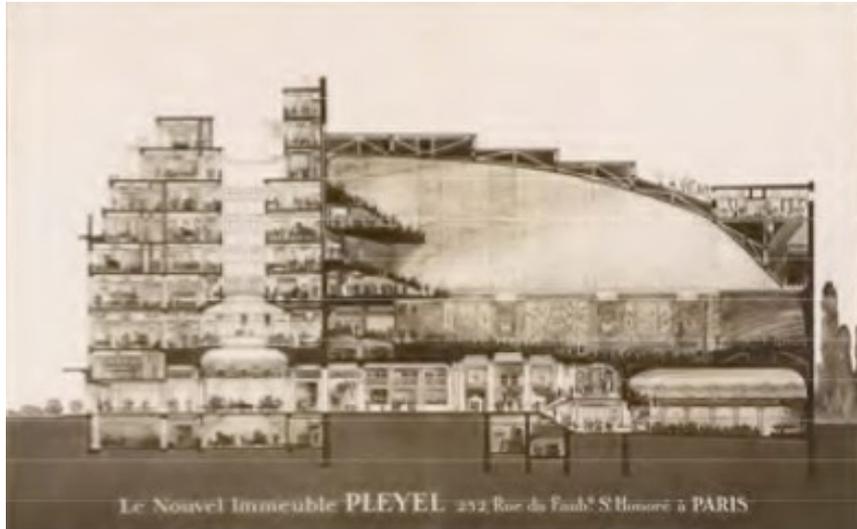
LOCAL: Rue du Faubourg Saint-Honoré, 252, Paris, França.

DATA: Inauguração em 1927



## Sala Pleyel

**IDEALIZADOR E DIRETOR DA EMPRESA PLEYEL:** Gustave Lyon, engenheiro  
**PROJETO ARQUITETÔNICO:** Jacques Marcel Auburtin, mas, após sua morte, André Granet e Jean-Baptiste Mathon o substituíam.



Concepção original de parábola: Ouvintes escutavam todos os sons dos artistas e estes todas as conversas e ruídos dos ouvintes e funcionários da sala; Artistas não ouviam uns aos outros, por causa da distância e da falta de refletores entre eles.

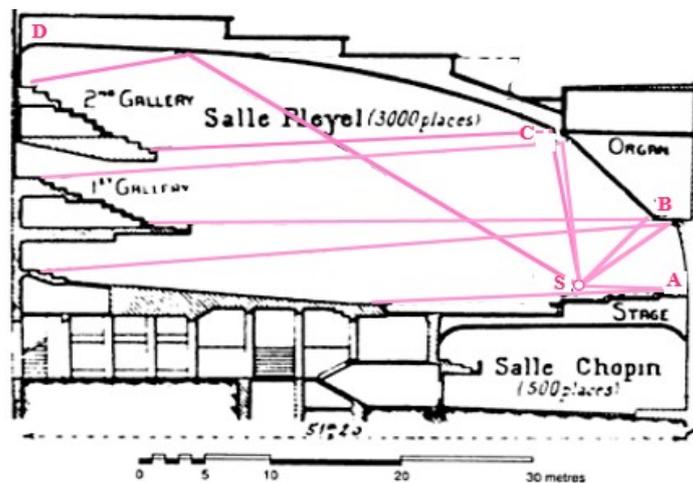


Figura. 8. Sala Pleyel, 1927. Forro refletor.

Foram realizadas correções na acústica da sala: **forro e volume**.  
O forro, com uma parte plana e horizontal, transmite a energia sonora de forma homogênea na sala.



Figura 10 – Sala Pleyel, 1981-2006.

Ampliou-se o **volume geral da sala**, pois o público foi diminuído de 3000 para 2400 pessoas.

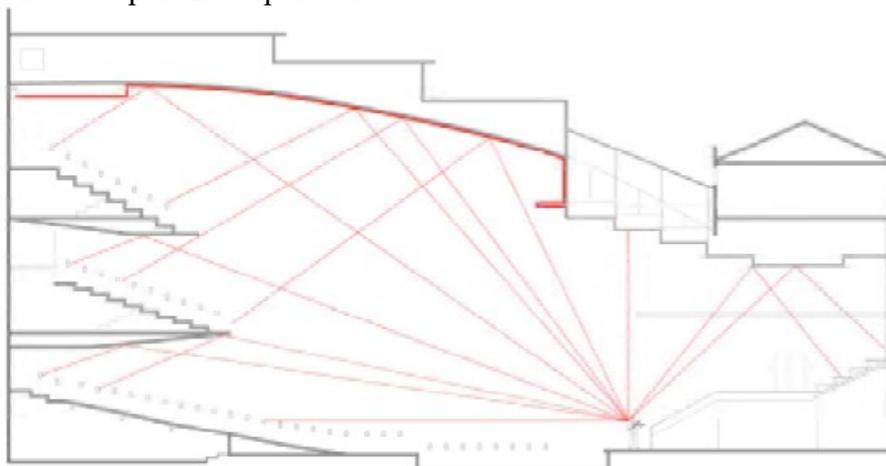


Figura 11 — Sala Pleyel, 2006. Forro refletor.

