

# **Curso de Sonorização**

 **Som da Igreja**

Gidenilson Alves Santiago

<b>Introdução</b>	<b>7</b>
Som é vibração	14
Parâmetros do Som (ou Qualidades do Som)	14
Desenhando o som	15
<b>Propriedades do som para sonorização</b>	<b>16</b>
Frequência sonora	16
Pressão sonora	16
Envelope	16
Ataque	17
Decaimento	17
Sustentação	17
Repouso	17
Alguns exemplos	18
Ondas sonoras	18
<b>Fontes sonoras</b>	<b>19</b>
Direcionalidade das fontes sonoras	19
Direcional	19
Omnidirecional	19
Transdutores	19
<b>Medindo o som</b>	<b>21</b>
Nível de Pressão Sonora (SPL)	21
Regras dos decibéis	23
Regra dos 3 dB	23
Regra dos 6 dB	23
Regra dos 10 dB	23
Regra do 0 dB nos equipamentos de som	23
<b>Eletricidade básica para sonorização</b>	<b>23</b>
Por que as coisas queimam?	24
Impedância	24
<b>Elementos de áudio</b>	<b>24</b>
Espectro de Áudio	24
Faixa dinâmica	25
Fator de Crista - Headroom	25
Níveis de Sinais	25
<b>Microfones</b>	<b>26</b>

Diretividade	26
Diagrama polar	27
Padrões polares	28
<b>Alto-falantes</b>	<b>29</b>
Tipos de alto-falantes	29
Alto-falante para frequências graves - woofer - (40Hz - 1.000Hz)	29
Alto-falantes para médias frequências - midrange - (200Hz - 7.000Hz)	30
Alto-falantes para altas frequências - tweeter - (5.000Hz - 20.000Hz)	30
Drives de resposta estendida	30
Especificações técnicas principais dos Alto falantes	31
<b>Caixa Acústica</b>	<b>31</b>
Especificações técnicas principais	31
Fatores de qualidade das caixas acústicas	32
<b>Amplificadores e caixas acústicas</b>	<b>32</b>
Entrada e saída	32
Mono e estéreo	32
Amplificadores mono e estéreo	34
Monos separados	34
Pseudo estéreo	35
Estéreo	35
Bridge	36
Impedância de carga e potência	36
Potência máxima fornecida	37
Ligação de caixas acústicas	37
Ligação em série	38
Cuidados especiais	39
Resultados da ligação em série	39
Ligação em paralelo	40
Cuidados especiais	40
Resultados da ligação em paralelo	40
Ligação em série e paralelo	43
Cuidados especiais	44
Resultados da ligação em série e paralelo	44
Quando utilizar cada tipo de ligação?	45
<b>Acústica para sonorização</b>	<b>46</b>
Reflexão das ondas sonoras	46
Eco	47
Reverberação	48
Tempo de reverberação	50
Som direto e Campo reverberante	51
<b>Tratamento acústico</b>	<b>51</b>

Ruído ambiente	52
Barreira acústica	53
Reflexão	54
Difração	54
Absorção	55
Transmissão	55
Colunas dentro do ambiente acústico	55
Situações comuns que exigem intervenção na acústica	56
Isolamento e Isolação	56
Adequação do tempo de reverberação	56
Tempo de reverberação adequado	56
Técnicas utilizadas para ajustar o tempo de reverberação	57
Materiais absorvedores	57
Painéis vibrantes	57
Painéis ressonadores	57
Forro acústico	57
Mobiliário e decoração	57
Propriedades acústicas dos materiais	58
Índice de atenuação	58
Coeficiente de absorção	60
Estudo de Caso RT60	61
Cálculo do RT60	61
Descrição do projeto (simulação)	62
Estrutura	62
Reboco	63
Piso	63
Janelas e portas de vidro temperado	64
Carpetamento na plataforma do púlpito	65
Colocação dos bancos	66
Forro acústico	67
Painéis vibrantes	67
Análise e adequação do RT60 do projeto inicial	68
Comparando as etapas do projeto	69
<b>Microfonia</b>	<b>70</b>
O que é?	70
PAG (ganho acústico potencial)	70
Como diminuir a ocorrência de microfonia?	74
Posicionamento das caixas acústicas e microfones	75
Manuseio dos microfones	75
Diretividade das caixas acústicas e microfones	75
Tratamento acústico	75
Microfones abertos	75
Resposta de frequência plana	75

<b>Posicionamento de Projetores de Som</b>	<b>76</b>
Tipos de posicionamento	76
Fonte única	76
Características gerais	76
Fonte única dividida	76
Características gerais	77
Projetores distribuídos	77
Características gerais	77
Cuidados ao escolher o tipo de posicionamento	78
Mono ou Estéreo?	79
Técnica de atraso de sinais	80
Efeito Haas	82
Distância crítica (DC) e Distância limite (DL)	84
Tabela K	86
Exemplo prático	89
Ambientes abertos (ar livre)	93
Ambientes fechados	94
Exemplo prático	95
Nível de SPL do programa sonoro	95
Calculando a potência do sistema principal	96
Determinação do SPL máximo para projetores ativos	96
Calculando a potência para o sistema da galeria	97
<b>Por dentro da mesa de som</b>	<b>97</b>
O mixer	97
“Anatomia e fisiologia” : por dentro do mixer	98
Entradas, Saídas e Barramentos	98
Separadores e Misturadores de sinais	99
Amplificadores operacionais	100
Controladores de frequência (equalizadores)	100
Parâmetros dos EQs	100
Frequência central	100
Nível	100
Q	101
Filtros	101
Low pass	101
High pass	102
Low shelving	102
High shelving	102
Peaking filter	103
Tipos de EQs	103
Equalizador de graves	104
Equalizador de médios	104

Equalizador de agudos	104
Equalizador semi paramétrico	104
Equalizadores paramétricos	105
Low cut	105
Endereçamento	105
Cópia	105
Desvio	106
Derivação	106
Canais de entrada	107
Mono	107
Estéreo	108
Combinação de canais mono	108
Controles do canal de entrada	109
Gain (trim, level)	109
Low cut	112
Equalização	112
Botão de intensidade	114
Botão de ajuste de frequência central	114
Botão de ajuste de largura de banda.	115
Pan	115
Fader	115
<b>Auxiliares</b>	<b>115</b>
Funcionamento dos auxiliares	117
Apresentação do diagrama	117
Controle de ganho do canal	117
Aux1 (pre)	117
Aux2 (post)	117
Aux1 send e aux2 send	117
Aux returns	118
<b>Passagem do som</b>	<b>118</b>
Posição inicial dos controles	119
Ajuste dos níveis operacionais	119
Sequência de passagem do som	121
Passo a passo	121
Microfone principal	122
1. Low cut acionado	122
2. Posicionar corretamente o microfone perto da boca.	122
3. Cantar forte, mas sem 'gritar' no microfone.	123
4. Ajustar o nível operacional.	123
5. Abrir o fader do canal até o máximo possível sem microfonia.	124
6. Margem contra microfonia	124
7. Equalizar o canal	124

8. Margem para os vocais	125
Vocais	125
Instrumentos	125
Conjunto	126
Sabotagem	126
<b>Equalização master</b>	<b>126</b>
Tipos de equalizadores gráficos	128
Correção de resposta de frequência	129
Controle de microfonia	130
<b>Ruído</b>	<b>131</b>
Interferência de RF	132
Causas	132
Prevenção	133
Ruídos da rede elétrica C.A.	133
Causas	133
Prevenção	133
<b>Cabeamento</b>	<b>133</b>
Sistema balanceado X não balanceado	134
Cabo para ligar notebook ou smartphone na mesa de som	137
<b>Bibliografia</b>	<b>139</b>

## Introdução

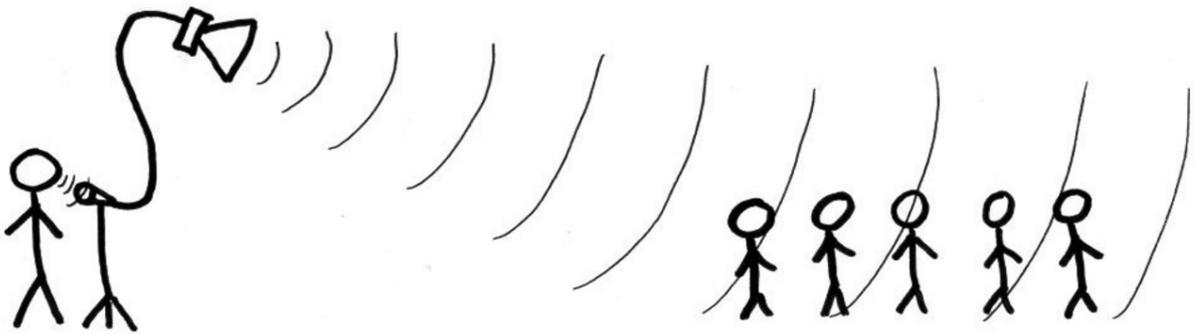
# O que é um sistema de som?

## O que é um sistema de som?

sinônimos

***Sistema de Sonorização***  
***Sistema de Áudio***  
***Sistema de Reforço Acústico***  
***Sistema de Reforço Sonoro***

## Para que serve?



# Qualidades desejadas

O que esperamos de um sistema de som?

## 1 - Nível Adequado

Suficiente; nem mais nem menos

## 2 - Boa Inteligibilidade

som inteligível; facilidade de entender as palavras

## 3 - Uniformidade

adequada cobertura sônica; todos ouvindo igualmente

## 4 - Fidelidade

som natural; sem distorções

**Som de Qualidade = Conforto Auditivo**



## Características indesejadas

O que pode está errado?

### 1 - Nível Inadequado

insuficiente ou exagerado

## 2 - Baixa Inteligibilidade

som “embolado”; ouvinte precisa se esforçar para entender

## 3 - Cobertura Sônica Inadequada

mal distribuído; forte para alguns,  
insuficiente para outros e exagerado para outros mais.

## 4 - Distorções

Distorção harmônica: som saturado, “clipado”

Distorção de frequência: “estridente/metálico”, “abafado”, “vendedor de pamonha”

## 5 - Ruído

Chiado

Zumbido (60Hz)

Estalidos

Interferência de rádio

Microfonia

## Som de Má Qualidade = Fadiga Auditiva

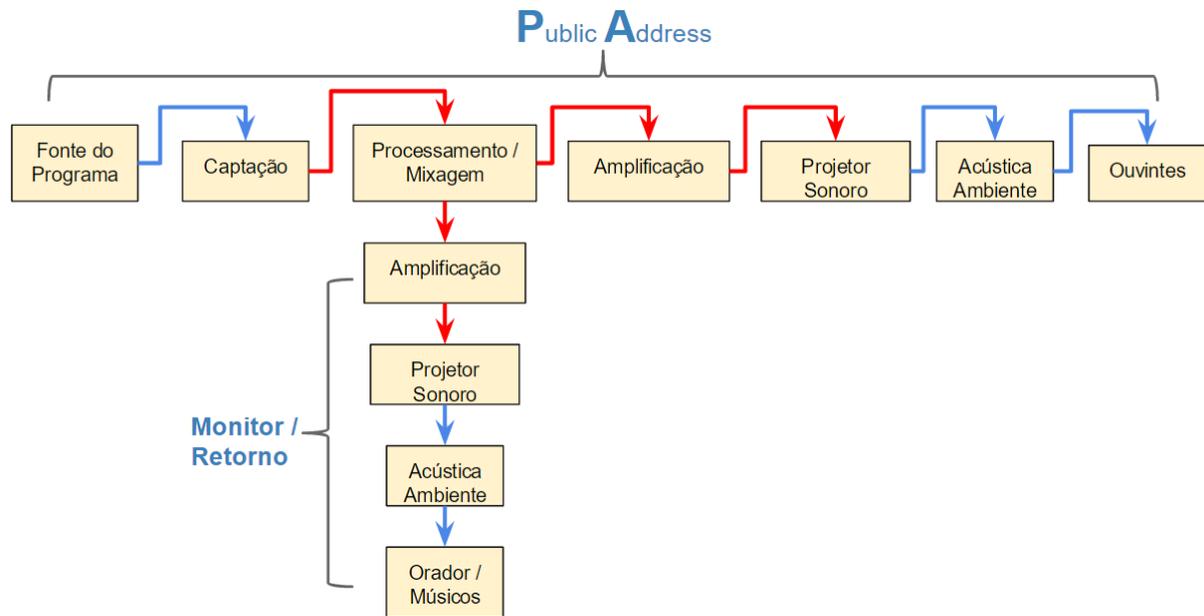


## Curiosidade!!!

Você sabia que numa sala de aula a acústica ruim é um dos fatores que causam baixo rendimento de aprendizagem e irritabilidade nos alunos e desgaste físico e mental do professor?



## Os Componentes do Sistema de Som



# Para que aprender tudo isso?

- **Projeto**

- Economia
- Lista de prioridades
- Roteiro de aquisição e instalação

- **Rearranjo**

- Tirar o melhor proveito do que já se tem.

- **Reforma**

- Substituir
- Acrescentar
- Descartar

- **Operar**

- Saber o que está fazendo
- Orientar os usuários
- Conservar

**PRÁ SER FELIZ!**



## Som é vibração

Quando colocamos as mãos sobre uma máquina em funcionamento, como por exemplo um ventilador ou uma máquina de lavar roupas, sentimos a vibração dessas máquinas. A vibração é um curto e rápido movimento de “vai e vem” das moléculas do material que está vibrando. É pelo fato de ser um movimento de vai e vem, que nem o ventilador e nem a máquina de lavar roupas saem do lugar quando estão funcionando. O som também é uma vibração, só que é uma vibração que percebemos com os ouvidos, ou seja, o som é a vibração do ar que é percebida pelos nossos ouvidos.

## Parâmetros do Som (ou Qualidades do Som)

Todos os sons são iguais? Claro que não, e nossos ouvidos são muito bons em perceber as menores diferenças entre os sons. É por isso que conseguimos reconhecer a voz dos nossos amigos perceber a diferença entre o som de um violão e de uma bateria e saber quando nosso cachorro está latindo ou chorando.

O que faz um som ser diferente de outro? São as propriedades do som.

A primeira diferença que podemos perceber é a **intensidade**. A intensidade é a propriedade que nos permite perceber se um som é mais forte ou mais fraco que outro. Por exemplo, quando batemos palmas bem de leve o que ouvimos? Ouvimos um som de palmas bem fraco, é claro. E quando batemos palmas com bastante força? Ouvimos também um som de palmas só que bem mais forte. Então a diferença nesse caso entre os sons é somente a intensidade das palmas.

Outra diferença que percebemos é a **duração**. A duração é a propriedade que nos faz perceber se um som mais longo ou mais curto que outro. Vamos pensar no latido de um cão e o miado de um gato. O som do latido é bem curto: au!... au!... au!... Já o miado é um som bem mais longo: miaaaaaaaaauu!... miaaaaaaaaauu!... miaaaaaaaaauu! Qual o som mais curto a batida de um martelo ou o berro de uma ovelha?

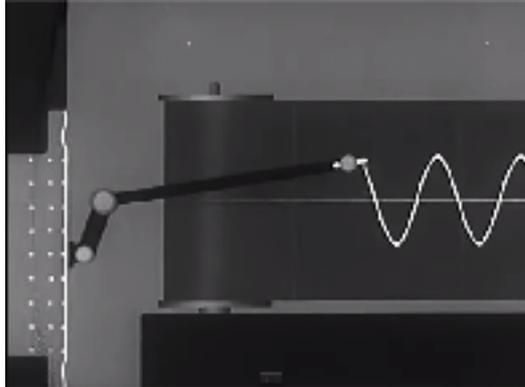
Uma terceira diferença encontrada quando comparamos os sons é se um som é mais grave ou mais agudo que outro. Por exemplo, o som de um grilo cantando (cri... cri... cri...) é mais agudo que o som de um sapo coachando (coach... coach... coach...); o rugido de um leão é mais grave que o grito de uma arara; a voz dos um homem adultos são graves, enquanto que a vozes das mulheres e crianças são agudas.

Essa propriedade que nos diz se um som é agudo ou grave se chama **altura**. Assim, quando um som é agudo dizemos que esse som é alto, e quando um som é grave dizemos que é baixo. Então um som BAIXO é um som GRAVE, enquanto que um som ALTO é um som AGUDO.

Podemos também dizer que um som grave está mais para baixo e que um som agudo está mais para cima.

A última propriedade é a que nos permite perceber o “tipo” do som ou a fonte sonora (a coisa que está produzindo o som). Graças a essa propriedade, quando ouvimos um latido nós já sabemos que esse som está vindo de algum cachorro, mesmo que não estejamos vendo o animal. Essa propriedade é chamada de **timbre**. Cada fonte sonora produz um som com um timbre próprio, em outras palavras, o som tem a forma ou tipo de acordo com a fonte sonora que o está produzindo. Quando um amigo nos chama pelas costas, sabemos quem está nos chamando porque já conhecemos o timbre da voz de todos os nossos amigos. Da mesma forma, cada

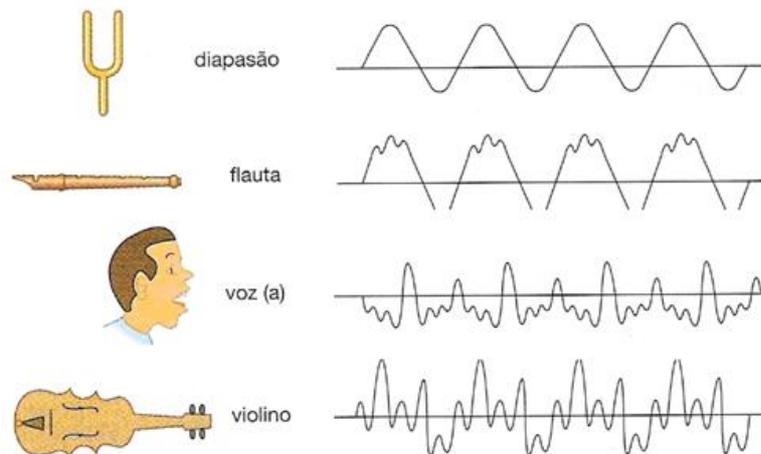
## Desenhando o som



Podemos representar um som graficamente. Isso é muito útil para compreendermos melhor o comportamento e as diferenças entre os sons. A representação gráfica também nos ajuda a compreender melhor os parâmetros do som como frequência, intensidade, timbre, duração e tudo o mais.

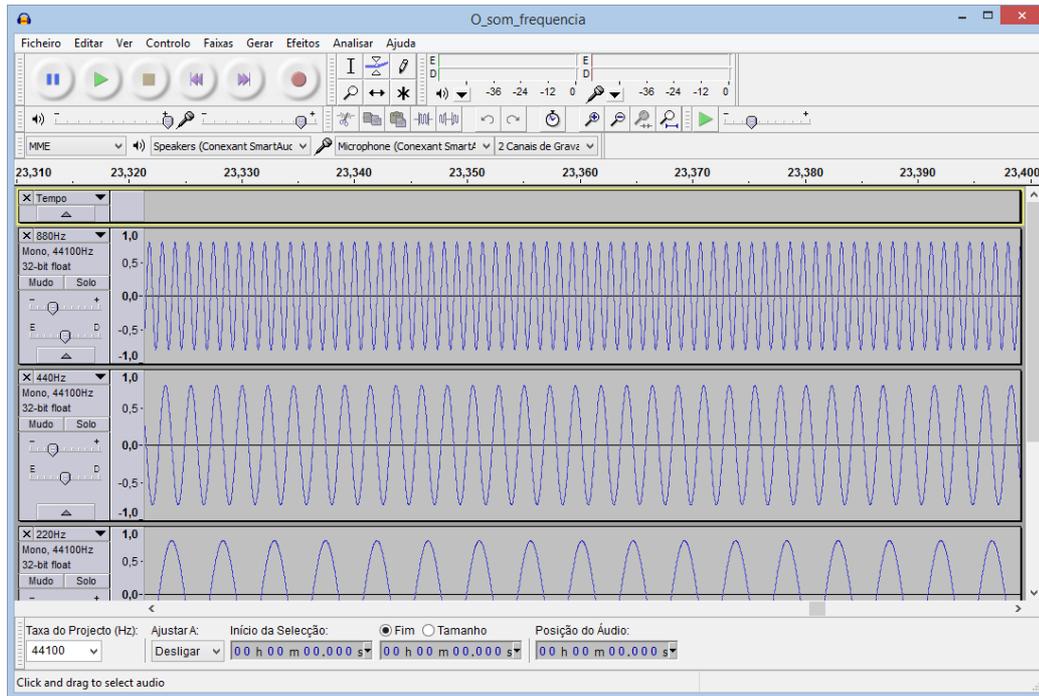
Mais o que essas linhas nos mostram? Mostram como a vibração sonora varia no tempo. Você lembra que as ondas sonoras provocam uma variação repetitiva na pressão do ar? Lembra também que essa variação de pressão é percebida pelo nosso ouvido e isso nos faz escutar o som?

Desenhar o som é representar num gráfico essas variações de pressão.



É como se tivéssemos um aparelho que riscasse num papel as variações de pressão provocadas pelo som.

Na prática esse aparelho não existe. Mas existem instrumentos eletrônicos e programas de computador que são capazes de criar esses gráficos para nós.



## Propriedades do som para sonorização

### Frequência sonora

É a velocidade da vibração, ou seja, o número de oscilações (vibrações) que um som realiza no ar, em 1 segundo. A frequência é medida em Hertz (Hz).

Exemplo: se um som tem uma frequência de 200 Hz, significa que ocorrem 200 vibrações (oscilações) a cada segundo.



### Não confundir ALTURA com INTENSIDADE

Altura (frequência) = grave, médio, agudo  
Intensidade (volume) = fraco, médio, forte

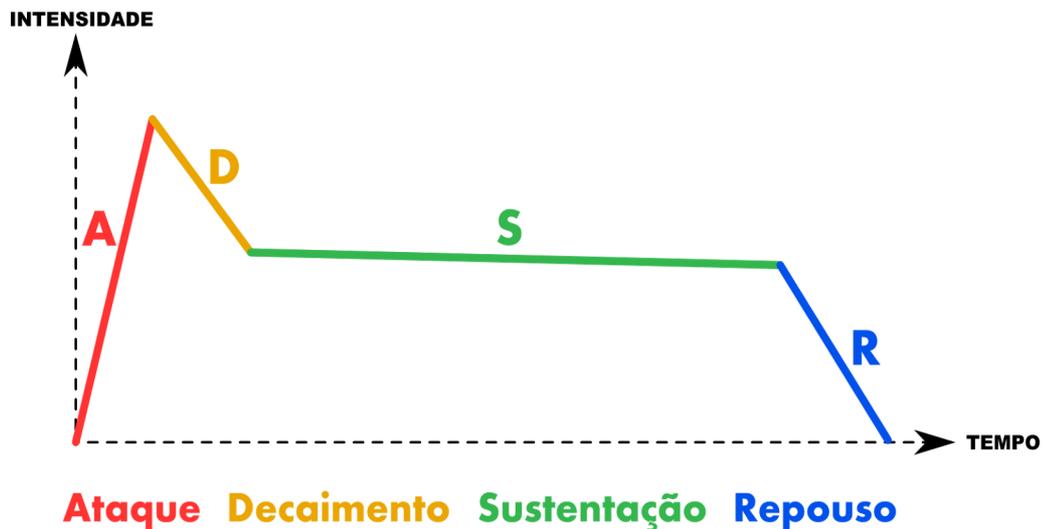
### Pressão sonora

É o termo utilizado em sonorização para designar a intensidade do som.

### Envelope

É a dinâmica de um som produzido por uma fonte sonora. Também chamado de envoltória do som. O envelope representa o “ciclo de vida” de um som; a forma como o som nasce, cresce, vive e morre.

Na figura abaixo temos uma representação genérica do envelope do som.



## Ataque

É a fase inicial do som. Quando o executante bate em um tambor, inicia uma arcada em um violino, sopra um clarinete, ele inicia o ataque. O tempo para ir do silêncio até a Intensidade total da nota pode variar. Instrumentos de sopro, por exemplo, podem produzir ataques muito suaves, com notas ligadas umas às outras (técnica conhecida como legato) ou notas de início brusco e totalmente separadas umas das outras (staccato). Instrumentos de corda com arco podem ter ataques muito suaves, fazendo uma única nota crescer do silêncio até uma intensidade muito elevada ao longo de vários segundos. Você pode notar as diferenças no ataque de cada gráfico na imagem acima, entre os instrumentos e também entre as notas de um mesmo instrumento.

## Decaimento

Em alguns casos, após o ataque o som sofre um decaimento de intensidade antes de se estabilizar. Em um instrumento de sopro, por exemplo, isso se deve à força inicial necessária para colocar a palheta em vibração, após o que, a força para manter a nota soando é menor e ocorre um decaimento até a intensidade desejada. Normalmente o decaimento é um fenômeno muito rápido (de alguns centésimos a menos de um décimo de segundo).

## Sustentação

Corresponde ao tempo de duração da nota musical. Na maior parte dos instrumentos este tempo pode ser controlado pelo executante. A intensidade é então mantida no mesmo nível, como as notas da trompa e da flauta nas imagens acima. Alguns instrumentos (principalmente os de percussão) não permitem controlar a duração. Em alguns casos o som nem chega a se sustentar e o decaimento inicial já leva o som diretamente ao seu repouso.

## Repouso

Final da nota, quando a intensidade sonora diminui até desaparecer completamente. Pode ser muito rápido, como em um instrumento de sopro, quando o instrumentista corta bruscamente o fluxo de ar ou quando a pele de um tambor é silenciada com a mão. Também pode ser muito lento, como em um gongo ou um piano com o pedal de sustentação acionado. Nestes casos a nota pode permanecer soando por vários segundos antes de desaparecer completamente.

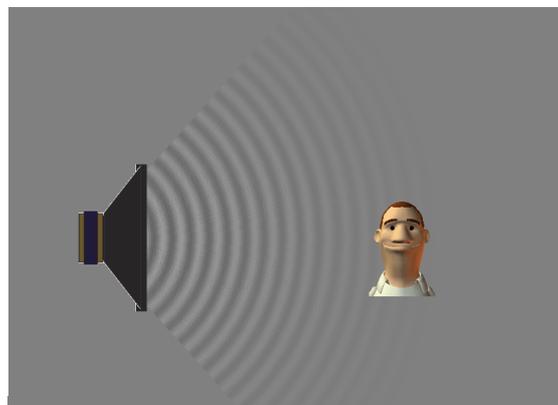
## Alguns exemplos

Na tabela a seguir temos alguns exemplos do ciclo de vida dos sons produzidos por algumas fontes sonoras.

Fonte Sonora	Ataque	Decaimento	Sustentação	Repouso
Cordas percutidas, palhetadas ou dedilhadas.	médio 0,01s	moderado	longa	suave
Sopros	lento 0,039s	leve	longa	curto
Violino	lento 0,045s	leve	longa	moderado
Percussão (pele)	rápido 0,007s	rápido	curtos e unificados	
Percussão (impacto)	muito rápido 0,004s	rápido	muito curtos e unificados	
Percussão (pratos)	rápido 0,007s	rápido	longos e unificados	
Voz	variados e dependentes da fonética			

## Ondas sonoras

As variações de pressão geradas por um corpo vibratório não ficam apenas em torno deste, mas se propagam pelo ar; a esta propagação damos o nome de onda sonora. O som não se propaga apenas no ar, mas também em qualquer outro meio material.



## Fontes sonoras

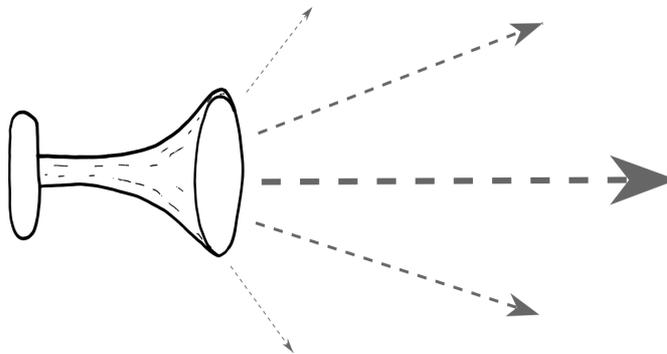
### Direcionalidade das fontes sonoras

Apesar de ser verdade que o som se propaga em todas as direções, as fontes sonoras têm suas formas próprias de emitir o som em alguma direção. Chamamos isso de DIRECIONALIDADE.

Quanto mais direcional é uma fonte sonora, maior é a concentração da potência sonora em uma determinada direção.

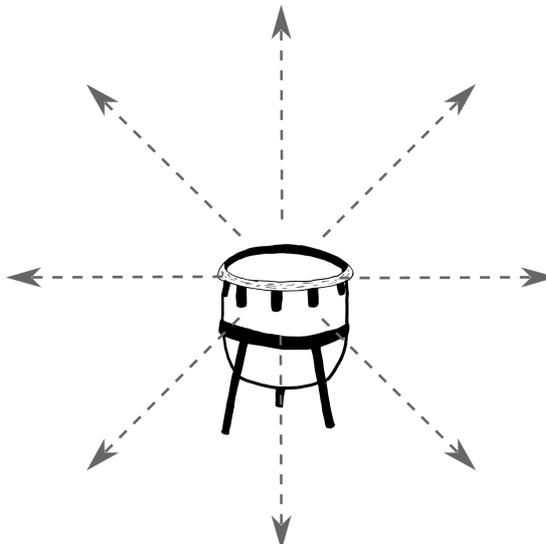
#### Direcional

Uma fonte sonora é considerada direcional quando é capaz de produzir mais som em alguma direção.



#### Omnidirecional

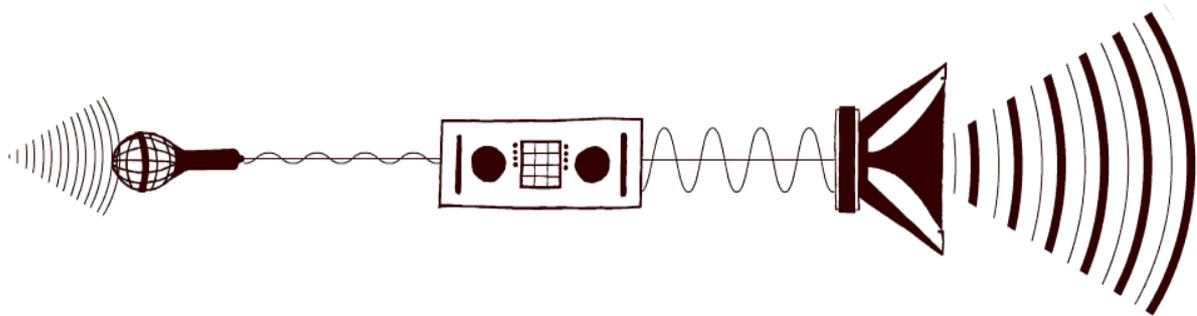
Quando uma fonte sonora emite o som em todas as direções, dizemos que ela é omnidirecional.



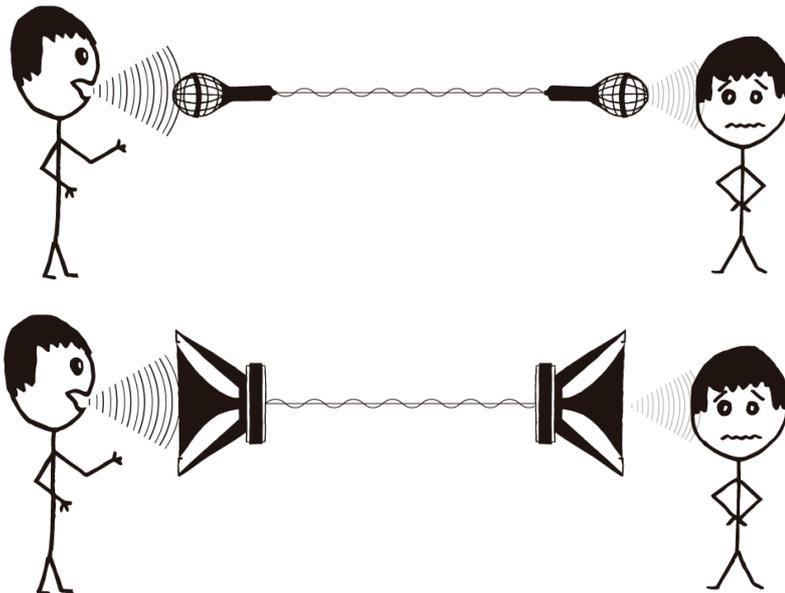
## Transdutores

Transdutores são conversores de energia, ou seja, são aparelhos que recebem um tipo de energia e transformam em outro tipo.

Em sonorização os principais exemplos de transdutores são o microfone e o alto falante. Esses componentes são chamados de transdutores eletro acústicos, porque transformam energia elétrica em energia acústica e vice-versa.



Apesar de um microfone ser projetado para receber energia acústica e entregar energia elétrica, o caminho inverso também funciona, embora com baixo rendimento. O mesmo acontece com os alto-falantes.



# Medindo o som

## Nível de Pressão Sonora (SPL)

Sigla: **S**ound **P**ressure **L**evel, ou nível de pressão sonora.

Nível de pressão sonora é a medida da intensidade do som, ou seja, é a potência do som expressa em números. A potência de um som é medida em Watts acústicos.

Em termos de Watts, os sons geralmente tem uma potência bem pequena. Para se ter uma ideia, saiba que uma pressão sonora de apenas 1Watt acústico já causa dor e prejudica nosso aparelho auditivo.

Vejamos alguns exemplos de intensidade em Watts acústicos de algumas fontes sonoras.

Fonte sonora	Potência média
Britadeira a 2 metros de distância	1 Watt
Trovão	0,1 Watts
Show de Rock	0,1 Watts
Trânsito de rua movimentada	0,000 1 Watts
Linha de produção de uma fábrica	0,000 01 Watts
Rua silenciosa	0,000 000 01 Watts
Limiar de audição	0,000 000 000 001 Watts

O limiar de audição é como chamamos a potência acústica mais fraca que o ouvido humano consegue ouvir, e isso para as pessoas que tem uma excelente audição.

Um detalhe importante: Você percebeu como as potência acústicas são números muito pequenos e com uma enorme quantidade de zeros à esquerda?

Como podemos observar, a faixa de potência em Watts que o ouvido percebe é muito grande. A menor potência que conseguimos ouvir é de um trilionésimo de Watt (0,000 000 000 001W), enquanto que um som de potência de 1 Watt já é prejudicial aos ouvidos. Ou seja, a diferença de potência entre o som mais fraco e o mais forte que ouvimos é de 1 trilhão de vezes.

Essa enorme diferença torna difícil utilizar o Watt para expressar as potências dos sons que ouvimos, seria melhor trabalhar com números de proporções menores. Existe um outro sistema de medida que resolve esse problema: **o decibel (dB)**.

Vejamos como fica em decibéis o nível de pressão sonora das mesmas fontes que vimos anteriormente.

Fonte sonora	Nível de pressão sonora
Britadeira a 2 metros de distância	120 dB
Trovão	110 dB
Show de Rock	110 dB
Trânsito de rua movimentada	80 dB
Linha de produção de uma fábrica	70 dB
Rua silenciosa	40 dB
Limiar de audição	0 dB

Medindo os níveis de pressão sonora em decibéis temos uma faixa numérica mais comprimida. Isso é possível porque o sistema de decibéis é baseado em razões e logaritmos. Logaritmo é uma forma de reduzir faixas grande de números. Não assuste com essa palavra, o sistema em decibéis já cuidou de toda essa matemática para nós.

O sistema de decibéis é comparativo, ou seja, os números em decibéis estão sempre relacionados a um determinado valor de referência. Esse valor de referência passa a ser representado pelo “zero dB”.

Para entender melhor tudo isso, vamos ver como o decibel pode ser utilizado para expressar níveis de potência elétrica.

Quando usamos esse sistema para comparar potências elétricas nosso valor de referência será 1 Watt, ou seja, 1 W será o nosso 0 dBW. Acrescentamos a letra W à unidade dB para deixar claro que os decibéis nesse caso estão tendo 1 W como valor básico de referência.

Na tabela a seguir temos os níveis em dB W de zero até 120 dB W.

Nível em dBW	Potência em Watts
0	1
1	1,3
2	1,6
3	2
4	2,5
5	3,2
6	4
7	5
8	6
9	8
10	10
11	12
12	16
15	32
18	64
20	100
30	1 000
40	10 000
50	100 000
60	1 000 000
70	10 000 000
80	100 000 000
90	1 000 000 000
100	10 000 000 000
110	100 000 000 000
120	1 000 000 000 000

## Regras dos decibéis

Para trabalhar com decibéis em sonorização, precisamos ter em mente as seguintes regras básicas

### Regra dos 3 dB

- A. Um aumento de 3 dB representa o dobro da pressão sonora ou da potência elétrica.
- B. Uma redução de 3 dB representa a metade da pressão sonora ou da potência elétrica.
- C. O ouvido humano dificilmente percebe diferenças de intensidade menores que 3 dB.

### Regra dos 6 dB

- A. O nível de pressão sonora diminui em 6 dB cada vez que a distância até a fonte sonora dobra.
- B. O nível de pressão sonora aumenta em 6 dB cada vez que a distância até a fonte sonora diminui para a metade.

### Regra dos 10 dB

- A. Um aumento de 10 dB representa 10 vezes MAIS de pressão sonora ou da potência elétrica.
- B. Uma redução de 10 dB representa 10 vezes MENOS de pressão sonora ou da potência elétrica.
- C. Para que nosso ouvido tenha a sensação de que a intensidade do som dobrou, é necessário um aumento de 10 dB na pressão sonora.



Observe novamente a tabela anterior com os decibéis e procure identificar esses valores.

## Regra do 0 dB nos equipamentos de som

- A. Como o sistema em decibéis é comparativo onde o valor de referência é definido como zero decibéis, a marca de 0 dB nos botões de controle dos equipamentos de som indica a posição em que a intensidade do sinal de áudio (som) não está sendo modificada.
- B. A marca de 0 dB nos displays ou mostradores dos equipamentos de áudio indicam o nível operacional normal desse equipamento.

## Eletricidade básica para sonorização

Precisamos conhecer alguns conceitos básicos de eletricidade para compreender mais profundamente o funcionamento dos transdutores, para aprender sobre sinal de áudio, interligação de equipamentos, instalação de caixas acústicas e tudo o que estiver relacionado ao som enquanto eletricidade.

- A. Corrente elétrica é um fluxo de elétrons passando por um condutor (caminho). Ela é produzida pela diferença de potencial ou tensão (quantidade de elétrons livres) entre duas regiões.
- B. Corrente contínua é um fluxo constante de elétrons caminhando sempre no mesmo sentido.

- C. Corrente Alternada é um fluxo de elétrons que muda constantemente de direção devido à alternância da polaridade.
- D. Um sinal de áudio é uma Corrente Alternada.

## Por que as coisas queimam?

- A. O que faz as coisas queimarem é a passagem de um fluxo de corrente elétrica maior do que o planejado.
- B. O que controla a passagem do fluxo de corrente elétrica é a resistência que os equipamentos elétricos impõem, limitando assim a passagem da corrente.
- C. Ligar um aparelho em uma voltagem menor do que o esperado impossibilita que o aparelho funcione bem.
- D. Ligar um aparelho em uma voltagem maior do que o esperado, danifica o aparelho.

## Impedância

Impedância é a oposição total que um circuito elétrico oferece à passagem da corrente elétrica.

Os componentes da impedância são: Resistência, Capacitância e Indutância.

- A. Indutância ou Bobina é o componente da impedância que bloqueia a passagem de altas frequências de corrente alternada.
- B. Capacitância ou Capacitor é o componente da impedância que bloqueia a passagem de baixas frequências de corrente alternada
- C. Resistência ou Resistor é o componente da impedância que oferece igualmente oposição para qualquer tipo de corrente

Esses 3 fenômenos são a base do funcionamento dos divisores de frequência e atenuadores das caixas acústicas (divisor de frequência é um componente utilizado para separar o espectro de áudio em faixas de frequências graves, médios e agudos).

## Elementos de áudio

### Espectro de Áudio

- A. Faixa de áudio - É a faixa entre a menor e a maior frequência sonora que conseguimos ouvir.
- B. Curva Loudness - É a curva (gráfico) de audibilidade dos nossos ouvidos.
- C. Tessitura - É faixa de frequência que um instrumento musical ou voz produz.
- D. Resposta de frequência - É a faixa útil de frequência de um transdutor eletro acústico.



#### **Dica importante para quem trabalham com sonorização**

Fazer regularmente "Audiometria" com um médico Otorrinolaringologista.

- Exame simples e indolor;
- Possui duração de aproximadamente 40 minutos em adultos;
- Recomenda-se uma boa noite de sono e repouso acústico;
- Evite ambientes ruidosos cerca de 14 horas antes do procedimento.

## Faixa dinâmica

É a variação máxima de intensidade de um programa sonoro, ou seja, é a diferença em dB entre a maior e a menor intensidade desse programa.

- A. Varia com o estilo musical.
- B. Varia com o tipo de instrumento.
- C. Varia com o estilo do orador.
- D. É controlada e comprimida nos processos de mixagem e masterização musical.
- E. Obriga o operador de som a ficar prestando atenção no volume.
- F. É um fator determinante no dimensionamento da potência necessária ao sistema de som.

## Fator de Crista - Headroom

É a margem entre o nível médio do programa sonoro e os picos e transientes de intensidade.

Em sonorização profissional o fator de crista mínimo deve ser de 10 dB, podendo chegar à 20 dB.

### **Problemas ao não deixar essa margem disponível**

- A. Distorções harmônicas.
- B. Desestabilização dos divisores de frequência.
- C. Sobrecarga e dano dos componentes da caixa acústica.
- D. Diminuição da inteligibilidade.

## Níveis de Sinais

No caminho que o som faz desde sua captação até a reprodução nos alto falantes há várias etapas e em cada uma delas o sinal de áudio (que na verdade é uma corrente alternada) tem um nível particular em termos de tensão elétrica (voltagem).

Como quase tudo em sonorização, o nível de sinal também é medido em decibéis (dBu ou dBv); para isso o valor de referência utilizado é 0,775V.

- A. Zero dBu = 0,775 Volts.
- B. Existem três classificações de nível de sinal:
  - a. Baixo nível - microfones, instrumentos com captação passiva.
  - b. Nível de linha - instrumentos eletrônicos ou com captação ativa, tocadores e equipamentos de áudio em geral.
  - c. Alto nível - saída de potência dos amplificadores.

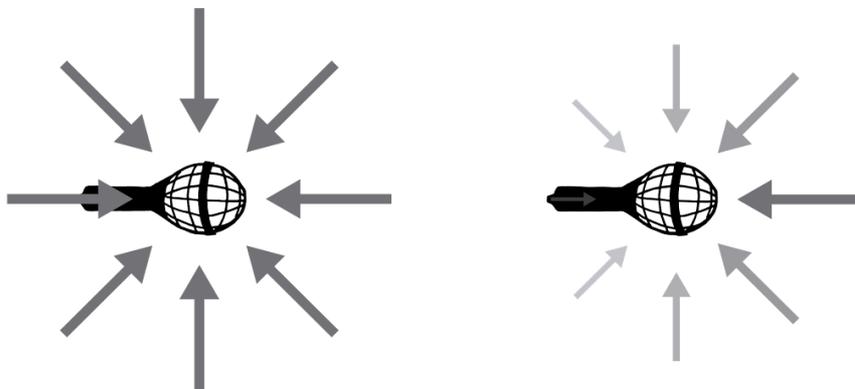
## Microfones

Não é exagero dizer que tudo que é bom ou ruim num sistema de som começa no microfone, por isso é de fundamental importância que o técnico de som, os cantores e os instrumentistas de instrumentos acústicos considerem qualquer gasto com microfones como um bom investimento. Os microfones são de diversos tipos e específicos para determinadas utilizações; sendo assim, não é só o preço do microfone que conta na hora da escolha mas principalmente as características de cada modelo e a finalidade a que se destina.

Para o técnico de som é de grande proveito visitar os sites dos principais fabricantes para conhecer os modelos e tipo de aplicação dos microfones antes de fazer uma compra. Todos os fabricantes de renome disponibilizam nos seus sites vasto material sobre as características dos seus produtos e muitas informações gerais sobre utilização de microfones. Com certeza um dos melhores lugares para aprender sobre microfones e técnicas de microfonação seja os sites dos fabricantes.

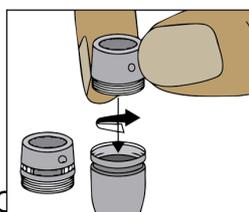
## Diretividade

Diretividade é a característica que um microfone tem de captar melhor os sons vindos de determinadas direções. De forma geral, quanto à diretividade, podemos classificar os microfones em 2 grupos: microfones direcionais e microfones omnidirecionais. Direcionais são aqueles que captam melhor os sons vindos de direções específicas, enquanto que os omnidirecionais são aqueles que captam igualmente sons vindos de qualquer direção.



Existe uma pergunta muito comum sobre a escolha dos microfones: Qual a vantagem dos microfones direcionais e omnidirecionais? Não se trata de vantagem ou desvantagem. A escolha da diretividade tem haver com o tipo de aplicação a que se destina o microfone.

De modo geral os microfones direcionais são utilizados para captação individual e os omnidirecionais para captação ampla ou de ambiente. Exceção aos microfones de lapela, que são utilizados para captação individual mais são omnidirecionais.



Um dos fatores que torna um microfone omnidirecional ou direcional é o invólucro da cápsula de captação. Existem até

microfones que vêm com acessórios que são encaixados no invólucro para mudar o tipo de diretividade do mesmo.

Por esse motivo cobrir o invólucro com a mão altera a diretividade do microfone, podendo provocar microfonia.



**ERRADO**



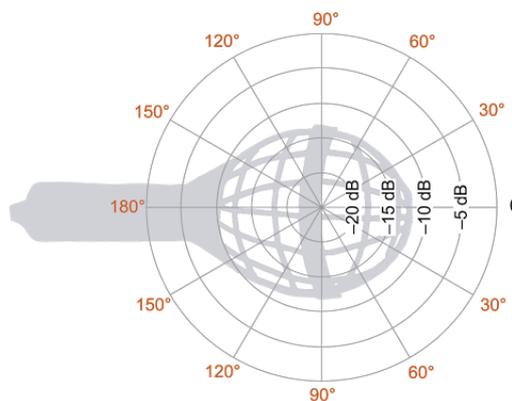
**CERTO**

A espuma “anti puff” só deve ser utilizada quando o microfone é utilizado muito próximo da boca.



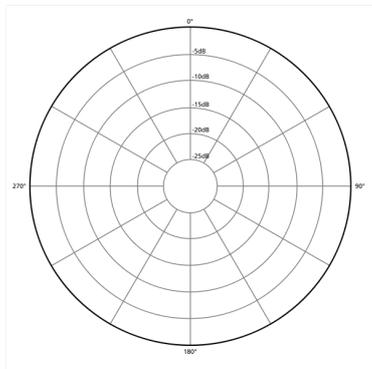
## Diagrama polar

Diagrama polar é um gráfico que representa como um microfone responde aos sons provenientes de cada ângulo em torno dele.

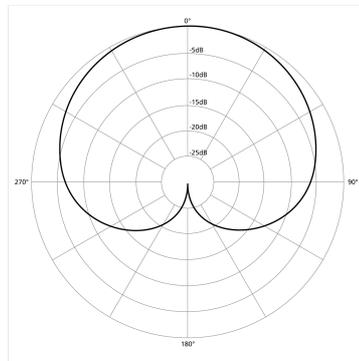


## Padrões polares

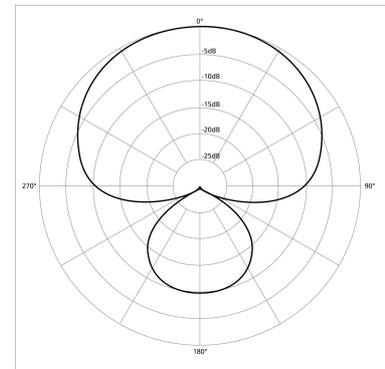
Podemos também classificar os microfones de acordo com o formato do seu diagrama polar. Essa classificação quanto ao diagrama polar é conhecida como padrão polar do microfone.



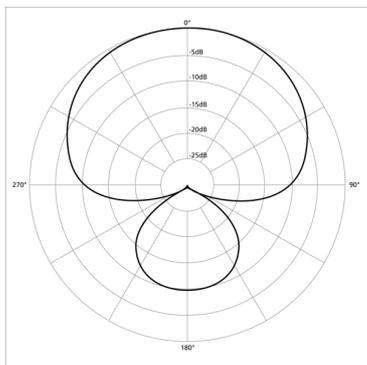
**Omnidirecional**



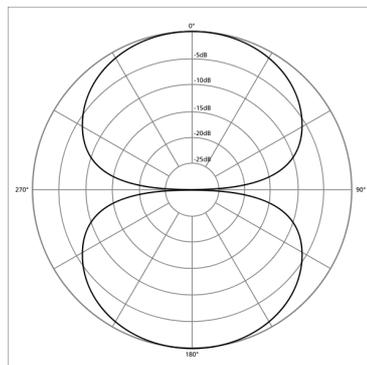
**Cardioide**



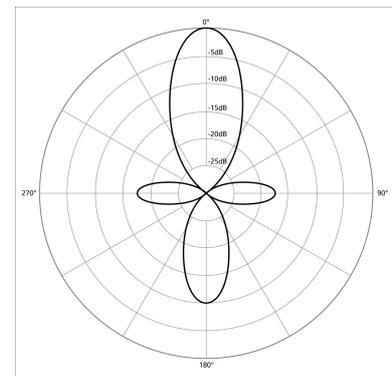
**Supercardioide**



**Hipercardioide**



**Bidirecional**



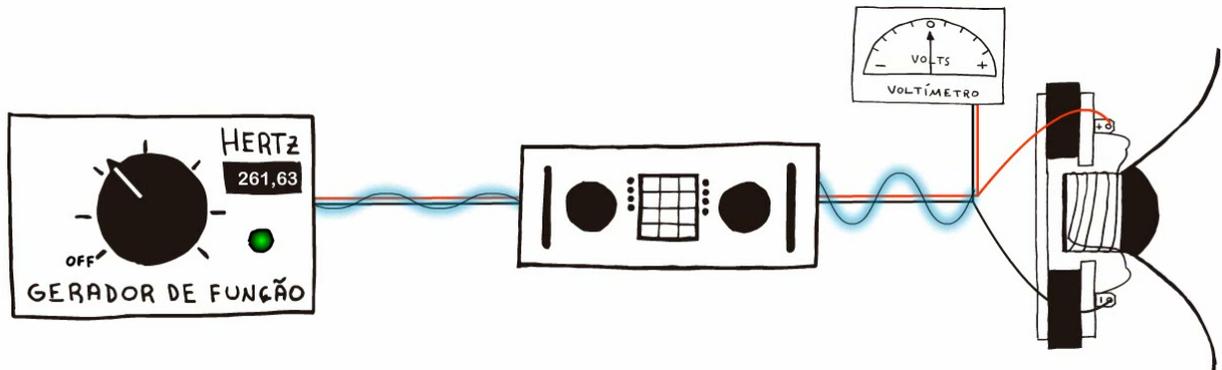
**Shotgun**

Alguns tipos de microfone, utilizados principalmente em estúdio, possuem com uma chave para mudar o padrão polar.



## Alto-falantes

Alto-falantes são transdutores eletroacústicos ou seja, conversores de energia que convertem energia elétrica em energia acústica (som).



## Tipos de alto-falantes

Fisicamente, um alto-falantes não consegue reproduzir todas as frequências da faixa de áudio (20 à 20.000 Hz) pois as características físicas exigidas para que um corpo vibrante produza sons agudos são opostas às de um corpo que produz vibrações graves.

Todos nós já percebemos que as cordas de um violão são mais finas para as notas mais agudas e mais grossas para as notas mais graves, um trompete produz sons mais agudos que uma tuba devido ao fato de ter tubulações mais curtas e assim por diante. Da mesma forma, um alto-falantes precisa ter um cone grande e pesado para que possa reproduzir sons graves enquanto que para reproduzir sons agudos as dimensões e o peso do cone devem ser necessariamente menores. Por esse motivo são fabricados alto-falantes específicos para reproduzir sons graves, médios ou agudos.

### Alto-falante para frequências graves - woofer - (40Hz - 1.000Hz)

São de cone e bobina móvel, cone com de 8, 10, 12 ou 15 polegadas de diâmetro.



### Alto-falantes para médias frequências - midrange - (200Hz - 7.000Hz)

Podem ser de cone e bobina móvel com cone de 3, 4, 5 ou 6 polegadas de diâmetro ou drivers de compressão com corneta acoplada.

Os drives utilizam, em lugar do cone, um diafragma de material resistente e muito leve (geralmente fenolite).



### Alto-falantes para altas frequências - tweeter - (5.000Hz - 20.000Hz)

Podem ser de cone e bobina móvel com cone de 1 à 3 polegadas de diâmetro, drivers de compressão ("super -tweeter") ou pizo-elétricos.



### Drives de resposta estendida

São drivers com resposta de frequência de 2.000Hz a 20.000Hz. Seus diafragma é geralmente de titânio.



## Especificações técnicas principais dos Alto falantes

- Frequência de ressonância ( $F_s$ ) - Hz: Frequência a partir da qual o alto-falante apresenta rendimento satisfatório.
- Sensibilidade (1W/1m) - dB SPL: Pressão sonora produzida pelo alto-falante a 1 metro de distância, no eixo axial, quando alimentado com 1 Watt de potência.
- Impedância nominal - Ohms: Impedância atribuída pelo fabricante para fins de casamento de impedâncias entre amplificadores e alto-falantes.
- Potência real (RMS) - Watts: De acordo com a norma NBR10303 que utiliza ruído rosa, com filtro específico, durante 2 horas ininterruptas.
- Resposta de frequência: Faixa de frequência que o alto-falante reproduz satisfatoriamente.

## Caixa Acústica

Como vimos anteriormente, não existe alto-falante capaz de reproduzir satisfatoriamente todas as frequências da faixa de áudio, por isso, para que tenhamos um sistema de reforço que reproduza todas elas, será necessário a combinação de alto-falantes específicos para cada frequência. Uma das funções de uma caixa acústica é combinar de forma adequada a resposta dos alto-falantes e suas sensibilidades afim de que a reprodução de todas as frequências seja alcançada. Além disso, a caixa acústica interage com os alto-falantes de grave para permitir e “controlar” a reprodução das baixas frequências.

Um alto-falante de graves fora da caixa acústica, não reproduz as baixas frequências devido ao cancelamento de fase que ocorre entre as ondas sonoras produzidas pela frente e por trás do alto-falante. Quando bem projetada, a caixa acústica reforça e controla os graves naturais do alto-falante.

## Especificações técnicas principais

- Frequência de ressonância ( $F_s$ ) - Hz: Frequência a partir da qual a caixa acústica apresenta rendimento satisfatório.
  - Sensibilidade (1W/1m) - dB SPL: Pressão sonora produzida pela caixa acústica a 1 metro de distância, no eixo axial, quando alimentada com 1 Watt de potência.
  - Impedância nominal - Ohms: Impedância atribuída pelo fabricante para fins de casamento de impedâncias entre amplificadores e caixas acústicas.
- Potência real (RMS) - Watts: De acordo com a norma NBR10303 que utiliza ruído rosa, com filtro específico, durante 2 horas ininterruptas.
- Resposta de frequência: Faixa de frequência que a caixa acústica reproduz satisfatoriamente.
- Ângulos de cobertura horizontal e vertical (HxV): O ângulo de cobertura é aquele que determina um setor de círculo formado pelo centro acústico da caixa acústica no vértice central e pelos pontos laterais onde o nível de pressão sonora cai 6 dB. Os sons

agudos são bem direcionais, os médios menos, e os graves pouco direcionais, isso significa que a cobertura de uma caixa acústica é bem maior para os sons graves que para os agudos.

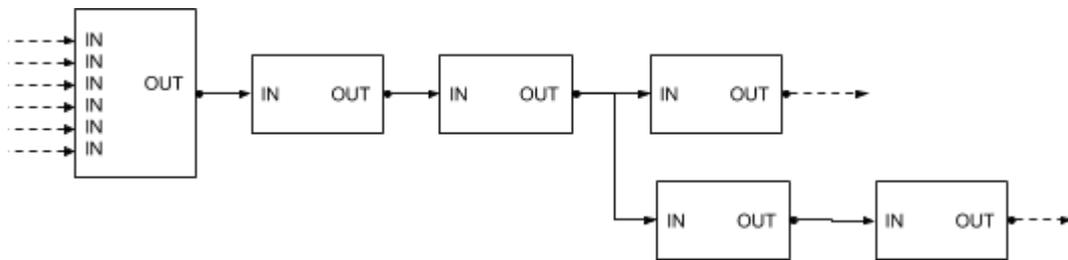
## Fatores de qualidade das caixas acústicas

- Alto falantes de boa qualidade
- Resposta uniforme
- Ajuste da sensibilidade dos alto falantes
- Divisor de frequência bem projetado
- Graves naturais (bass reflex bem sintonizados)

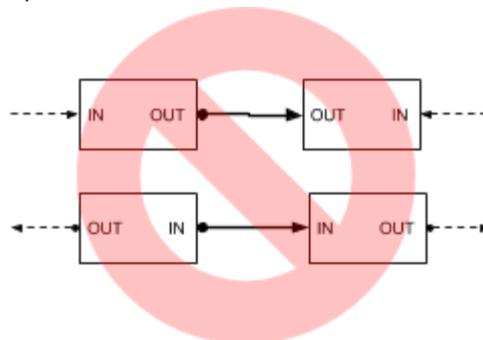
## Amplificadores e caixas acústicas

### Entrada e saída

No caminho do som desde a captação até a reprodução, o sinal de áudio passa por vários equipamentos que estão interligados. Mas como o sinal passa de um equipamento para o outro? Através das entradas (IN) e saídas (OUT) desses equipamentos. Para interligarmos equipamentos conectamos a saída de um na entrada do próximo no caminho do sinal de áudio (IN - OUT).

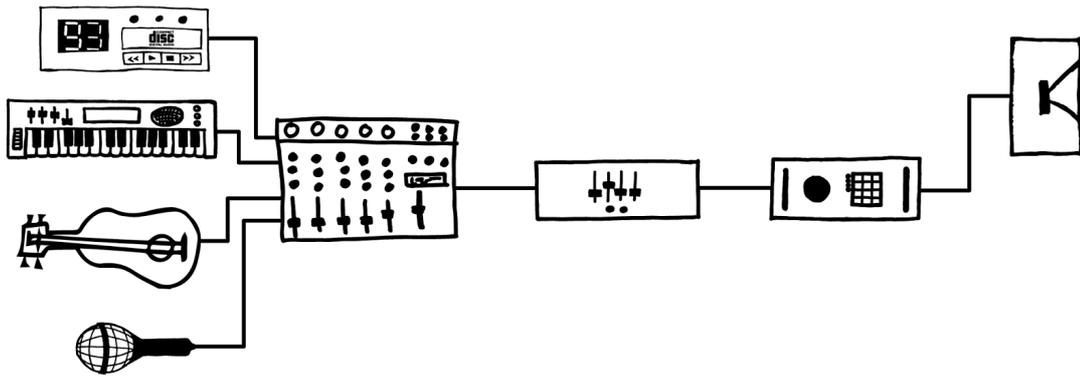


Não é demais enfatizar que nunca se conecta uma entrada na outra (IN - IN) e nem saída com saída (OUT - OUT).

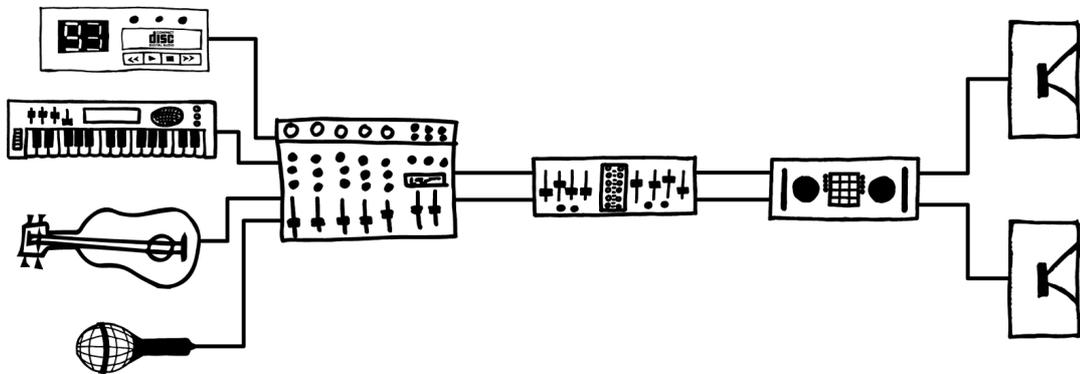


### Mono e estéreo

Sistema de som monofônico (mono) é aquele em que todo o programa sonoro caminha pelo mesmo sinal de áudio.

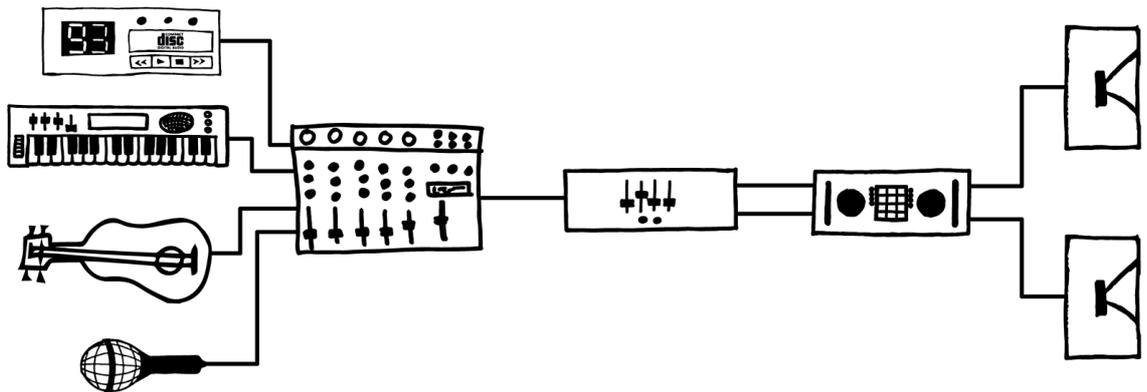


Para criar uma sensação espacial ao ouvinte surgiu o sistema de som estereofônico (estéreo), onde um programa sonoro é dividido em dois sinais de áudio diferentes. Num sistema estereofônico temos um sinal de áudio específico para o ouvido direito e outro para o ouvido esquerdo.



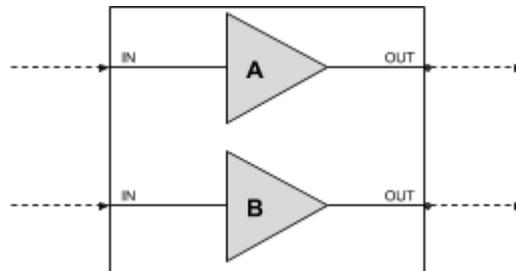
Mas o que faz realmente o som estéreo não é a presença de reproduzores sonoros um de cada lado, e sim o fato de que os sinais de áudio esquerdo e direito *contenham porções diferentes do programa sonoro*. Então, mesmo que um sistema de som possua um canal direito e esquerdo, ainda assim o sistema só será estereofônico se o sinais de áudio reproduzidos em cada canal forem diferentes.

Na figura abaixo está representado um sistema pseudo estéreo (parece estéreo mas na verdade é mono).



## Amplificadores mono e estéreo

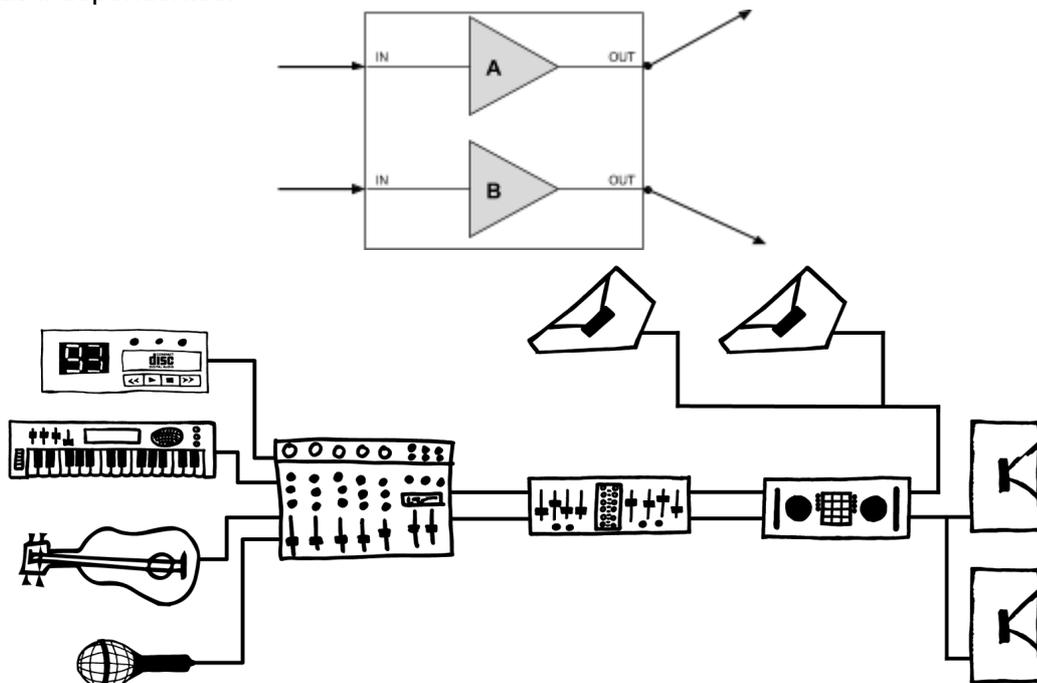
“Não existe” amplificador estéreo. O que chamamos amplificador estéreo é na verdade um equipamento que combina em si dois amplificadores monofônicos.



Um amplificador “estéreo” pode ser utilizado de quatro formas: monos separados, pseudo estéreo, estéreo e bridge.

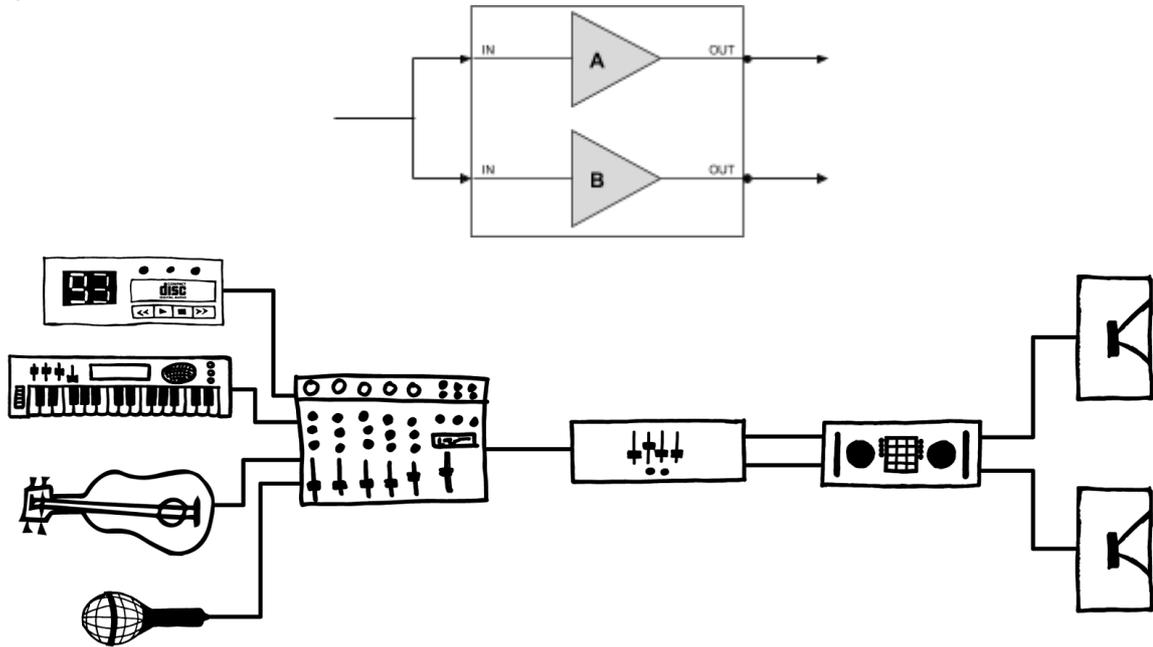
### Monos separados

Nessa configuração utilizamos cada canal como um amplificador mono para amplificar sistemas independentes.



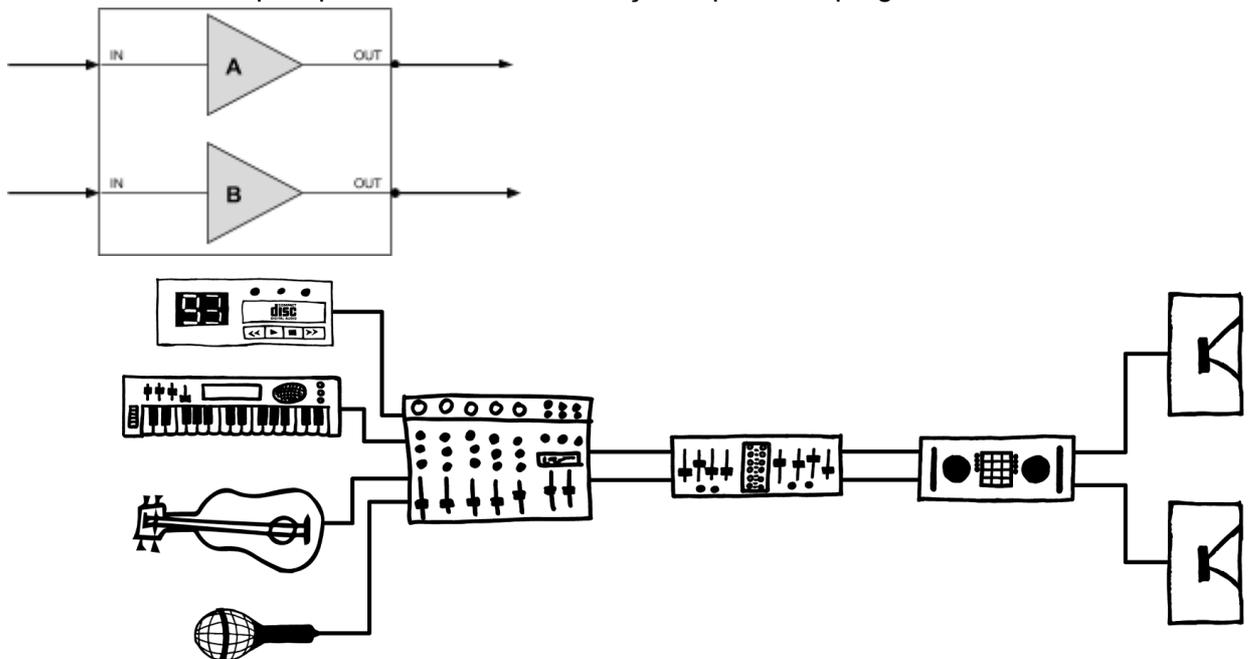
### Pseudo estéreo

É o caso em que utilizamos o amplificador como um sistema estereofônico, mas o sinal amplificado é monofônico.



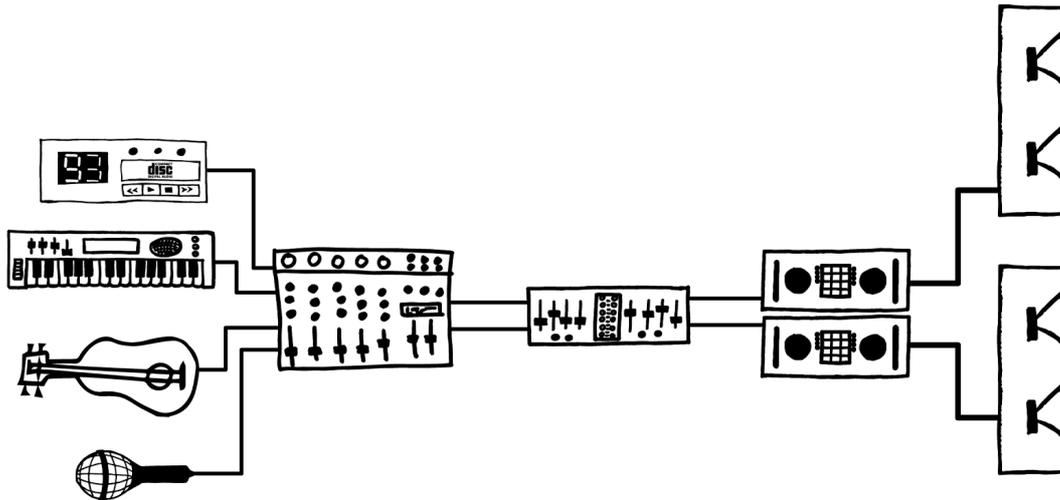
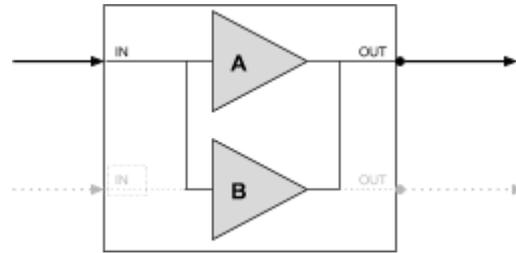
### Estéreo

Neste caso estamos trabalhando realmente com um sinal estereofônico, onde cada canal do amplificador reproduz um dos “lados” do sinal. Além disso ambos os canais devem estar sendo ouvido pelo público, criando a sensação espacial do programa sonoro.



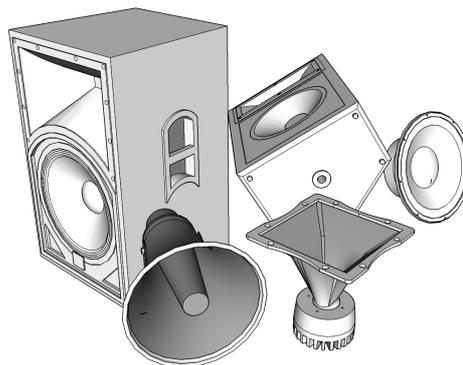
## Bridge

Alguns amplificadores estéreo permitem que seus canais de potência sejam combinados para formar um único amplificador mono, com potência dobrada.



## Impedância de carga e potência

Qualquer projetor de som<sup>1</sup> ligado à saída de um amplificador é chamado genericamente de carga.



Nas especificações técnicas dos amplificadores encontramos os valores de impedância de carga que podem ser utilizadas com o aparelho.

Geralmente encontramos dois ou mais valores de impedância da carga.

<sup>1</sup> Projetor de som também é um termo genérico para definir qualquer transdutor eletro acústico que produz som: alto falante, caixa acústica, driver, etc...

Na tabela a seguir temos as especificações técnicas de um determinado amplificador.

Potência máxima (RMS)	2 x 850W em 4Ω 2 x 550W em 8Ω
Sensibilidade de entrada	+4dBu (1,23V)
Impedância mínima de carga	4Ω
Modos de operação	Estéreo Paralelo (entrada) Bridge

É de fundamental importância observar qual é a impedância mínima de carga, porque é trabalhando com este valor que o amplificador nos fornecerá sua potência máxima.

## Potência máxima fornecida

Como vimos, a potência máxima fornecida por um amplificador depende da impedância de carga.

Quando um amplificador trabalha com uma carga com impedância maior que a mínima especificada, a potência fornecida nunca será a potência máxima desse amplificador. Por outro lado, se na saída do amplificador for ligada uma carga com impedância menor que a mínima especificada os estágios de saída do aparelho sofrem uma sobrecarga e são danificados. Por isso, alguns amplificadores têm dispositivos de proteção que “desligam” a saída quando há sobrecarga de potência.

Na tabela abaixo temos exemplos dessa relação entre impedância de carga e potência máxima fornecida para um amplificador de potência total 100W e impedância mínima de 4Ω. Neste exemplo, os valores de potência fornecida são os que teríamos num amplificador ideal, pois na prática a potência máxima fornecida não é tão proporcional à impedância de carga..

<b>Especificações técnicas</b> Potência máxima: 100W RMS. Impedância de carga: 4Ω e 8Ω.		
<b>Impedância da carga</b>	<b>Potência máxima fornecida</b>	<b>Resultado</b>
2Ω	200 W	sobrecarga e “queima” <sup>2</sup> .
4Ω	100 W	a potência máxima é fornecida.
8Ω	50 W	apenas metade da potência é fornecida.

## Ligação de caixas acústicas

- Por que combinar projetores de som.
- Tipos de ligação.
- Resultados de cada tipo de ligação.
- Quando utilizar cada caso.

<sup>2</sup> Teoricamente o amplificador vai tentar fornecer 200 Watts.

Difícilmente um sistema de som possui apenas uma caixa acústica. Para sonorizar qualquer ambiente precisaremos combinar vários projetores de som. Existem inúmeras combinações possíveis, mas a finalidade de todas elas é nos proporcionar as qualidades desejadas no sistema de som. Você lembra quais são as qualidades desejadas no sistema de som?

1. Nível adequado.
2. Inteligibilidade.
3. Cobertura sônica.
4. Fidelidade.

Se fosse possível com um único projetor de som suprimos todos esses itens, não haveria necessidade de fazer combinações e tudo seria muito mais simples.

Quando combinamos dois ou mais projetores de som, temos como resultado um conjunto com especificações diferentes do que cada projetor individualmente. Mas o que muda?

- Potência total.
- Impedância resultante.
- Sensibilidade resultante.
- Resposta de frequência.
- Cobertura sônica resultante.

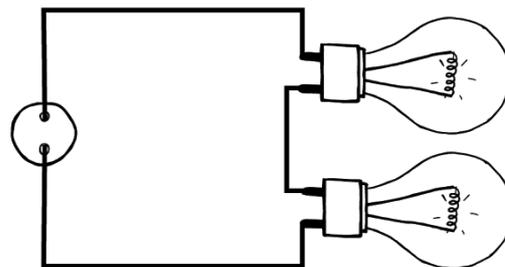
Antes de entrarmos em mais detalhes sobre os resultados da combinação de projetores de som veremos a seguir uma tabela genérica sobre esses resultados.

Parâmetro	Resultado
Potência total	Maior
Impedância	Maior, Menor ou não muda
Sensibilidade	Maior ou não muda
Resposta de frequência	Maior ou não muda
Cobertura sônica	Maior ou não

O resultado das combinações para cada um desses parâmetros depende do tipo de ligação e do posicionamento desses projetores de som.

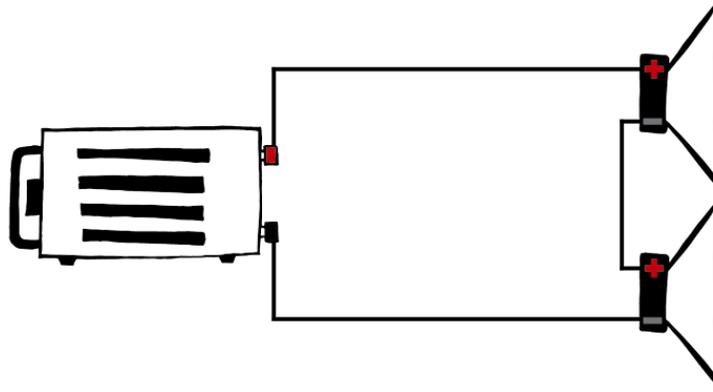
## Ligação em série

Ligação em série é aquela em que todo o fluxo de corrente elétrica passa por um mesmo caminho, não se dividindo em nenhum ponto do circuito.



Na figura vemos que as lâmpadas estão associadas uma em seguida da outra.

Da mesma forma é feita a ligação em série dos projetores de som.



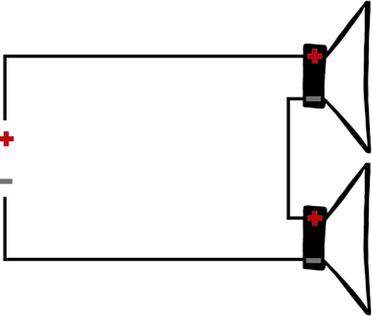
### Cuidados especiais

- Os projetores de som devem ter a mesma potência, impedância nominal e sensibilidade.
- Deve-se ligar o terminal negativo do primeiro no positivo do segundo, e assim por diante; caso contrário ocorrerá cancelamento de fase entre as ondas sonoras produzidas.

### Resultados da ligação em série

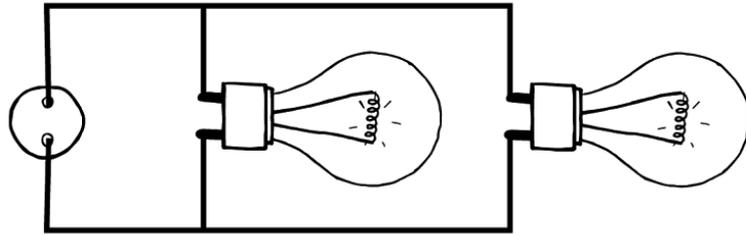
- Em todos os projetores de som a intensidade da corrente que circula é a mesma.
- A potência resultante é a soma das potências individuais.
- A impedância resultante é a soma das impedâncias individuais.
- A sensibilidade resultante não aumenta.

A seguir temos um exemplo de ligação série e suas resultantes.

			
Especificações de cada projetor de som			
Potência RMS	Impedância nominal	SPL / W / m	Max SPL
100 Watts	8 Ohms	95 dB	115 dB
Especificações resultantes			
Potência RMS	Impedância nominal	SPL / W / m	Max SPL
200 Watts	16 Ohms	95 dB	118 dB

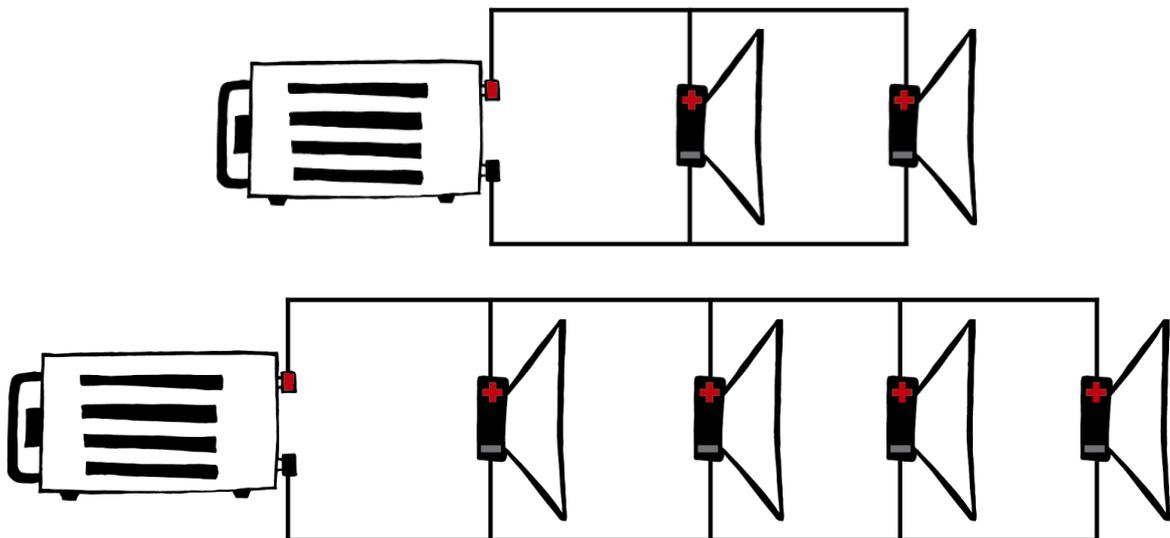
## Ligação em paralelo

Na ligação em paralelo o fluxo de corrente elétrica é dividido em algum ponto do circuito, se encontrando posteriormente.



Na figura vemos que os terminais das duas lâmpadas estão agrupados.

Assim também é feita a ligação em paralelo dos projetores de som.



## Cuidados especiais

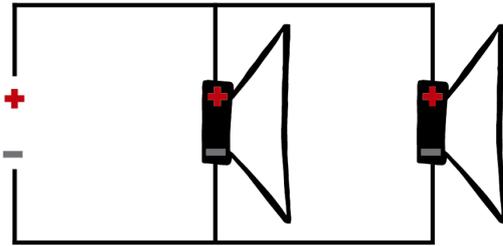
- Os projetores de som devem ter a mesma potência, impedância nominal e sensibilidade<sup>3</sup>.
- Teoricamente podemos ligar inúmeros projetores em paralelo, mas para fins de casamento de impedância o comum é ligarmos dois ou quatro.
- Os terminais positivos são ligados entre si, bem como os negativos.

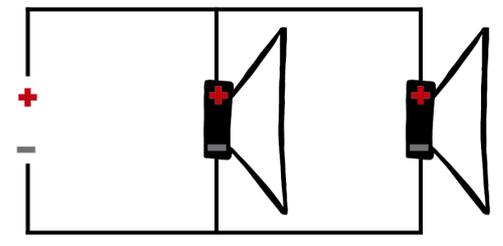
## Resultados da ligação em paralelo

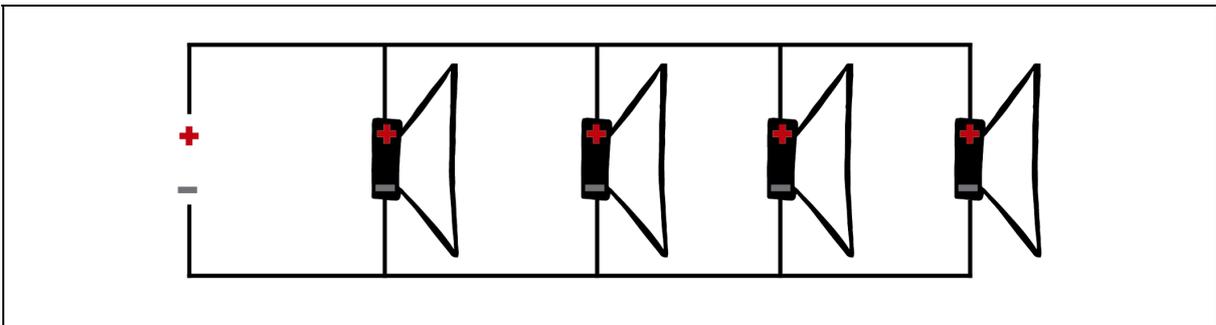
- Cada projetor de som recebe uma parte da corrente elétrica.
- A potência resultante é a soma das potências individuais.
- A impedância resultante é menor do que qualquer das impedâncias individuais
- A sensibilidade resultante aumenta.

<sup>3</sup> Aqui estamos tratando de caixas acústicas como um projetor de som completo. Porém, dentro das caixas acústicas os componentes internos são interligados por meio de um divisor de frequência e não têm necessariamente a mesma impedância, potência e sensibilidade.

Nas figuras seguintes temos exemplos de diversas ligações em paralelo e suas resultantes:

			
Especificações de cada projetor de som			
Potência RMS	Impedância nominal	SPL / W / m	Max SPL
100 Watts	8 Ohms	95 dB	115 dB
Especificações resultantes			
Potência RMS	Impedância nominal	SPL / W / m	Max SPL
200 Watts	4 Ohms	98 dB	121 dB

			
Especificações de cada projetor de som			
Potência RMS	Impedância nominal	SPL / W / m	Max SPL
90 Watts	8 Ohms	99 dB	118,5 dB
Especificações resultantes			
Potência RMS	Impedância nominal	SPL / W / m	Max SPL
180 Watts	4 Ohms	102 dB	124,5 dB

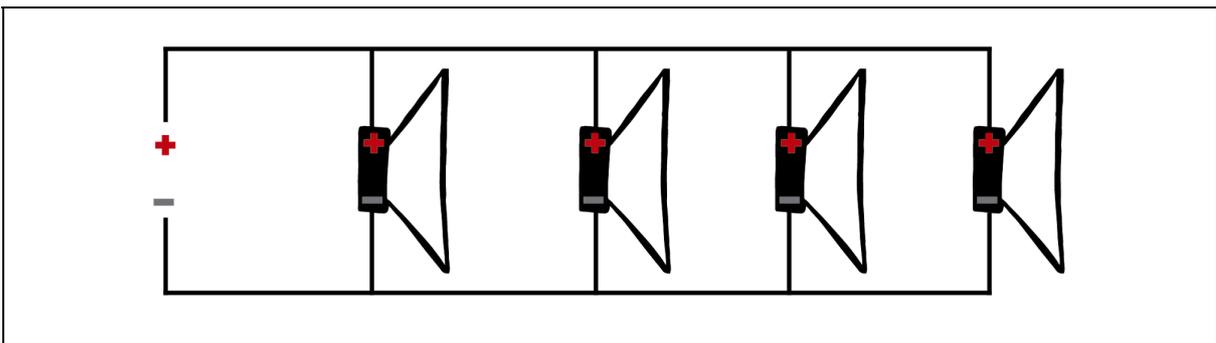


**Especificações de cada projetor de som**

Potência RMS	Impedância nominal	SPL / W / m	Max SPL
100 Watts	8 Ohms	95 dB	115 dB

**Especificações resultantes**

Potência RMS	Impedância nominal	SPL / W / m	Max SPL
400 Watts	2 Ohms	101 dB	127 dB



**Especificações de cada projetor de som**

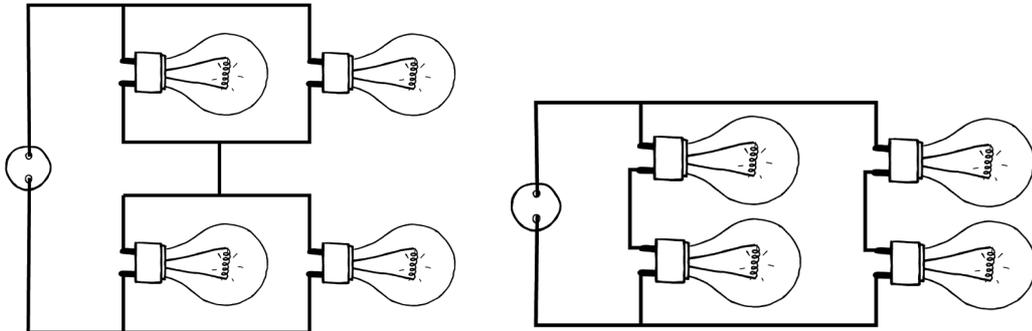
Potência RMS	Impedância nominal	SPL / W / m	Max SPL
90 Watts	8 Ohms	99 dB	118,5

**Especificações resultantes**

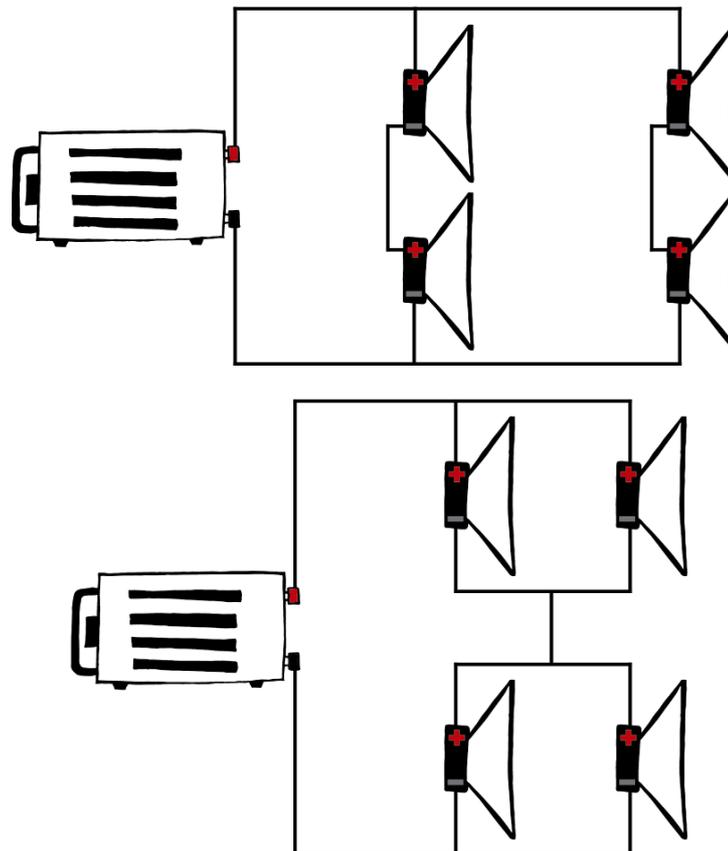
Potência RMS	Impedância nominal	SPL / W / m	Max SPL
360 Watts	2 Ohms	105 dB	130,5 dB

## Ligação em série e paralelo

A ligação em série e paralelo é simplesmente a combinação entre os casos anteriores, onde dois grupos em paralelo estão ligados entre si em série, ou dois grupos em série estão ligados entre si em paralelo.

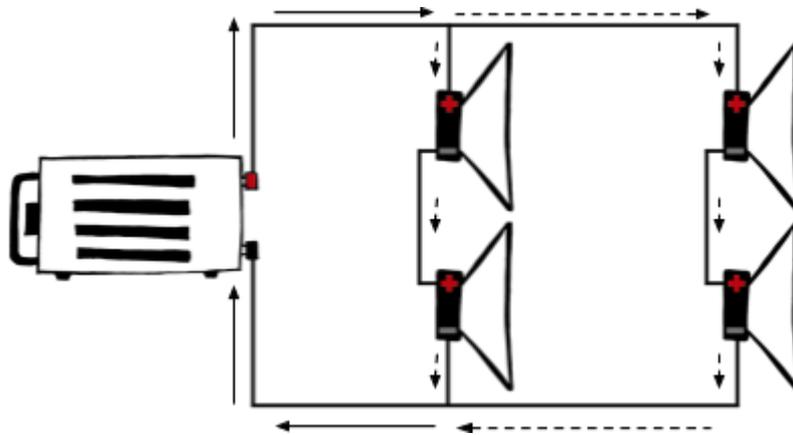


Observe que nos dois casos temos ao mesmo tempo ligações em série e em paralelo. Da mesma forma combinamos projetores de som em série paralelo.



## Cuidados especiais

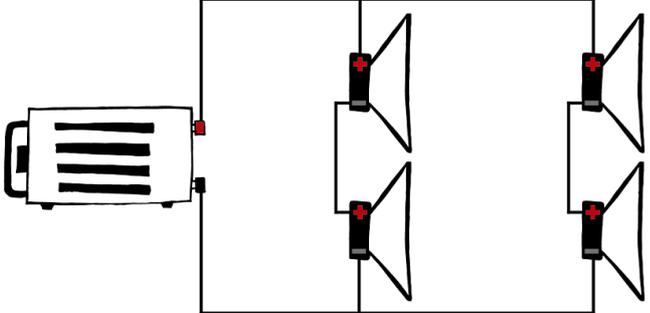
Em ligações série paralelo devemos observar separadamente os mesmos cuidados em relação à parte que está em série e a que está em paralelo, tomando cada parte como uma ligação independente.



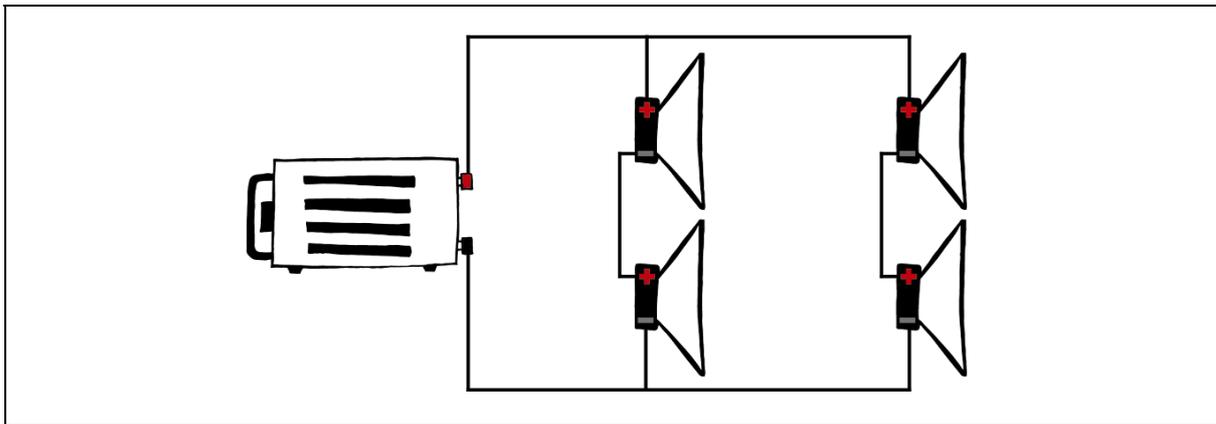
## Resultados da ligação em série e paralelo

- Cada projetor de som recebe uma parte da corrente elétrica; porém, as partes que estão ligadas em série são percorridas pelo mesmo fluxo de corrente.
- A potência resultante é a soma de todos os projetores do conjunto.
- A impedância resultante é a mesma que de um projetor individual<sup>4</sup>.
- A sensibilidade resultante é a mesma que a resultante de ligação paralela.

A seguir temos alguns exemplos das resultantes de ligações em série paralelo.

			
Especificações de cada projetor de som			
Potência RMS	Impedância nominal	SPL / W / m	Max SPL
100 Watts	8 Ohms	95 dB	115 dB
Especificações resultantes			
Potência RMS	Impedância nominal	SPL / W / m	Max SPL
400 Watts	8 Ohms	98 dB	124 dB

<sup>4</sup> Entendendo que estamos trabalhando apenas com projetores de especificações iguais.



#### Especificações de cada projetor de som

Potência RMS	Impedância nominal	SPL / W / m	Max SPL
90 Watts	8 Ohms	99 dB	118,5

#### Especificações resultantes

Potência RMS	Impedância nominal	SPL / W / m	Max SPL
360 Watts	8 Ohms	102 dB	127,5 dB

### Quando utilizar cada tipo de ligação?

Mais importante do que saber como combinar projetores de som, é saber em que situação um tipo de combinação é necessária.

Tipo de ligação	Quando utilizar
Série	Só para formar ligações série paralelo <sup>5</sup> .
Paralelo	Sempre que possível <sup>6</sup> .
Série e Paralelo	Quando queremos combinar quatro projetores de som, mas não temos um amplificador com a impedância mínima adequada.

<sup>5</sup> A ligação em série sozinha dificilmente é utilizada, a não ser dentro das caixas acústicas para atenuar sensibilidade de drivers ou tweeters.

<sup>6</sup> Essa configuração só não deve ser utilizada se não tivermos um amplificador capaz de trabalhar com a impedância resultante do conjunto.

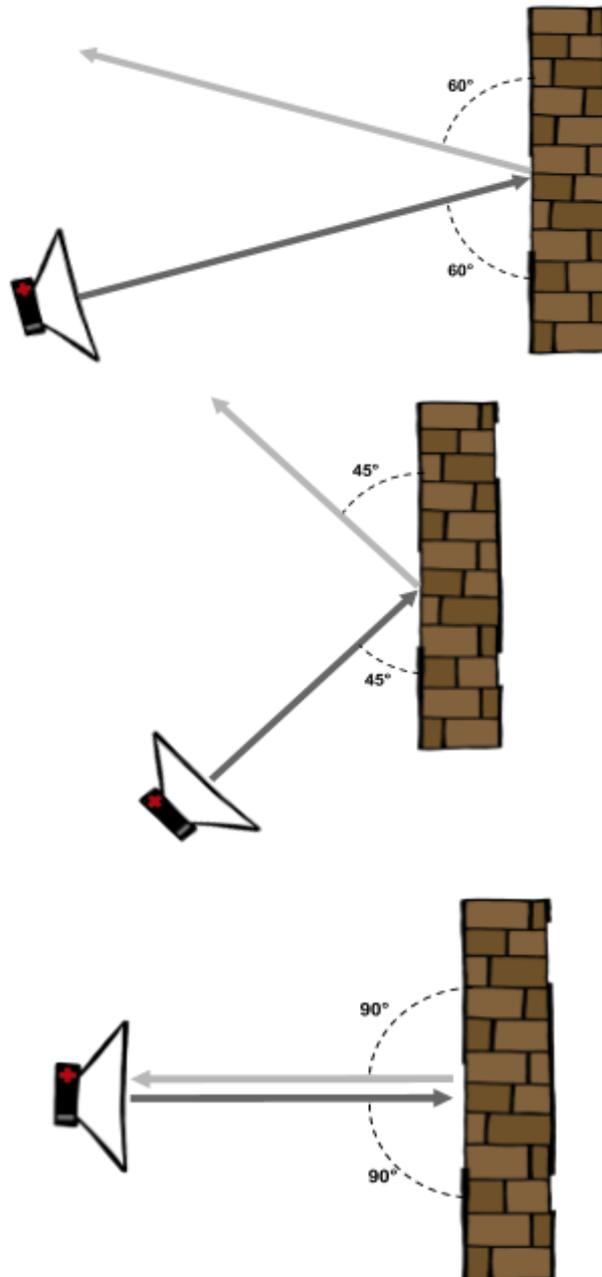
# Acústica para sonorização

## Reflexão das ondas sonoras

Reflexão é o fenômeno pelo qual as ondas sonoras mudam a direção de propagação quando encontram um obstáculo.

Se a superfície do obstáculo for plana, o ângulo da onda refletida em relação ao obstáculo é o mesmo que o ângulo da onda incidente.

Veja a ilustração:



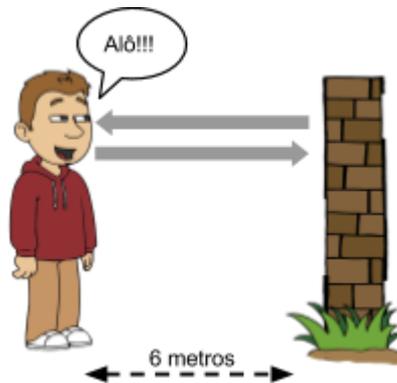
## Eco

Eco é um fenômeno que ocorre quando um som refletido é percebido pelo nosso ouvido como um som distinto do original. Para que isso ocorra é necessário que haja um intervalo de tempo mínimo entre esses sons.

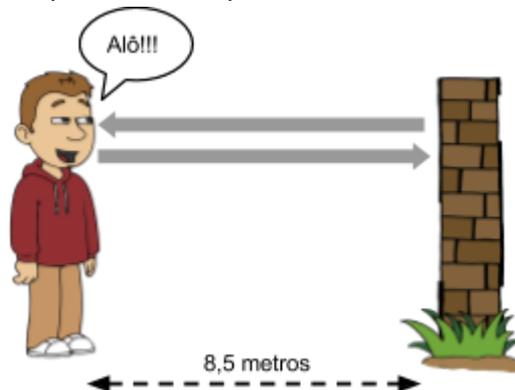
Para o ouvido humano a sensação de eco começa a ser perceptível a partir de um intervalo de 50 ms (0,05 segundos), e passa a ser totalmente perceptível a partir de um intervalo de 100ms (0,1 segundos).

Como a velocidade do som no ar é de aproximadamente 340 m/s, o eco só começa a ser perceptível se a distância total mínima (ida + volta) percorrida pelo som refletido for de aproximadamente 17 metros; sendo que a partir de 34 metros de distância total percorrida o eco já é facilmente percebido.

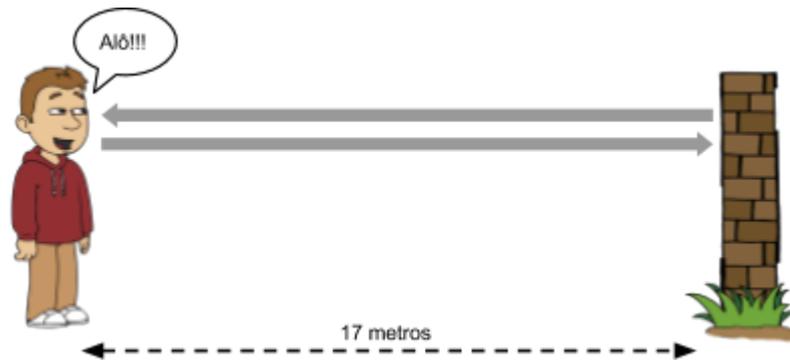
As ilustração seguintes mostram exemplos de situações onde percebemos ou não o eco.



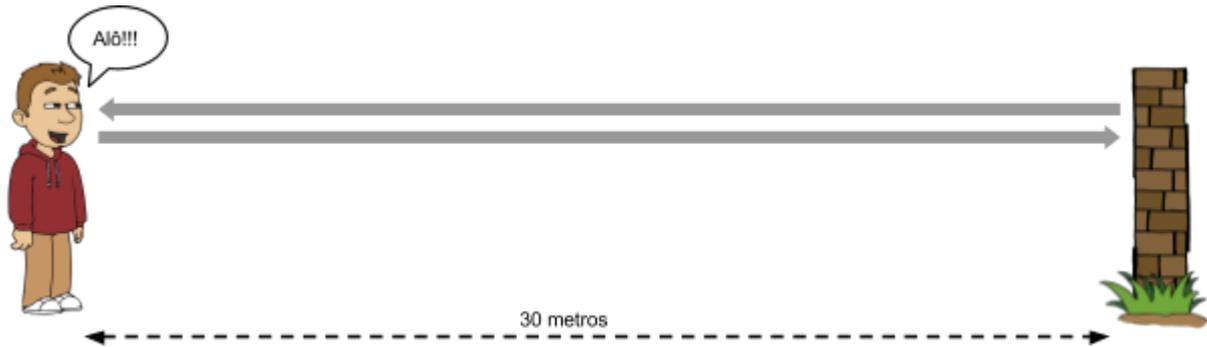
Nesse primeiro caso a distância total percorrida pelo som, somando a ida e a volta, é de 12 metros, não sendo suficiente para a percepção do eco. A sensação que pode ocorrer nesse caso é um reforço sonoro. Você já experimentou falar bem de perto e de frente para uma parede? Você percebeu que a sua voz parece ficar mais forte?



Neste outro exemplo começamos a perceber uma leve sensação de eco. Isso porque agora o som está percorrendo 17 metros para ir e voltar.



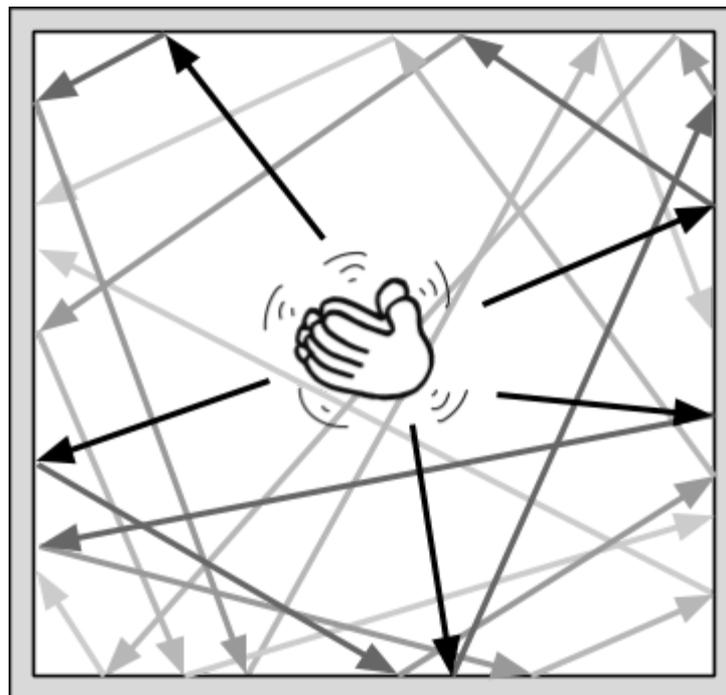
A partir de uma distância total de 34 metros o eco já é percebido com mais facilidade.



Agora, se estivermos a 30 metros de distância da parede, o som percorrerá 60 metros para ir e voltar. Neste caso ouviremos o eco cerca de 2 décimos de segundo após o som original.

## Reverberação

Reverberação é o fenômeno da sensação de prolongamento da duração dos sons. Na verdade a reverberação é o resultado da soma das inúmeras reflexões do som sendo ouvidas ao mesmo tempo.

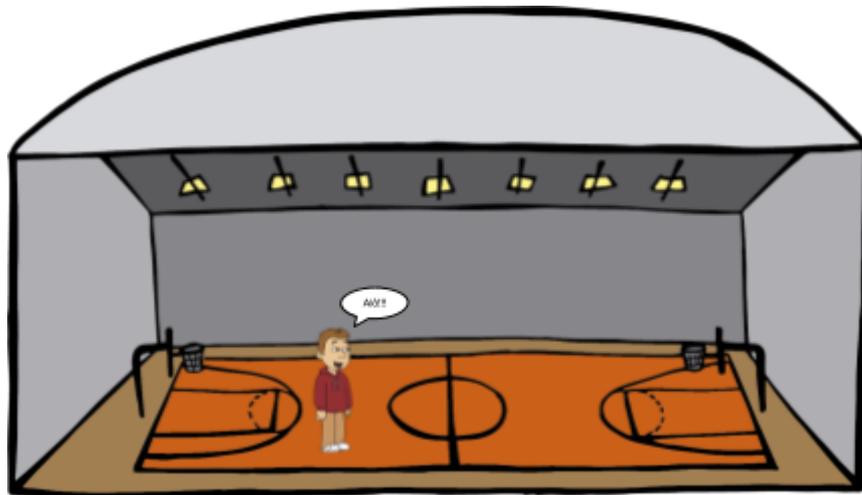
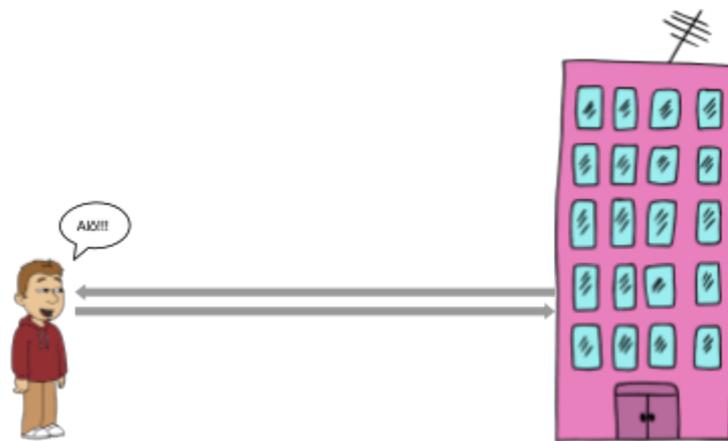
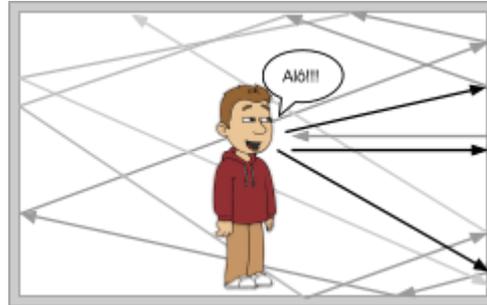


Assim como o eco, a reverberação é resultado do som refletido; porém o intervalo de tempo entre o som original e esse som refletido precisa ser menor que 0,05 segundos, pois

como vimos anteriormente um som refletido com um retardo maior passa a ser percebido como eco e não como reverberação.

Uma consequência disso é que as dimensões de um ambiente acústico (altura, largura e altura) têm influência direta no surgimento de reverberação, de eco ou dos dois ao mesmo tempo.

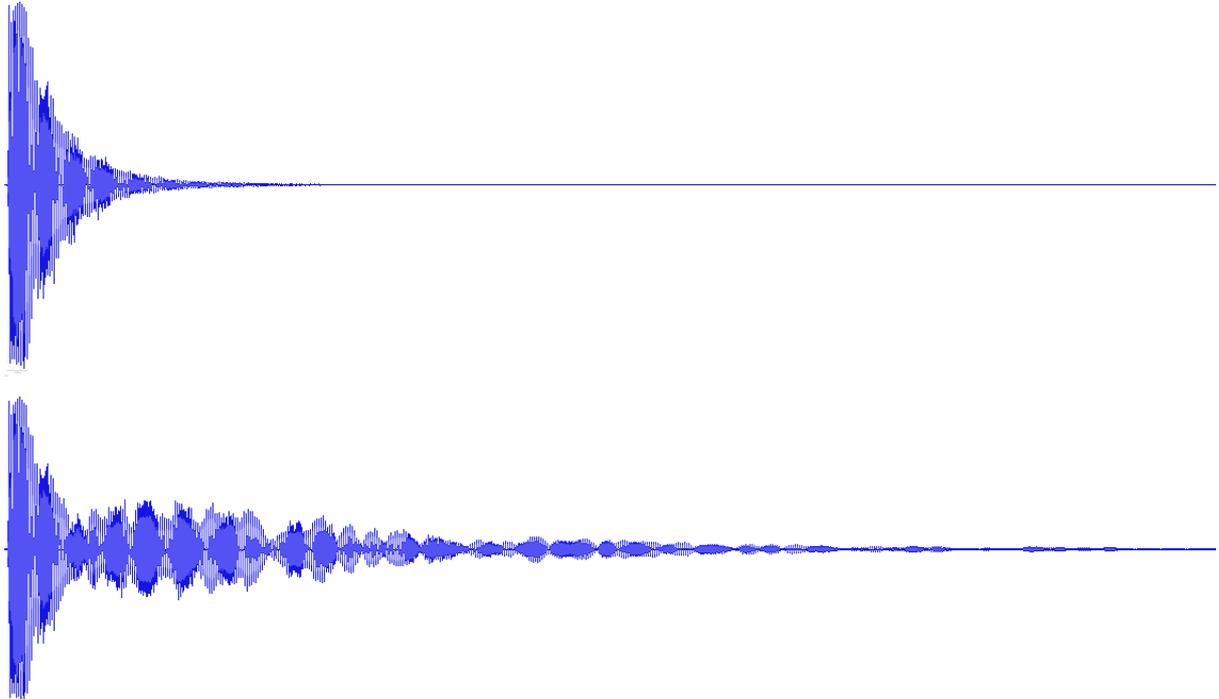
Na ilustração, temos três ambientes diferentes em que ocorre reverberação, eco ou ambos.



## Tempo de reverberação

O tempo de reverberação é o intervalo de tempo em que um som continua sendo ouvido dentro de um ambiente após o fim do som original.

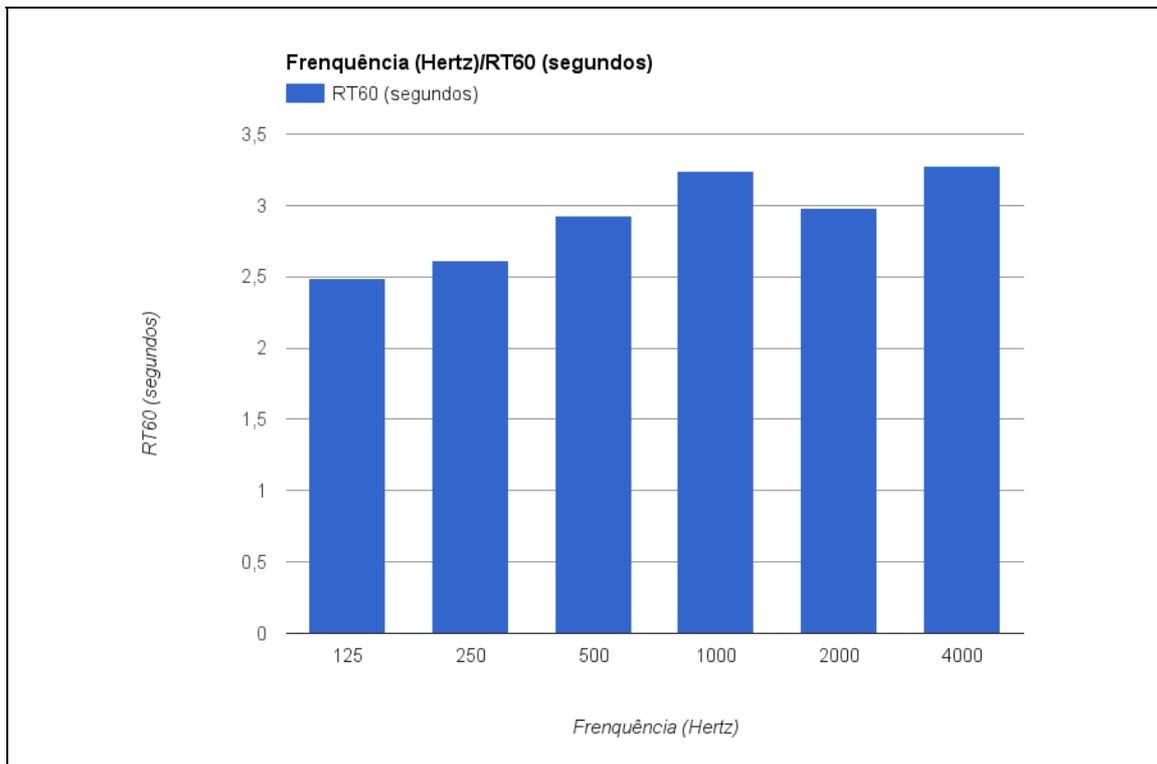
Na figura a seguir vemos os gráficos do som “seco” (original) e do som com reverberação.



A duração do tempo de reverberação depende do quanto os sons são absorvidos pelas paredes, piso e teto do ambiente. Outro detalhe importante é que como os materiais absorvem de forma diferente os sons graves, médios ou agudos, o tempo de reverberação de qualquer ambiente são diferentes para cada frequência do espectro de áudio.

Na tabela, temos um exemplo dos tempos de reverberação de um determinado ambiente.

Descrição do recinto		
Dimensões	Materias de acabamento	Capacidade
Largura: 10 m Comprimento 20 m Altura 5 m	Forro: Gesso Laterais: Concreto pintado Frente e fundo: Pannel de madeira Piso: Piso cerâmico liso	100 pessoas sentadas
Resultados do cálculo de tempo de reverberação (RT60)		



## Som direto e Campo reverberante

Som direto é o som que recebemos diretamente da fonte sonora. Campo reverberante é o som da reverberação.

No sistema de sonorização uma boa cobertura sônica significa que os projetores de som estão posicionados de forma que todos os ouvintes recebam bem mais som direto do que dom do campo reverberante. Uma peculiaridade do campo reverberante é que a sua intensidade é a mesma em qualquer lugar do recinto; já a intensidade do som direto muda conforme a distância entre o projetor de som e o ouvinte.

A relação entre a quantidade do som direto e a intensidade do campo reverberante que o ouvinte recebe é um fator determinante da inteligibilidade do sistema.

Então, como a intensidade do campo reverberante é a mesma em qualquer posição do recinto, e a intensidade do som direto depende da posição do ouvinte em relação aos projetores de som, temos que em um ambiente sonorizado a inteligibilidade não vai ser a mesma para todos. Porém, o ideal é que nosso sistema de som seja capaz de proporcionar para todos no mínimo uma inteligibilidade aceitável. Um sistema ideal seria aquele em que todos recebem um som com excelente inteligibilidade.

## Tratamento acústico

Tratamento acústico consiste em modificar a forma como um ambiente interage com as ondas sonoras. O tratamento acústico é necessário quando queremos controlar algum aspecto dessa interação entre os sons e o ambiente, e esses aspectos podem ser relativos a diversos fenômenos acústicos tais como ruído ambiente, reverberação, eco, transmissão ou absorção das ondas sonoras. Muitas vezes o termo “tratamento acústico” é utilizado, num sentido mais restrito, para referenciar apenas as ações que têm por finalidade tratar internamente um ambiente.

## Ruído ambiente

É o ruído constante e inerente a um ambiente, que não é gerado intencionalmente e não faz parte do programa sonoro.

O ruído ambiente pode ser interno ou externo. A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) estabelece os níveis aceitáveis de ruído interno e externo respectivamente pelas normas NBR 10152<sup>7</sup> e NBR 10151<sup>8</sup>.

O ruído externo é o que ocorre, na rua, calçada e áreas externas. As fontes desse tipo de ruído são o tráfego, meio ambiente, comércio, indústria e também programas sonoros que saem dos recintos onde ocorrem, devido a isolação ou isolamento inadequados.

O ruído interno é o que ocorre dentro dos prédios e estruturas mas que não fazem parte do programa sonoro produzido. O ruído interno provém de máquina, pessoas, ruído de equipamentos de áudio e principalmente do ambiente externo.

Qualquer tipo de ruído ambiente acima dos limites estabelecidos, causa desconforto acústico tanto dentro como fora das edificações. Mas além do problema do desconforto, um nível de ruído interno demasiado reduz drasticamente a inteligibilidade do programa sonoro e exige que o nível sonoro do programa seja maior do que deveria<sup>9</sup>.

Grande parte dos locais onde acontecem os programas sonoros apresentam níveis de ruídos ambiente bem acima dos admissíveis ou recomendados pela ABNT.

Recomendações da ABNT 10151 para nível de ruído de ambientes externos, em dB(A)

Tipos de áreas	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas.	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas.	50	45
Área mista, predominantemente residencial.	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa.	60	55
Área mista, com vocação recreacional.	65	55
Área predominantemente industrial.	70	60

Alguns exemplos de recomendações da ABNT 10152 para nível de ruído de ambientes internos.

Ambiente	dB (A)
<b>Escolas</b>	
Bibliotecas, Salas de música, Salas de desenho	35 - 45
Salas de aula, Laboratórios	40 - 50
Circulação	45 - 55

<sup>7</sup> Níveis de ruído para conforto acústico.

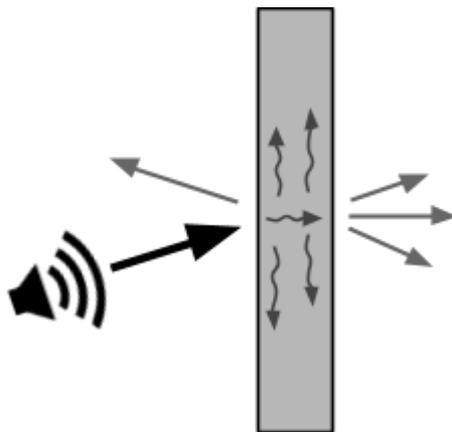
<sup>8</sup> Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento.

<sup>9</sup> A inteligibilidade só não é prejudicada quando o programa sonoro está 25 dB acima do ruído ambiente. Por exemplo, se o ruído ambiente é de 50 dB o programa sonoro precisa estar em 75 dB para que a inteligibilidade não seja em nada prejudicada; no entanto se o ruído ambiente é de 80 dB precisaríamos trabalhar com um programa sonoro de 105 dB, tomando o projeto inviável.

<b>Auditórios</b>	
Salas de concertos, Teatros	30 - 40
Salas de conferências, Cinemas, Salas de uso múltiplo	35 - 45
<b>Igrejas e Templos</b>	40 - 50

No intuito de atender a essa recomendação, veremos alguns conceitos importantes:

## Barreira acústica

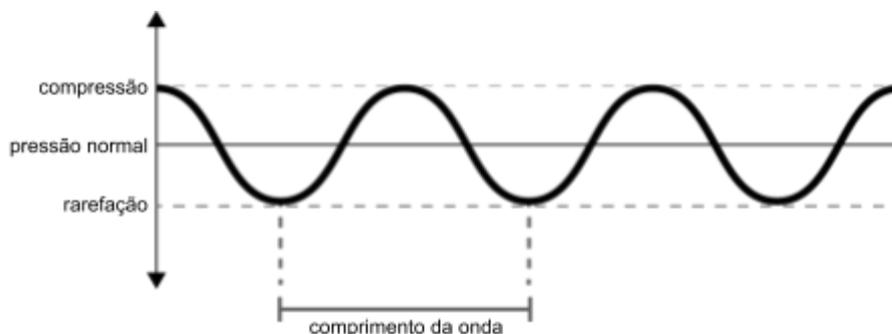


Barreira acústica é qualquer estrutura que está posta entre a fonte sonora e o receptor do som (parede, relevo, desnível, entre outros), capaz de atenuar a pressão sonora.

São vários os fenômenos que ocorrem quando as ondas sonoras se deparam com uma barreira acústica. O grau de ocorrência destes fenômenos depende da frequência e comprimento<sup>10</sup> da onda sonora incidente, da posição, dimensões e tipo de material que constitui a barreira e da presença de aberturas na mesma.

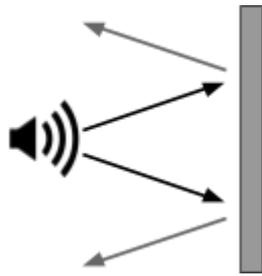
Na tabela seguinte temos listados os comprimentos de algumas frequências de onda sonora.

Considerando a velocidade do som como 344 m/s	
Frequência (Hertz)	Comprimento da onda (metros)
125	2,75
250	1,37
500	0,7
1000	0,34
2000	0,17
4000	0,08
8000	0,04



<sup>10</sup> Comprimento de onda é a distância entre o início e o fim de um ciclo de repetição dessa onda. Consequentemente, o comprimento da onda é inversamente proporcional à frequência da mesma.

Na sequência, vamos analisar o que acontece quando uma onda sonora encontra uma barreira acústica.



### Reflexão

Esse tema foi abordado nas aulas anteriores quando explicamos sobre reverberação e eco.

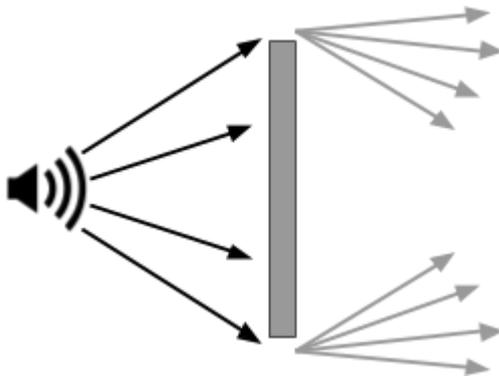
Acrescentamos aqui uma informação importante: a reflexão ocorre quando as dimensões da barreira são maiores que o comprimento da onda sonora incidente.

### Difração

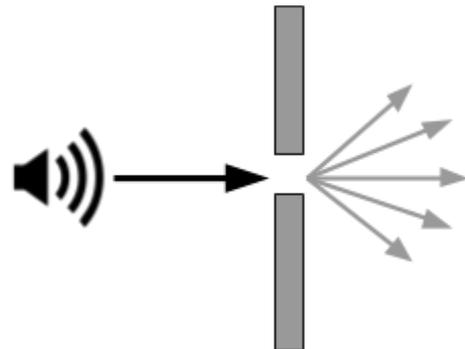
Fenômeno pelo qual uma onda sonora contorna barreiras ou atravessa aberturas sofrendo desdobramentos na direção de propagação. O comportamento da difração depende do comprimento de onda (que depende da frequência) e das dimensões do obstáculo. Quanto mais agudo for o som, menor a difração e quanto mais grave, maior a difração.

Quanto maior o obstáculo menos difração e quanto menor, mais difração ocorre.

As figuras seguintes mostram o fenômeno da difração sonora contornando obstáculos ou atravessando aberturas.

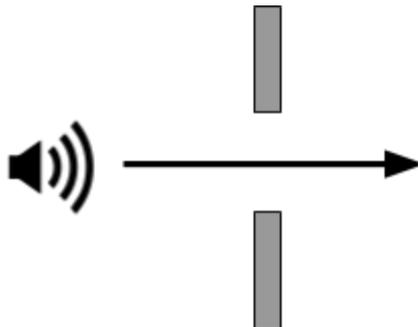


difração em arestas



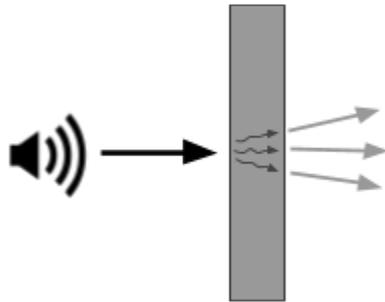
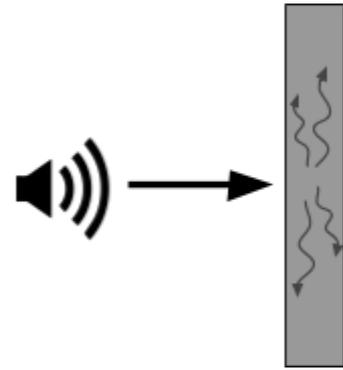
difração em aberturas

Vale a pena reforçar que o fenômeno da difração em aberturas ocorre quando a abertura é menor que o comprimento da onda sonora; se a dimensão da abertura na barreira acústica for maior que o comprimento da onda, o som passa livremente sem sofrer difração, como ilustra a figura seguinte.



## Absorção

Fenômeno pelo qual uma estrutura “neutraliza” as ondas sonoras convertendo a energia sonora em energia térmica (materiais porosos) ou em energia cinética (painéis ressonantes ou vibrantes).



## Transmissão

É a passagem das ondas sonoras através de um obstáculo pela vibração deste, ou seja, as moléculas do obstáculo vibram, transportando o som entre as superfícies do mesmo. Por esse motivo, materiais com maior densidade tendem a serem melhores isolantes acústicos (parede de concreto, parede de tijolo maciço), enquanto materiais leves são péssimos isolantes (isopor, caixa de ovo, cortinas).

## Colunas dentro do ambiente acústico

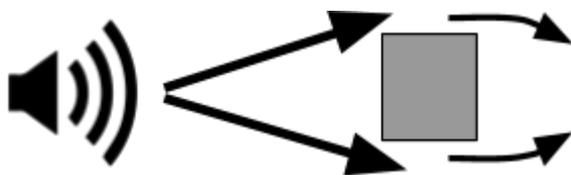
Uma vez que estamos tratando de barreiras acústicas não podemos deixar de analisar uma situação que ocorre não tão raramente nos ambientes a serem sonorizados: a presença de colunas estruturais do prédio dentro da área sonorizada.

Como vimos anteriormente, as ondas sonoras são capazes de contornar barreiras por meio da difração. Porém, para que isso aconteça o comprimento de onda precisa ser maior que a dimensão da barreira a ser contornada.

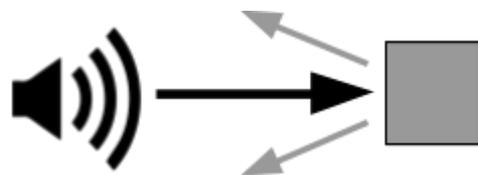
Também já apresentamos anteriormente uma tabela com os comprimentos de onda para uma gama de frequências da faixa de áudio.

Juntando essas informações podemos concluir que uma coluna com largura de 17 cm (dezessete centímetros) é contornada por ondas sonoras de até 2.000 Hz (dois mil Hertz). Na prática podemos então convencionar que 17 cm é a largura máxima para que uma coluna seja tolerada dentro do ambiente sonoro. Outra observação é que obstáculos de até 4 cm não causam problemas.

Nas figuras seguintes temos o esboço de algumas dessas situações.



comprimento de onda **MAIOR** que a largura da coluna



comprimento de onda **MENOR** que a largura da coluna

## Situações comuns que exigem intervenção na acústica

Para tratar a acústica de um ambiente precisamos antes de tudo saber que tipo de problema acústico queremos sanar. As situações mais comuns que exigem uma intervenção no ambiente são:

1. Ruído externo atrapalhando o programa sonoro.
2. Programa sonoro incomodando a vizinhança.
3. Tempo de reverberação excessivo e irregular causando baixa inteligibilidade.

### Isolamento e Isolação

Para resolver problemas relacionados às situações 1 e 2, estamos precisando de um tratamento para melhorar o isolamento ou isolação.

Isolamento é quando evitamos os sons aéreos.

Isolação é quando evitamos os ruídos pela vibração das paredes.

<i>Queixa</i>	<i>Causa</i>	<i>Possíveis soluções</i>
Vizinho reclamando do som.	Vazamento do som por portas e janelas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Melhorar o isolamento de janelas, portas.</li> <li>● Construir barreira acústica entre o prédio e o vizinho.</li> </ul>
Barulho da rua atrapalhando o programa sonoro.	Transmissão do som pela vibração da estrutura do prédio.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Melhorar a isolação das paredes.</li> <li>● Desacoplamento entre a estrutura do prédio e a parede do vizinho.</li> </ul>

### Adequação do tempo de reverberação

Quando o problema é correção do tempo de reverberação, o tratamento acústico é interno e tem como objetivo alterar os níveis de reflexões e absorções das ondas sonoras pelas paredes, teto, piso e mobília do local.

#### Tempo de reverberação adequado

Ambiente seco - ambientes excessivamente seco (situação difícil de existir) gera uma sensação de som “morto” ou “abafado”, embora possuindo excelente nível de inteligibilidade, (encontrado normalmente em estúdios de gravação), exigem amplificadores mais potentes para a sonorização.

Ambiente reverberante - ambientes excessivamente reverberantes, produzem um alto nível de ruído ambiente, uma baixa inteligibilidade, uma sensação de “som embolado”, mais propensão à microfonia, exigem mais cuidado no posicionamento e distribuição dos projetores de som.

Por isso que buscamos um tempo de reverberação adequado, preferivelmente entre 1 e 2 segundos.

Como vimos anteriormente, o tempo de reverberação não é o mesmo para todas as frequências do espectro de áudio. Genericamente, para que um ambiente tenha uma boa acústica é necessário que os tempos de reverberação dos graves, médios e agudos sejam uniformizados tanto quanto possível.

## Técnicas utilizadas para ajustar o tempo de reverberação

### Materiais absorvedores

São materiais cujas propriedades acústicas favorecem a absorção das ondas sonoras. São verdadeiros conversores de energia, pois a energia sonora que recebem é transformada em energia térmica. São materiais porosos que captam as ondas sonoras em suas cavidades internas. É oportuno lembrar que a energia acústica das ondas sonoras é relativamente muito pequena, mesmo para pressões sonoras elevadas; por isso a elevação da temperatura dos materiais absorventes quando absorvem essas ondas sonoras não é perceptível pelo sentido do tato. Apenas termômetros de alta precisão podem revelar esse fenômeno.

### Painéis vibrantes

São estruturas que convertem a energia acústica recebida em energia cinética<sup>11</sup>. Os painéis vibrantes são mais eficientes para absorção das frequências graves. São painéis geralmente de madeira instalados não diretamente nas paredes, mas formando um vão de alguns centímetros com a parede. Embora não seja obrigatório, esse vão pode ser preenchido com materiais absorvedores não inflamáveis, como lã de rocha.

### Painéis ressonadores

Têm como princípio a ressonância de Helmholtz que é um fenômeno que ocorre quando o ar passa por uma cavidade e, devido a isso, ressoa.

### Forro acústico

Muitas vezes, na hora de pensar no acabamento da igreja ou local de eventos, queremos instalar um forro que seja apenas esteticamente bonito e esquecemos das propriedades acústicas. Pensar na acústica é importante porque o forro de qualquer estrutura de qualquer prédio costuma ser uma das maiores superfícies internas desse ambiente. Por esse motivo o forro deve ser uma das nossas principais preocupações quanto à acústica do ambiente. A mesma atenção deve ser tomada quando planejamos trocar um forro antigo por outro mais moderno. É comum encontrarmos igrejas ou locais de evento em que grande parte dos problemas de acústica interna poderiam ser solucionados com um forro acústico.

### Mobiliário e decoração

Assim como o forro, o mobiliário e a decoração do ambiente têm uma grande responsabilidade no resultado acústico. Se observarmos os tipos de assentos, mobiliário e decoração de um teatro, igreja ou auditório com boa acústica e compararmos com um outro ambiente com acústica ruim, perceberemos, por exemplo, que os tipos de assentos são diferentes. Por isso muita atenção na hora de pensar na troca ou aquisição do mobiliário; lembre-se de que as propriedades acústicas devem ser levadas em consideração para a escolha do que comprar.

---

<sup>11</sup> A energia cinética é a energia que está relacionada com o estado de movimento de um corpo. Este tipo de energia é uma grandeza que depende da massa e do módulo da velocidade do corpo em questão. Quanto maior o módulo da velocidade do corpo, maior é a energia cinética. Quando o corpo está em repouso, ou seja, o módulo da velocidade é nulo, a energia cinética é nula.

## Propriedades acústicas dos materiais

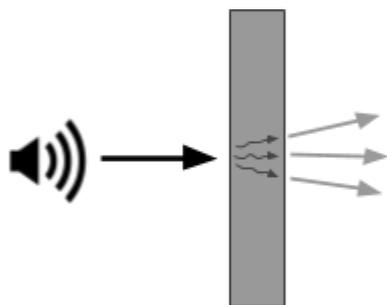
Todos os materiais possuem propriedades físicas e químicas. Dentre as propriedades físicas vamos destacar duas que são essenciais quando o material é utilizado para qualquer tipo de tratamento acústico. Uma propriedade é o coeficiente de absorção, a outra é o índice de isolamento ou atenuação.

Quando o problema é adequação do tempo de reverberação (RT60) a propriedade que nos interessa nos materiais é o coeficiente de absorção; e quando a questão é isolamento ou isolação o que precisamos levar em consideração é o índice de isolamento dos materiais que pretendemos utilizar para resolver o problema.

Embora exista alguma relação entre si, estas propriedades são distintas. Isso quer dizer que um material pode ser um ótimo absorvedor mas um péssimo isolante acústico e vice versa. Por exemplo, o isopor com um senso comum diria que o isopor é um bom isolante acústico, mas isso é um mito. O isopor é um excelente isolante térmico e um péssimo isolante acústico.

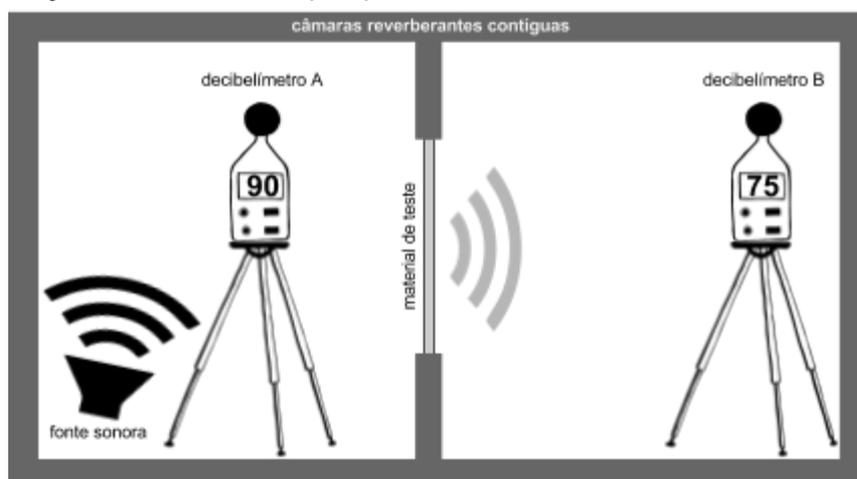
Um outro exemplo da distinção entre o coeficiente de absorção e o índice de isolamento é o vidro, que quanto maior for a sua espessura, maior será seu índice de isolamento e menor seu coeficiente de absorção.

## Índice de atenuação



O índice de atenuação (também chamado índice de isolamento) representa em quantos decibéis a pressão sonora é atenuada por uma barreira acústica de algum material.

A ilustração a seguir mostra como é feita a medição do índice de atenuação de um material qualquer.



Temos duas salas reverberantes adjacentes. Entre as salas há uma janela onde o material a ser testado é colocado, fechando hermeticamente essa janela. Na primeira sala

temos uma fonte sonora e um decibelímetro<sup>12</sup> A, enquanto que na outra sala temos um decibelímetro B.

Como todas as paredes foram construídas para proporcionar excelentes isolamento e isolação, o som produzido pela fonte sonora só poderá entrar na sala adjacente por meio do material que está colocado na janela.

O procedimento para o teste é simples: a fonte produz um onda sonora que preenche toda a primeira sala, e o decibelímetro A começa a registrar a pressão sonora produzida. O nível de pressão sonora que conseguir passar através do material de teste é registrado pelo decibelímetro B. O índice de atenuação do material testado é a diferença de decibéis entre os dois decibelímetros. No nosso exemplo o índice de atenuação do material testado é de 15 dB ( $90 - 75 = 15$ ).

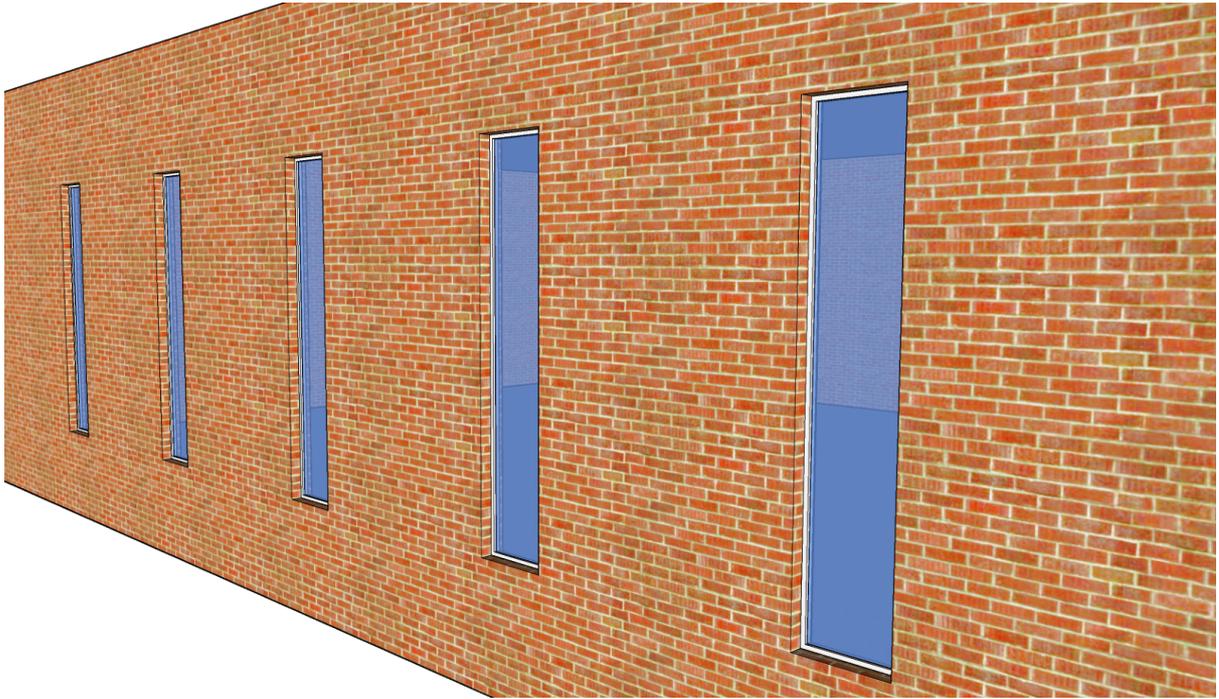
Na tabela a seguir encontramos os índices de atenuação de alguns materiais.

Material	Índice de atenuação
Parede de tijolo maciço com 45 cm de espessura	55 dB
Parede de 1 tijolo de espessura de 23 cm	50 dB
Parede de meio tijolo de espessura com 12 cm e rebocado	45 dB
Parede de concreto de 8 cm de espessura	40 dB
Parede de tijolo vazado de 6 cm de espessura e rebocado	35 dB
Porta de madeira maciça dupla com 5 cm cada folha	45 dB
Janela de vidro duplos de 3 mm cada separados 20 cm	45 dB
Janela com placas de vidro de 6 mm de espessura	30 dB
Porta de madeira maciça de 5 cm de espessura	30 dB
Janela simples com placas de vidro de 3 mm de espessura	20 dB
Porta comum sem vedação no batente	15 dB
Laje de concreto rebocada com 18 cm de espessura	50 dB

Na prática, quando queremos melhorar o isolamento ou isolação entre o ambiente interno e externo, devemos observar quais são, e dar prioridade aos “pontos fracos” do ambiente. Se, por exemplo, temos uma parede de tijolo maciço com espessura de 45cm, e nesta parede temos janelas com placas de vidro de 6mm, a capacidade real de isolação dessa parede será mais próxima do índice de atenuação mais fraco, ou seja 30 dB que é a atenuação proporcionada pelas janelas de vidro.

---

<sup>12</sup> Decibelímetro é o instrumento utilizado para medir níveis de pressão sonora.



No exemplo, mesmo a parede sendo de tijolo, só podemos garantir um isolamento de 30 dB, pois com certeza o som passará tanto pelas paredes como pelas janelas.

### Coeficiente de absorção

O coeficiente de absorção representa o quanto de energia o material absorve da onda sonora que nele incide. Os valores desse coeficiente variam de 0 (zero) a 1 (um). O valor zero indica que o material não absorve absolutamente nada da energia sonora, enquanto que se o coeficiente do material for igual a 1 a energia sonora será totalmente absorvida.

Outro detalhe importante é que o coeficiente de absorção do material não é o mesmo para todas as frequências sonoras.

Na tabela a seguir encontramos os coeficientes de absorção de alguns materiais.

Material	Frequência em Hertz					
	125	250	500	1K	2K	4K
<b>Reboco áspero</b>	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07
<b>Reboco liso</b>	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,06
<b>Concreto</b>	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07
<b>Borracha</b>	0,04	0,04	0,08	0,12	0,03	0,10
<b>Tapete de veludo</b>	0,05	0,06	0,10	0,24	0,42	0,60
<b>Vidro comum de janela</b>	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04

<b>Cortina grossa</b>	0,25	-	0,40	-	0,60	-
<b>Porta de madeira</b>	0,14	-	0,06	-	0,10	-
<b>Forro acústico (genérico)</b>	0,64	0,72	0,66	0,84	0,91	0,90
<b>Painel vibrante com espaço de 5cm da parede</b>						
<b>- Com preenchimento absorvedor -</b>	0,50	0,40	0,25	0,11	0,07	-
<b>- Sem preenchimento absorvedor -</b>	0,30	0,20	0,20	0,10	0,06	-
<b>Plateia</b>						
<b>- Cadeiras de plástico</b>	0,14	0,40	0,42	0,42	0,33	0,26
<b>- Banco com estofamento de tecido</b>	0,33	0,42	0,46	0,51	0,51	0,46
<b>- Pessoa em pé</b>	0,23	0,33	0,39	0,43	0,46	0,46

Estes coeficientes também podem ser lidos em forma de porcentagem, para isso basta multiplicarmos seus valores por 100. Por exemplo, um coeficiente de 0,07 corresponde a uma absorção de 7 por cento ( $0,07 \times 100 = 7$ ).

Para calcular a absorção total os coeficientes de absorção são multiplicados pela área da superfície do material, e quando se trata de plateia a multiplicação é feita pela quantidade de pessoas.

## Estudo de Caso RT60

Para compreendermos melhor a influência que os coeficientes de absorção dos materiais têm sobre o tempo de reverberação de um ambiente, vamos acompanhar um exemplo de caso de construção de um ambiente, verificando como fica o RT60 em cada fase da construção.

Para isso dividiremos a construção nas seguintes etapas:

1. Estrutura: prédio no contra piso, sem reboco nas paredes e no teto, e sem janelas e portas instaladas.
2. Reboco: todas as paredes e teto com reboco liso e massa corrida.
3. Piso: instalação de porcelanato;
4. Janelas e portas: instalação das portas e janelas de vidro.
5. Carpetamento da plataforma do púlpito.
6. Colocação dos bancos.
7. Instalação de forro acústico.

## Cálculo do RT60

Um caminho simples para calcular o tempo de reverberação é utilizar a fórmula de Sabine<sup>13</sup>.

<sup>13</sup> Wallace Clement Sabine (13 de junho de 1868 - 10 de 1919) foi um físico americano que fundou o campo da acústica arquitetônica. Formou-se na Universidade Estadual de Ohio, em 1886, com a idade de 18, posteriormente ingressando na Universidade de Harvard para estudos de graduação e

$$\text{Tempo de reverberação} = 0,1608 \times \frac{\text{volume (m}^3\text{)}}{\text{absorção total}}$$

Para calcular o RT60 precisamos saber o volume interno do ambiente (m<sup>3</sup>), absorção total promovida pelas superfícies internas e a absorção promovida pelos bancos ou plateia. A absorção das superfícies internas é calculada multiplicando-se o coeficiente de absorção do material pela área ocupada por esse material dentro do ambiente

$$\text{Absorção} = \text{coeficiente de absorção} \times \text{área (m}^2\text{)}$$

Por exemplo se temos uma parede de 10 m<sup>2</sup> com coeficiente de absorção de 0,15, a absorção total dessa parede será de 1,5; lembrando que esse cálculo deve ser feito para as frequências 125, 250, 500, 1K, 2K e 4K Hertz.

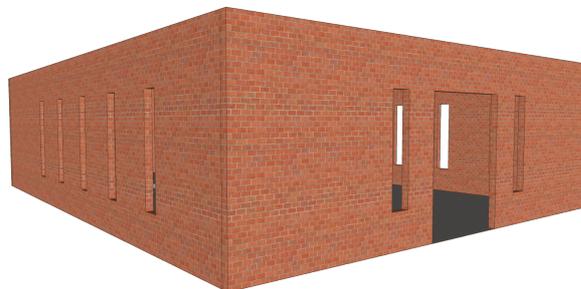
Para calcularmos o tempo de reverberação do nosso prédio utilizaremos uma planilha eletrônica de RT60 e as tabelas de coeficientes de absorção vistas anteriormente

### Descrição do projeto (simulação)

- Salão de 25X15 metros (375 m<sup>2</sup>) e altura de 5,3 metros (volume interno 1.987,5 m<sup>3</sup>).
- Paredes acabadas em massa corrida e pintura lisa.
- Janelas e portas de vidro temperado.
- Piso de porcelanato.
- Forro acústico.
- Área do púlpito acarpetada.
- Bancos de madeira acolchoados.
- 240 pessoas sentadas.

### Estrutura

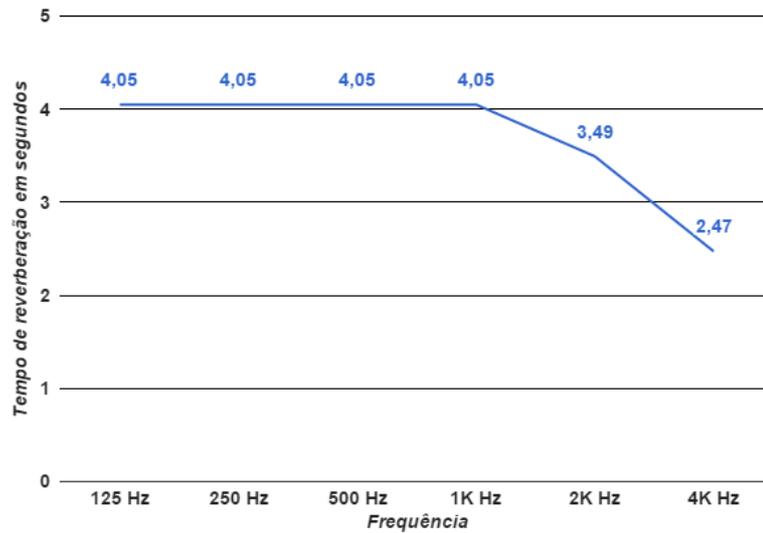
Nosso estudo de caso começa com a estrutura do prédio já pronta, ou seja paredes levantadas, laje e contra piso.



Nessa etapa os tempos de reverberação calculados estão apresentados no seguinte gráfico:

---

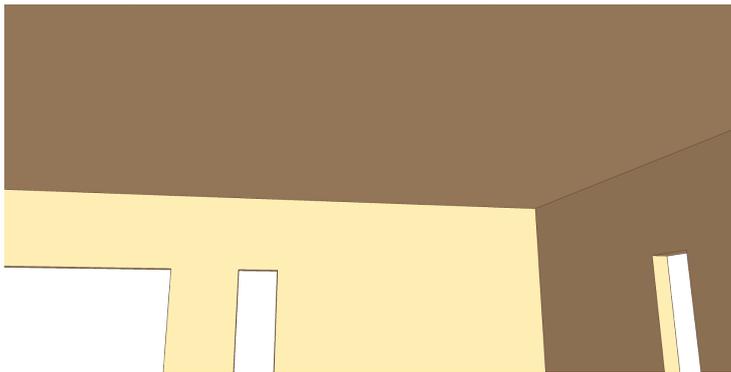
permanecendo como membro do corpo docente. Sabine foi arquiteto acústico da Symphony Hall de Boston, considerada uma das melhores salas de concerto do mundo por sua acústica.



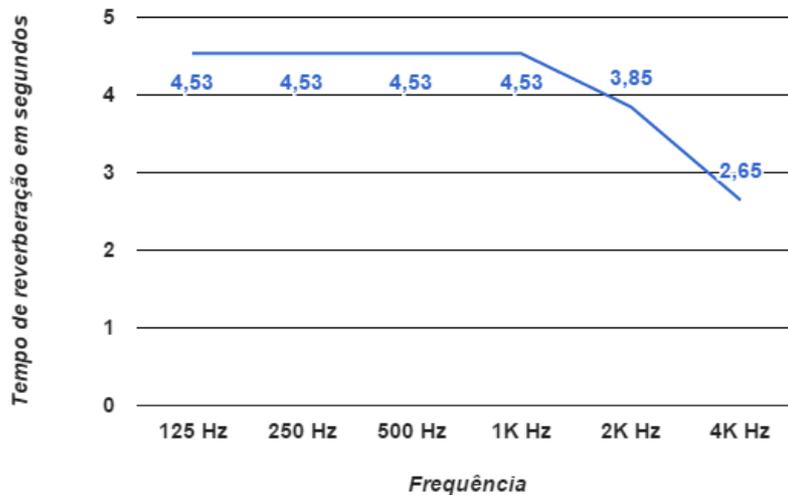
Observe que os tempos de reverberação estão acima de 4 segundos até 1KHz, e nas regiões mais agudas o valor cai até 2,47. Isto ocorre porque as superfícies internas do prédio inacabado absorvem pouco o som, mas existe um pouco mais de absorção para os sons mais agudos. Reveja na tabela de coeficiente de absorção os valores para reboco áspero.

**Reboco**

A próxima etapa é o reboco e pintura das paredes e do teto.



Com as paredes e teto rebocados e pintados, o tempo de reverberação fica assim:

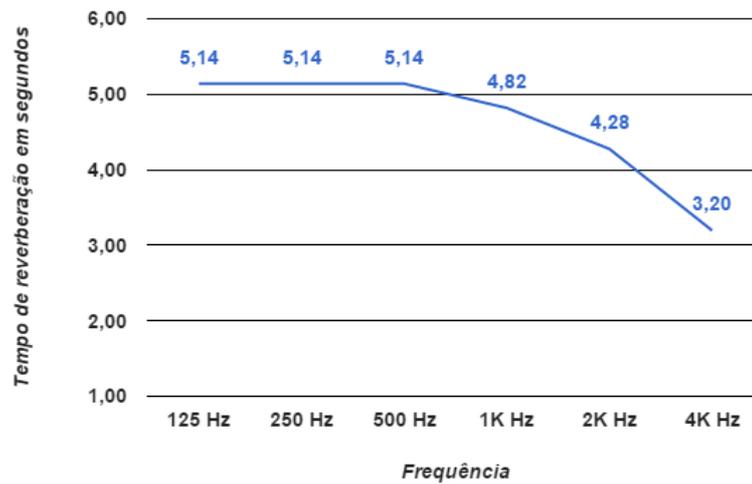


## Piso

Nesta etapa um piso de porcelanato é colocado.



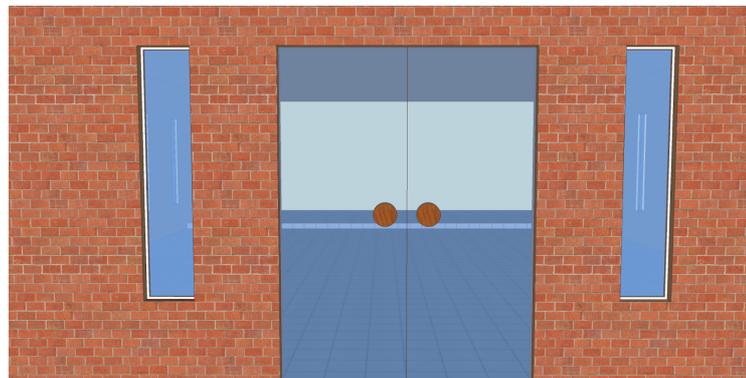
Com isto, o tempo de reverberação sofre um considerável aumento:



Com a colocação do piso elevamos mais ainda o RT60 do ambiente, consequência dos baixos coeficientes de absorção do porcelanato.

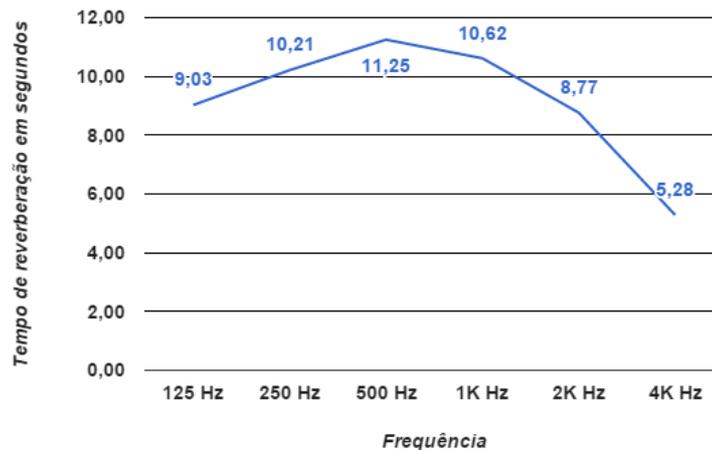
## Janelas e portas de vidro temperado

Continuando a obra, chegou o momento de instalar as portas e janelas de vidro temperado.



Até o momento as aberturas das portas e janelas deixavam passar para fora todas as ondas sonoras que incidiam sobre estas aberturas. Mas após a colocação dos vidros, as aberturas são fechadas e a área ocupada pelas portas e janelas passam também a refletir as ondas sonoras, aumentando o tempo de reverberação do local.

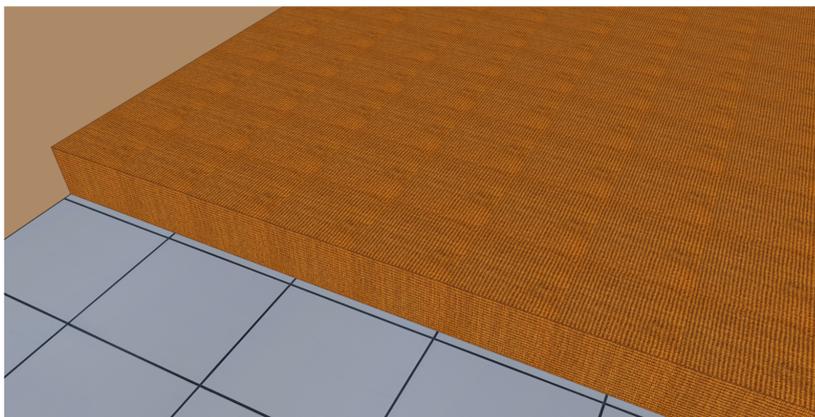
O gráfico a seguir mostra que o RT60 aumenta consideravelmente após a instalação das portas e janelas de vidro.



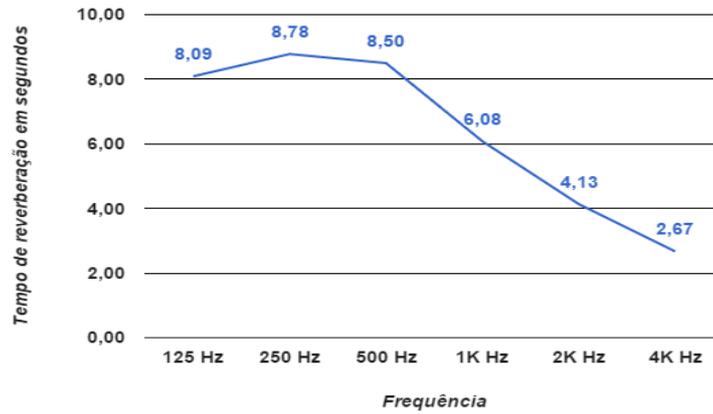
O coeficiente de absorção das aberturas é de 100%, pois o som não encontra barreira acústica. Nesta etapa a acústica do prédio é a pior possível, com tempos de reverberação acima de 10 segundos e variações bruscas do tempo de reverberação entre graves, médios e agudos.

#### Carpetamento na plataforma do púlpito

Nesta etapa, os responsáveis pelo projeto resolveram acarpetar a plataforma do púlpito.



Vamos ver como a colocação do tapete alterou os tempos de reverberação:



Uma dos materiais que comumente se pensa em utilizar para reduzir o tempo de reverberação é o carpete. No gráfico observamos que os tempo de reverberação realmente diminuíram como era esperado, no entanto o equilíbrio entre graves médios e agudos ficou muito pior. Um ambiente com essa curva de RT60 costuma ter uma péssima inteligibilidade e os problemas são bem percebidos quando a bateria ou o baixo começam a tocar.

### Colocação dos bancos

Os 48 bancos colocados no salão são de madeira com acolchoamento no encosto e assento. Cada banco tem capacidade para 5 pessoas.



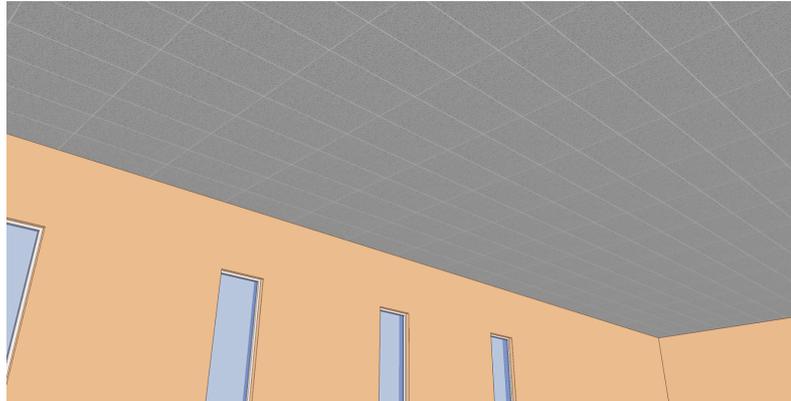
A próximo gráfico mostra como ficou o RT60 com os bancos.



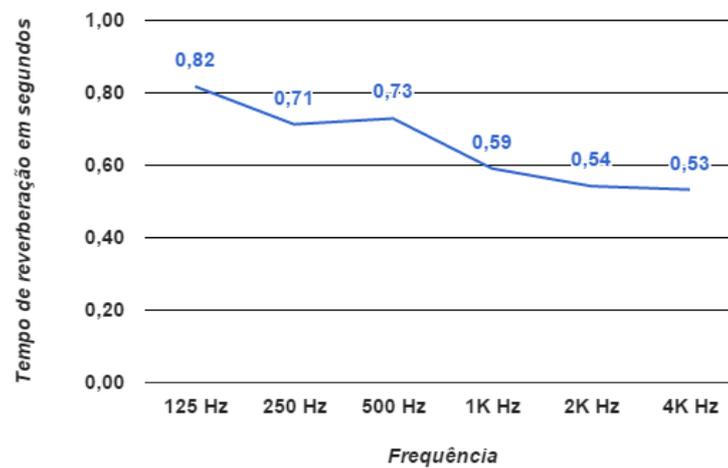
Depois de instalados 48 bancos acolchoados, conseguimos resultados bem melhores uma vez que agora os tempos de reverberação baixaram bastante, no entanto ainda existe a predominância das frequências graves. Uma acústica como a do gráfico acima não seria um problema se o ambiente fosse utilizado somente para palestras.

### Forro acústico

Na tentativa de diminuir os tempos de reverberação, os construtores decidiram instalar forro acústico no teto.



Observe como o forro acústico alterou os tempos de reverberação.

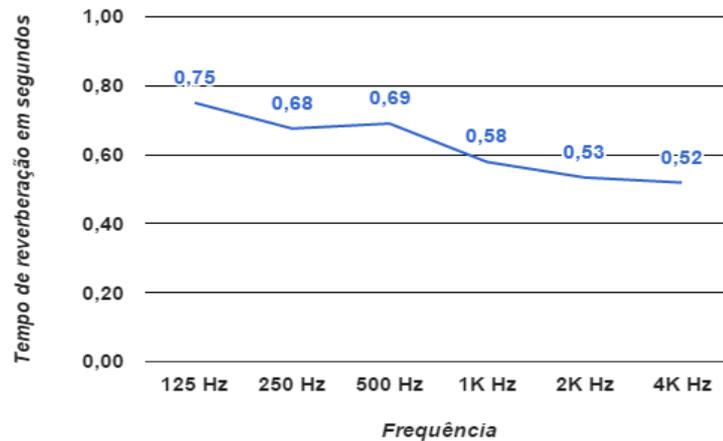


### Painéis vibrantes

Na tentativa de diminuir os graves, a parede atrás da plataforma do púlpito foi tratada com painéis vibrantes.



Vejamos no gráfico quais foram os resultados.



Perceba que houve uma sensível diminuição dos graves enquanto que os agudos ficaram quase intactos. Com essa curva de reverberação nosso ambiente terá uma boa inteligibilidade, mas ainda não está tudo resolvido.

A acústica do ambiente está muito “seca”, com RT60 variando de 0,75 a 0,52 segundos. Com um sistema de reforço acústico (sonorização) bem planejado, este ambiente estaria ótimo para qualquer programa sonoro microfonado e amplificado. No entanto, para um coral à capela<sup>14</sup> ou música de câmara<sup>15</sup>.

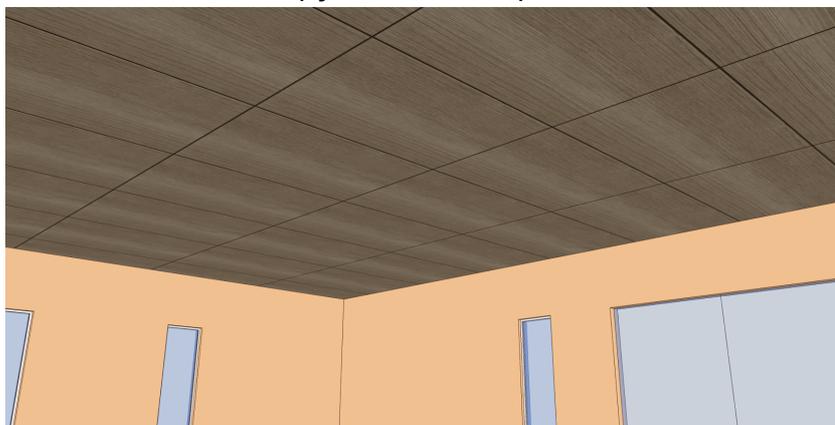
## Análise e adequação do RT60 do projeto inicial

Como mostra o gráfico anterior, o nosso ambiente ficou acusticamente muito “seco” e com um desequilíbrio entre os graves e agudos. O que poderíamos fazer para melhorar isto?

Analisando o gráfico vemos que o ambiente está absorvendo mais do que o necessário, principalmente nas frequências acima de 500 Hz. Poderíamos então ter utilizado forro de painéis vibrantes ao invés de forro acústico. Isto porque conforme nossa tabela de coeficiente de absorção, os painéis vibrantes absorvem bem menos agudos que o forro acústico além disto têm a característica de melhor absorção de graves.

Essa é a vantagem de calcular o tempo de reverberação antes de escolher o acabamento do ambiente: podemos prever problemas e encontrar soluções antes de gastar dinheiro.

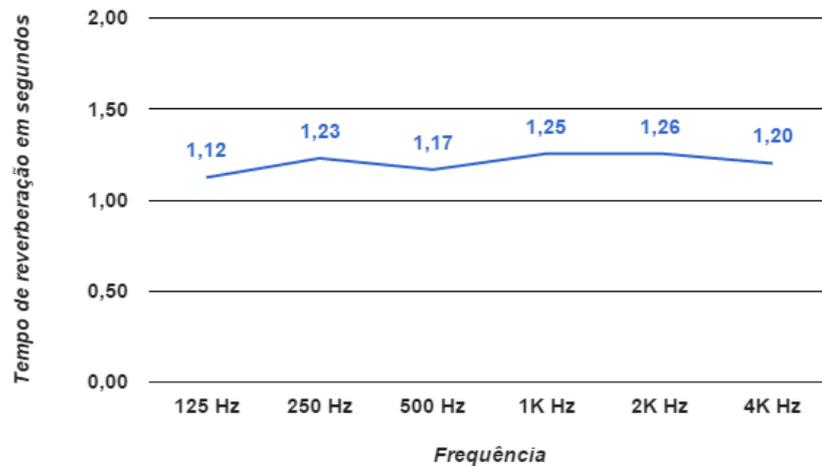
Vejamos nosso salão com a opção de forro de painéis vibrantes.



<sup>14</sup> O termo à capela significa que o coral não será acompanhado por nenhum instrumento ou playback.

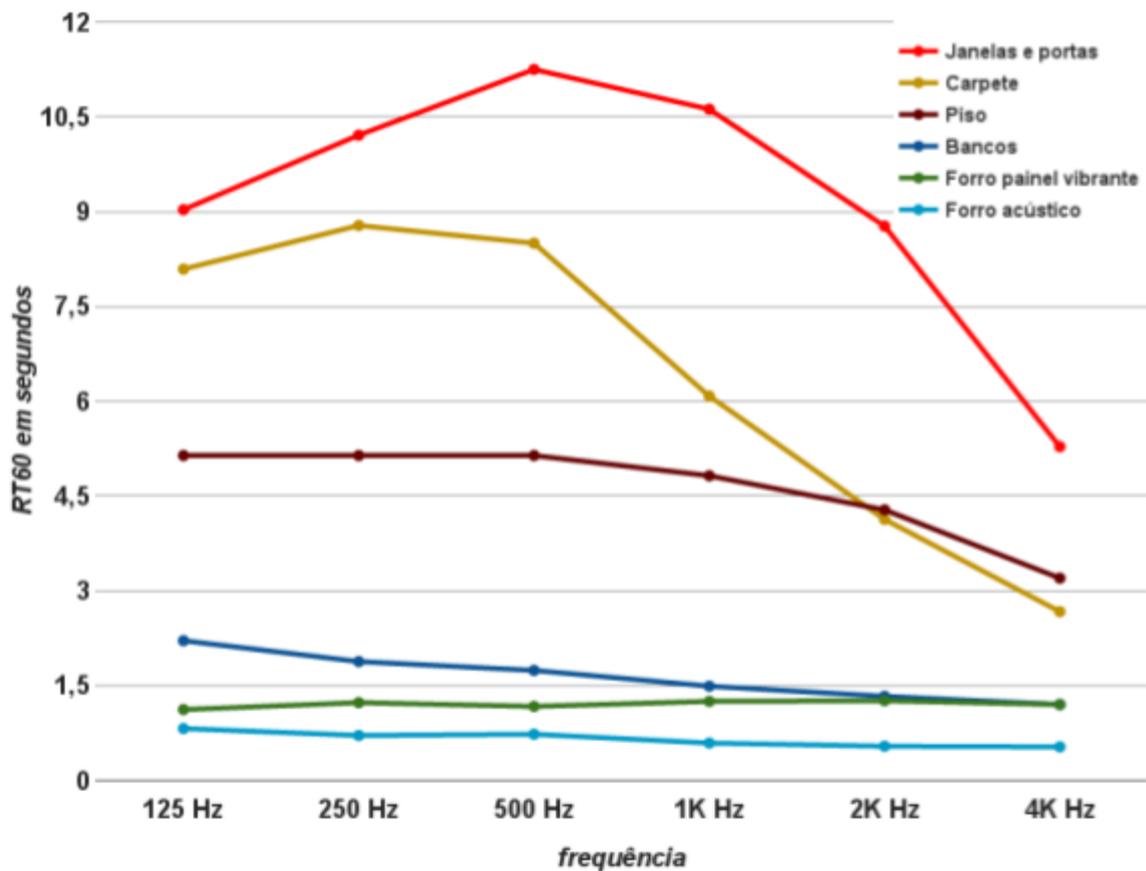
<sup>15</sup> Música de câmara é a música erudita composta para um pequeno grupo de instrumentos, duos, trios, quartetos, quintetos e outros.

E temos aqui o gráfico do tempo de reverberação resultante:



Agora conseguimos uma boa curva de tempo de reverberação onde os valores situam-se dentro da faixa recomendada além de apresentar uma boa uniformidade entre todas as frequências.

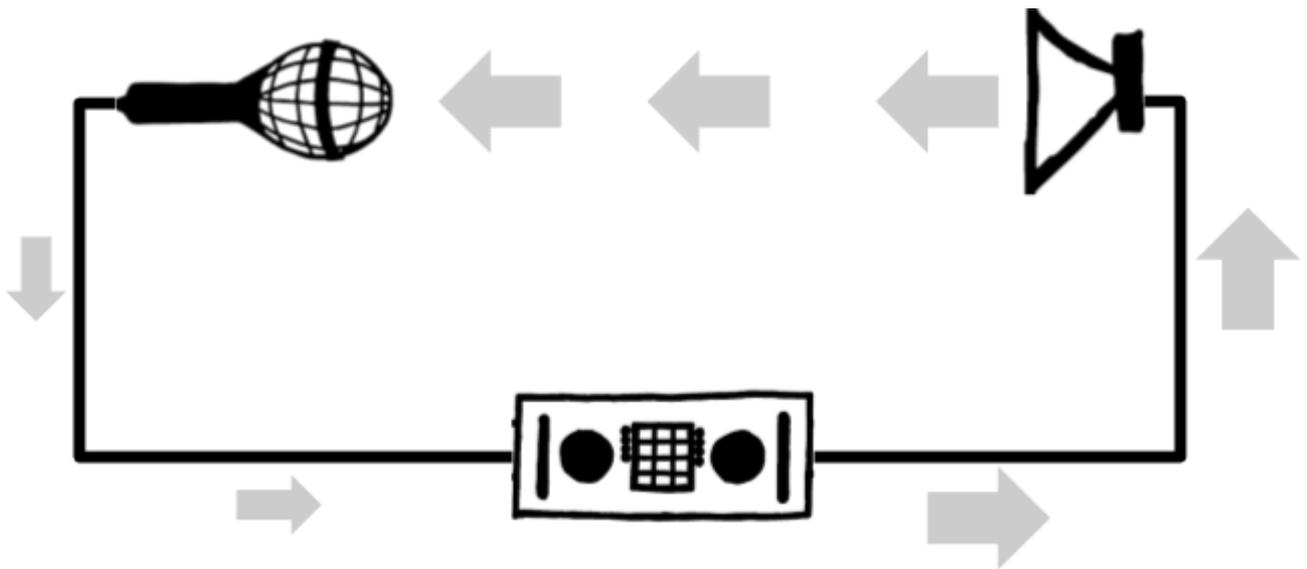
Comparando as etapas do projeto



## Microfonia

### O que é?

O termos técnicos para microfonia são realimentação acústica ou oscilação regenerativa. O termo popular microfonia surgiu pelo fato do fenômeno ocorrer principalmente quando estamos utilizando microfones. Os outros termos técnicos nos dão uma ideia do que é e como este fenômeno ocorre.



Realimentação acústica significa que a microfonia depende do acoplamento acústico entre o projetor de som e o microfone, ou seja para que o fenômeno ocorra é necessário que o microfone receba o som produzido pelo projetor. É uma realimentação porque o som emitido pelo projetor é o próprio som que já foi captado pelo microfone. Neste processo o microfone recebe um som que é amplificado pelo sistema e reproduzido pelo alto falante, o microfone recebe novamente esse som e o processo entra em um ciclo infinito de captação, amplificação e reprodução.

Oscilação regenerativa significa que este fenômeno ocorre em algumas frequências do espectro de áudio; especificamente nas frequências que estão se sobressaindo no sistema de áudio como um todo. Isso quer dizer que na prática a microfonia vai ocorrer primeiro nas frequências que estão sendo mais acentuadas pelo sistema de som. Por isso é importante que o som esteja bem equalizado, mantendo um equilíbrio entre todas as frequências, desde os graves até os agudos.

### PAG (ganho acústico potencial)

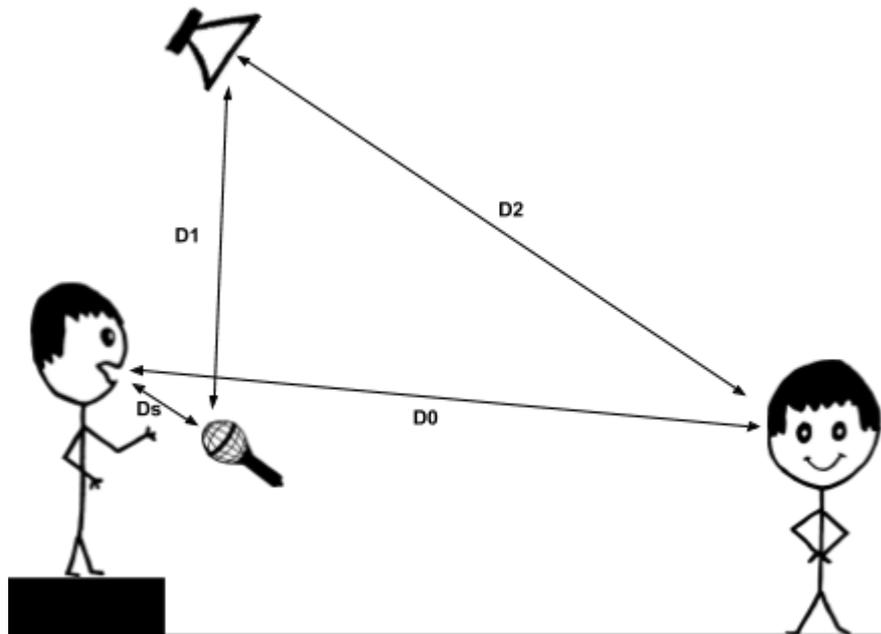
O ganho acústico de qualquer sistema pode ser aumentado bastando que aumentemos o controle de ganho dos equipamentos. Mas há um limite no qual o sistema entra em oscilação regenerativa (microfonia). Isso acontece exatamente quando o som proveniente

das caixas acústicas realimenta o microfone com tal nível que o sistema passa a reforçar, além do orador, também a si próprio.

O máximo ganho acústico que pode ser obtido do sistema antes que ocorra microfonia é chamado Ganho Acústico Potencial (PAG). Quanto maior for o Ganho Acústico Potencial (PAG), mais poderemos aumentar o volume do microfone sem que ocorra microfonia.

No sistema de som temos algumas distâncias notáveis que influenciam diretamente no PAG:

- A. Distância entre o projetor de som e o ouvinte mais afastado (D2).
- B. Distância entre o projetor de som e o microfone (D1).
- C. Distância entre o microfone e a boca do orador ou vocalista (Ds).
- D. Distância entre o orador ou vocalista e o ouvinte mais afastado (D0).



A tabela abaixo mostra como estas distâncias influenciam o PAG:

Distância	Quanto maior...		Quanto menor...	
	D0	Menor PAG	<b>Mais microfonia</b>	Maior PAG
D1	Maior PAG	Menos microfonia	Menor PAG	<b>Mais microfonia</b>
D2	Menor PAG	<b>Mais microfonia</b>	Maior PAG	Menos microfonia
Ds	Menor PAG	<b>Mais microfonia</b>	Maior PAG	Menos microfonia

Além dessas distâncias, a diretividade dos projetores de som e dos microfones também agem sobre o PAG. Veja a tabela a seguir:

	Quanto maior...		Quanto menor...	
Diretividade dos projetores e microfones	Maior PAG	Menos microfonia	Menor PAG	<b>Mais microfonia</b>

Temos ainda outros fatores importantes para o PAG e para a microfonia. São eles:

- A. Tempo de reverberação (RT60).
- B. Quantidade de microfones abertos.
- C. Planicidade na resposta de frequência (equalização).

Veja a tabela a seguir:

Fator	Quanto maior...	Quanto menor...
Reverberação (RT60)	<b>Mais microfonia</b>	Menos microfonia
Quantidade de microfones abertos	<b>Mais microfonia</b>	Menos microfonia
Planicidade na resposta de frequência	Menos microfonia	<b>Mais microfonia</b>

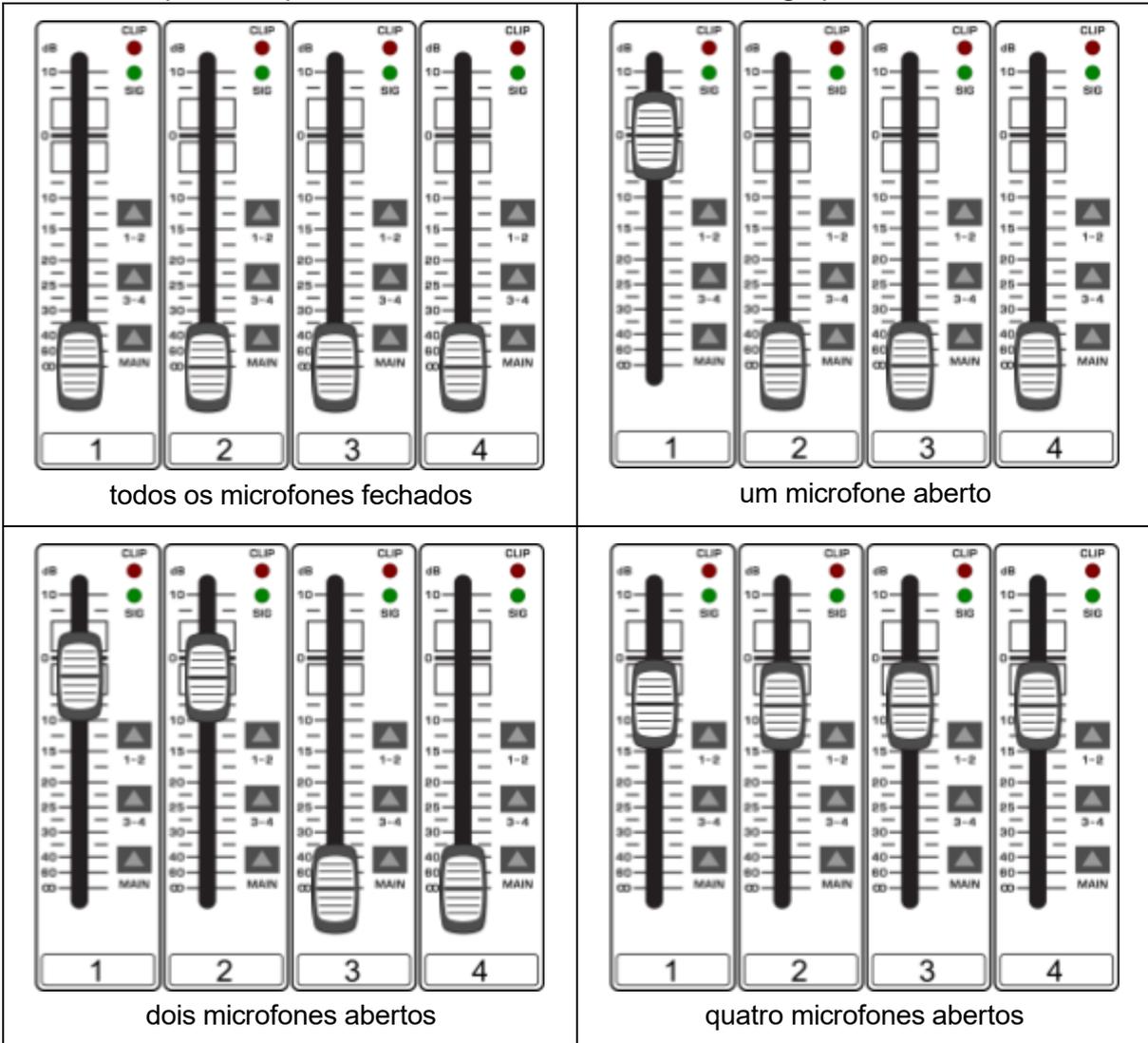
Quando o tempo de reverberação é grande, o som permanece por mais tempo dentro do ambiente sendo assim mais facilmente recaptado pelos microfones.

Podemos dizer que o PAG do sistema de som é compartilhado com os microfones que estiverem abertos. Se por exemplo abrirmos apenas 1 microfone e aumentarmos seu volume para o máximo possível antes de ocorrer microfonia, para abrir um segundo microfone precisaremos necessariamente diminuir o volume do primeiro. A regra é que a cada vez que dobrarmos a quantidade de microfones abertos, devemos reduzir em 3 dB o volume individual de todos.

Essa distribuição do ganho acústico potencial conforme abrirmos mais microfones é facilitada quando dispomos de uma mesa de som com recurso de sub mestres<sup>16</sup>, onde podemos agrupar os canais dos microfones antes de enviá-los ao “main”.

<sup>16</sup> Este e outros assuntos relacionados à mesa de som serão abordado no decorrer do curso.

Exemplo de sequência de abertura de microfones sem agrupamento de canais:



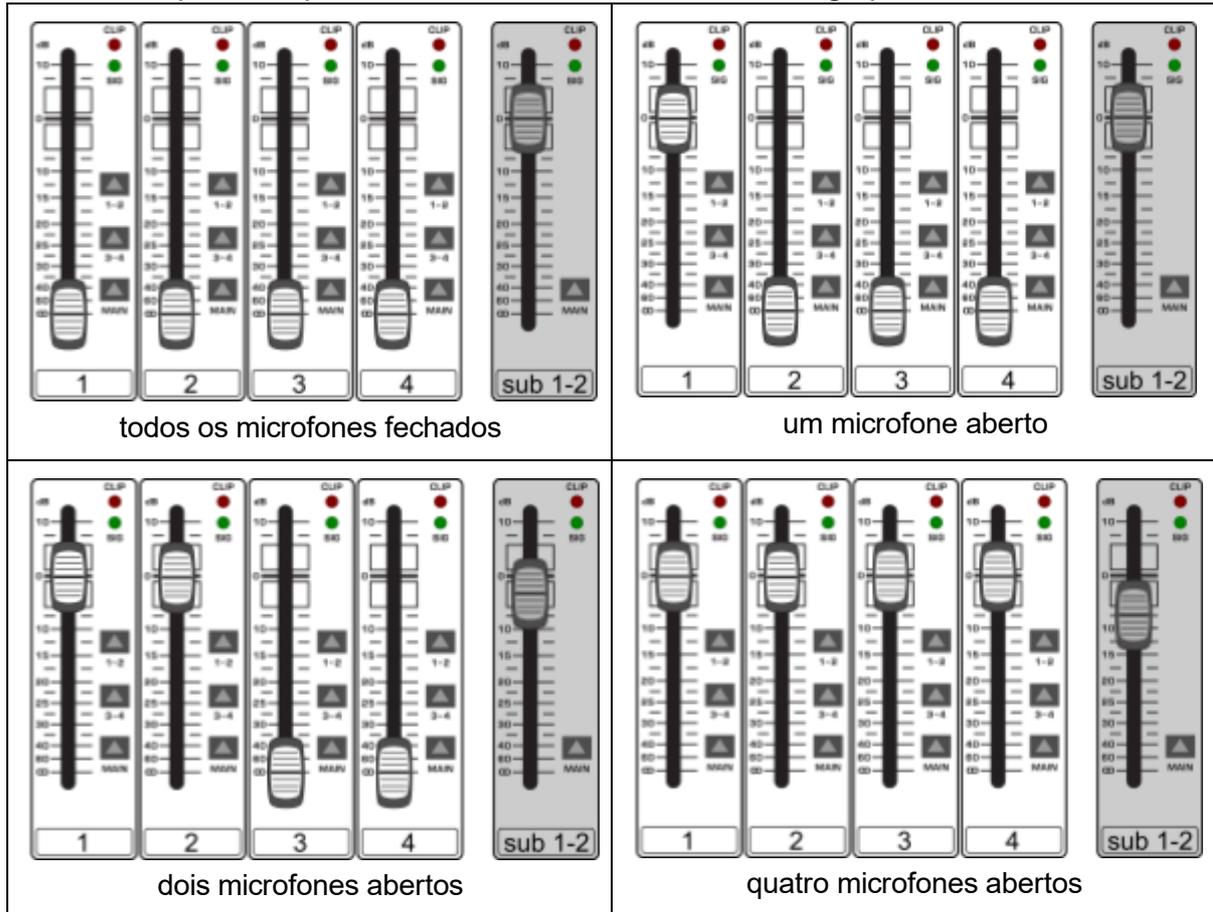
todos os microfones fechados

um microfone aberto

dois microfones abertos

quatro microfones abertos

Exemplo de sequência de abertura de microfones com agrupamento de canais:



A oscilação regenerativa ocorre somente se existir no sistema de som um componente capaz de “re-captar” o som proveniente dos projetores de som. Além dos microfones, que são os componentes mais comuns, os captadores de instrumentos eletroacústicos também podem provocar a microfonia. Por outro lado, se não houver a presença de tais componentes, simplesmente não haverá a possibilidade de microfonia, como por exemplo, sistemas de som que reproduzem apenas instrumentos eletrônicos (teclados, bateria eletrônica, etc...) ou reprodutores de áudio (CDs, Tape-Deck, etc...). Por esse motivo, para operar um sistema de reforço acústico, devemos ter em mente que o nível de pressão sonora do programa (“volume do som”) deve, obrigatoriamente, ter os microfones como referência (“jamais comece ajustar o nível do programa pelos instrumentos e sim pelos microfones dos vocalistas”).

## Como diminuir a ocorrência de microfonia?

Como vimos até agora, existem muitos fatores envolvidos na ocorrência da microfonia. Então o que temos a fazer é verificar em nosso sistema de som quais desses fatores podem ser melhorados. Como na maioria das vezes estamos trabalhando com um sistema de som fixo e instalado, não podemos mexer em todos os fatores, mas com certeza algumas coisas podem ser feitas em cada caso.

Agrupando cada um dos fatores já vistos, temos as seguintes possibilidades:

## Posicionamento das caixas acústicas e microfones

O posicionamento das caixas acústicas determina as distâncias D1 e D2. Se existe a possibilidade de reposicioná-las de forma que D1 aumente e D2 diminua, esta deve ser a primeira providência para diminuir a microfonia.

A melhor posição dos microfones é aquela em que não estejam recebendo som direto das caixas. Também devemos manter os microfones “de costas” para as caixas.

## Manuseio dos microfones

A distância  $D_s$  é na maioria das vezes determinada pelos usuários do microfone. Precisamos orientar os cantores e preletores a manter o microfone próximo e direcionado à boca. Um  $D_s$  maior que 20cm já dificulta muito o evitamento de microfonia, o ideal é manter o microfone a uma distância entre 5 e 10 cm da boca e alinhado com ela.

## Diretividade das caixas acústicas e microfones

Quando estudamos sobre microfones, vimos como o padrão polar deles é importante para determinar como utilizá-los; vimos também que os microfones omnidirecionais devem ser evitados quando a microfonia é um problema.

As caixas acústicas devem ser direcionadas o menos possível para as paredes. Desta forma aproveitamos a diretividade em nosso favor, melhorando a inteligibilidade e diminuindo a microfonia.

## Tratamento acústico

Qualquer ambiente com tempo de reverberação bem adequado será menos propenso à microfonia. Por isso é sempre prioridade um tratamento acústico quando a microfonia está sendo um problema.

## Microfones abertos

Devemos manter sempre o mínimo de microfones abertos. Ou seja, todo microfone que não estiver sendo usado no momento deve ser fechado, liberando assim o ganho acústico potencial (PAG) para aqueles que estão sendo utilizados. Para isso devemos utilizar o botão “mute” na mesa de som para fechar e abrir os microfones durante o programa, sem alterar os seus volumes.

## Resposta de frequência plana

Antes de pensar em utilizar um equalizador, devemos sempre utilizar caixas acústicas bem projetadas que tenham uma resposta de frequência balanceada.

## Posicionamento de Projetores de Som

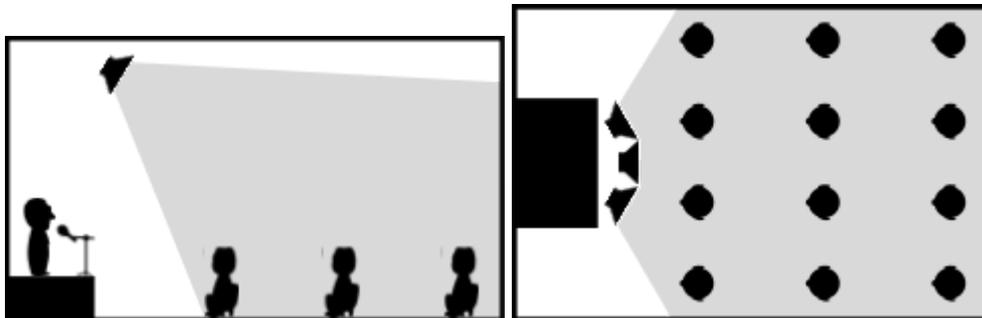
Como já sabemos, no sistema de sonorização os projetores de som interagem diretamente com a acústica ambiente para produzir o resultado sonoro final. Nessa interação o posicionamento dos projetores tem um papel decisivo no resultado. Em muitos casos o sistema de som com o qual estamos trabalhando já está instalado fixo no local, mas mesmo assim, entender como isso tudo funciona nos dá uma melhor visão do que está acontecendo, facilitando a tomada de decisões na hora de operar o som.

### Tipos de posicionamento

Basicamente existem três tipos de posicionamento dos projetores de som: fonte única, fonte única dividida e projetores distribuídos. Para sonorizar um ambiente podemos utilizar um tipo de posicionamento específico, combinar vários tipos ou adaptar essas possibilidades para a nossa realidade. Quando um local de eventos é construído a partir de um projeto arquitetônico que leva em consideração o sistema de sonorização que será instalado, o tipo de posicionamento dos projetores já é definido antes da construção prédio. Como muitas vezes esse planejamento prévio não foi feito, o posicionamento dos projetores não pode ser feito de forma ideal e as adaptações se tornam necessárias.

### Fonte única

Neste tipo de posicionamento um ou mais projetores de som são agrupados em um só local e todo ambiente recebe sons diretos desse único projetor ou grupo.

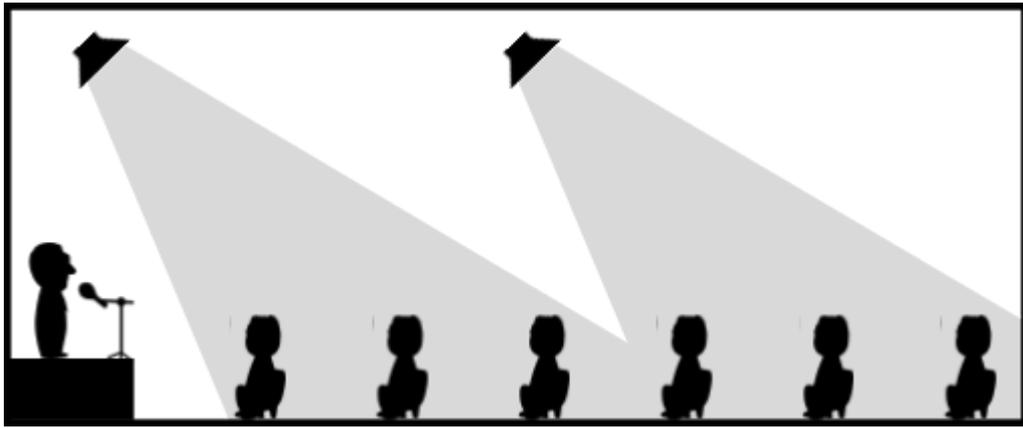


### Características gerais

- Grandes distâncias D1 e D2
- Melhor inteligibilidade
- Menos propensão à microfonia

### Fonte única dividida

Em situações em que o ambiente é mais comprido pode ser necessário dividir a fonte única em mais pontos, para proporcionar a cobertura sônica total ou para diminuir a distância D2.



Uma peculiaridade desse tipo de posicionamento é que a distância máxima entre os dois pontos de projeção deve ser de 14 metros. Para distâncias maiores é necessário a utilização da técnica de atraso de sinais para “sincronizar” os sons emitidos pelos diferentes pontos de projeção.

### Características gerais

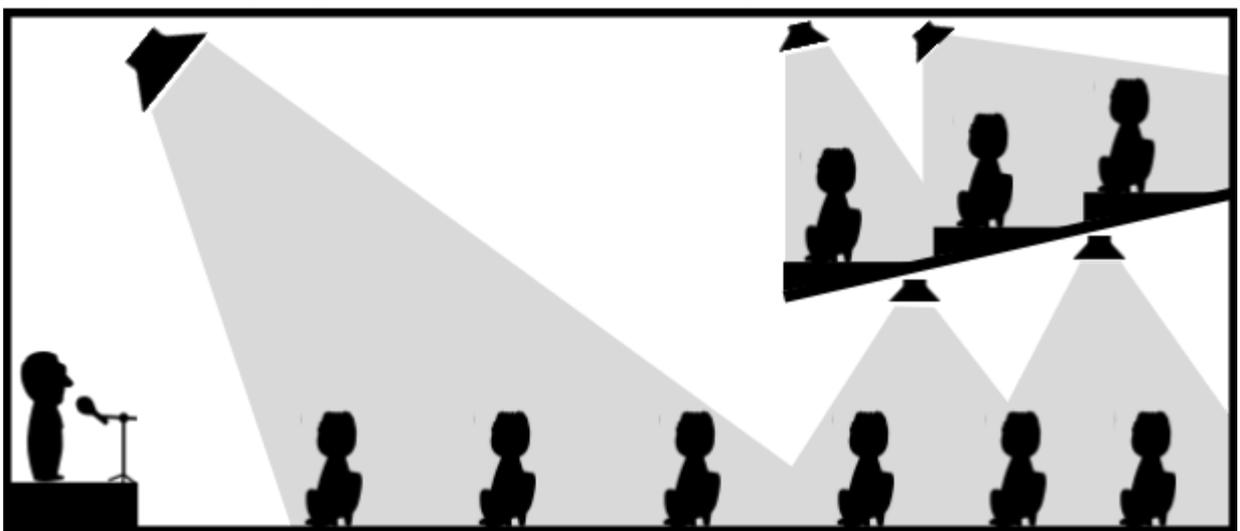
Um sistema de fonte única dividida bem projetado mantém as mesmas características de fonte única normal.

- Grandes distâncias D1 e D2
- Melhor inteligibilidade
- Menos propensão à microfonia

### Projetores distribuídos

Nesta modalidade, vários projetores de som são distribuídos no ambiente, sendo que cada projetor é responsável por cobrir uma área específica.

Geralmente os projetores distribuídos são utilizados para cobrir uma parte da plateia que não pode ser alcançada pelo sistema principal, como por exemplo galerias. Como no caso de fonte única dividida, é necessário utilizar atraso de sinais quando a distância entre os projetores da fonte principal e o som distribuído for maior que 14 metros.



### Características gerais

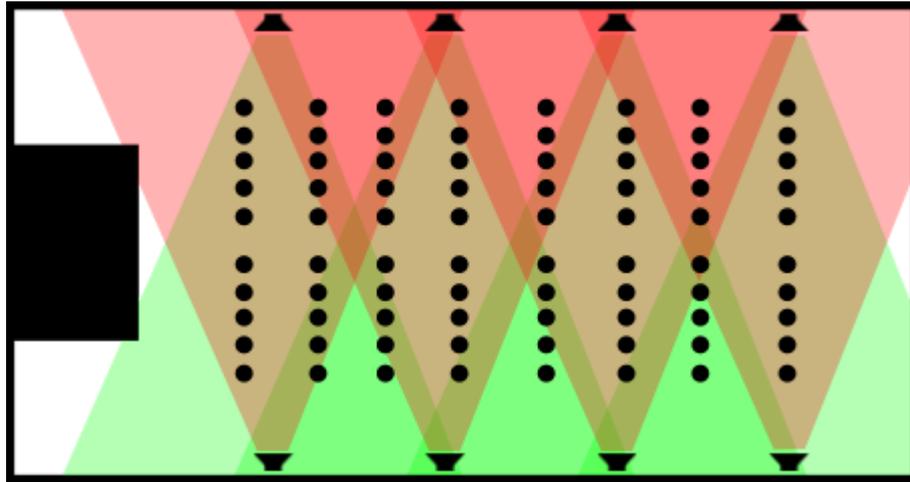
- Grandes distâncias D1

- Pequenas distâncias D2
- Som melhor distribuído

Às vezes a geometria do ambiente exige a utilização de projetores distribuídos como sistema principal. Mas devemos saber que quando utilizamos projetores distribuídos em grandes ambientes, a tendência é que a inteligibilidade fique muito prejudicada, a não ser que o ambiente receba um tratamento acústico para reduzir o tempo de reverberação para valores menores que 1 segundo.

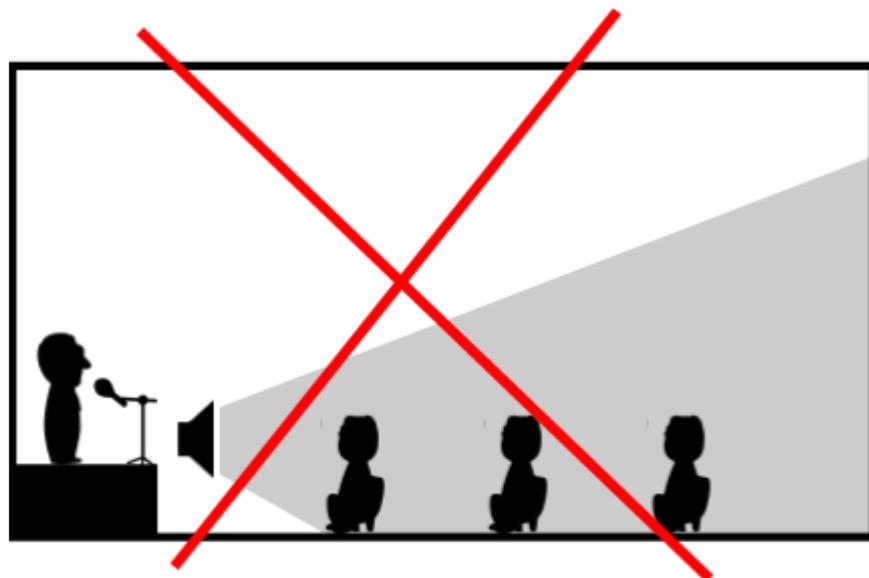
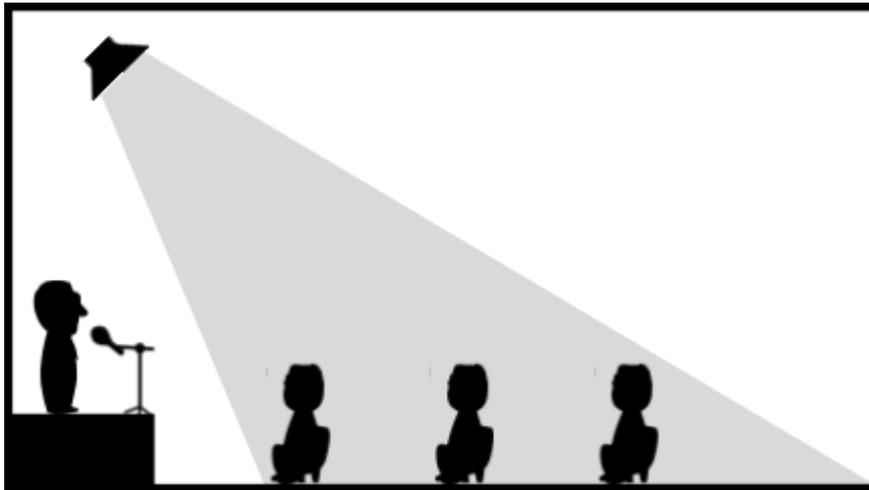
Na figura temos um exemplo ruim dessa situação, em que um projetor “invade” a área de cobertura do outro.

Cada nuance de cor representa uma forma diferente de interação entre os projetores de som. Esse tipo de sistema só produzirá bons resultados sonoros se o ambiente tiver uma boa acústica e um RT60 bem pequeno.



## Cuidados ao escolher o tipo de posicionamento

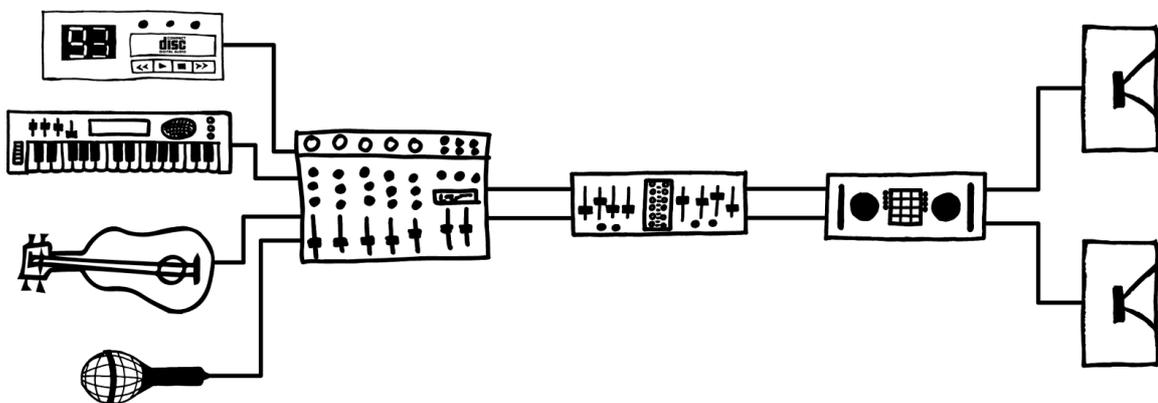
- Quanto mais pontos de projeção de som dentro de um ambiente, maiores problemas de inteligibilidade, maior propensão ao fenômeno de cancelamento de fase e eventual necessidade de técnicas complexas de atraso de sinais.
- Em qualquer sistema há um limite máximo para D2 até onde a inteligibilidade não é intoleravelmente prejudicada pela relação entre campo reverberante e som direto, esse limite é chamado de DL (distância limite).
- Em qualquer sistema de som há uma distância crítica a partir do projetor de som em que a intensidade do campo reverberante é igual à intensidade do som direto produzido por esse projetor, esta é a distância DC.
- Os projetores nunca devem ficar abaixo da altura da plateia. Quanto maior a distância a ser alcançada pelos projetores, maior será a altura de posicionamento.



## Mono ou Estéreo?

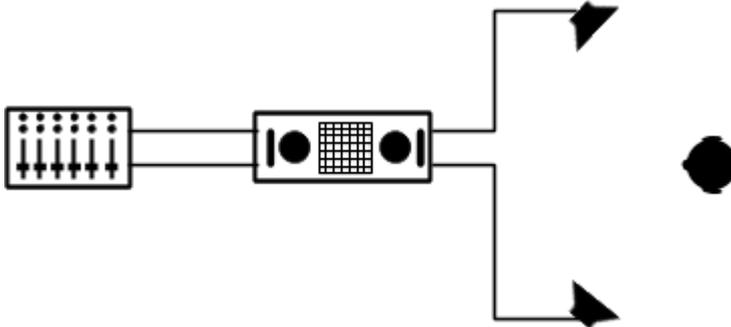
Falando sobre posicionamento de projetores de som, uma das questões que nos vem à mente é estereofonia. O sistema de sonorização será mono ou estéreo?

Em aulas anteriores vimos rapidamente o que é um sistema mono ou estéreo sob o aspecto do sinal de áudio e das formas de combinação de amplificadores e caixas acústicas.

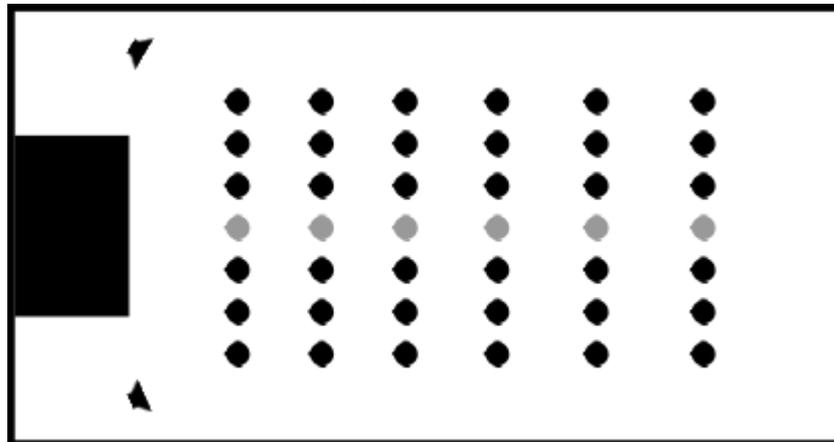


No entanto quando falamos de grandes ambientes, o efeito espacial esperado por um sistema estereofônico se torna difícil de ser alcançado.

Para que o efeito da estereofonia seja percebido é necessário que cada ouvinte receba som direto de projetores de som à sua esquerda e à direita, e que tais sons cheguem com a mesma intensidade e sem atraso de um em relação ao outro. Essas condições impostas para o aproveitamento do efeito estereofônico dificilmente são possíveis em grandes ambientes justamente pelas distâncias envolvidas nesse tipo de sistema de som.



Na figura a seguir vemos uma tentativa de montagem estéreo em um ambiente hipotético utilizando-se projetores de som posicionados na frente da plateia.



Em uma situação como essa só poderíamos esperar a percepção do efeito estereofônico para os ouvintes assentados no eixo central da plateia, e mesmo assim o ambiente precisaria ter uma acústica tal que o campo reverberante e as reflexões das paredes não encobrissem a estereofonia. Por isso em sonorização de ambientes é melhor nos preocuparmos com a cobertura sônica e a inteligibilidade, deixando o “efeito espacial” como resultado natural da própria acústica ambiente.

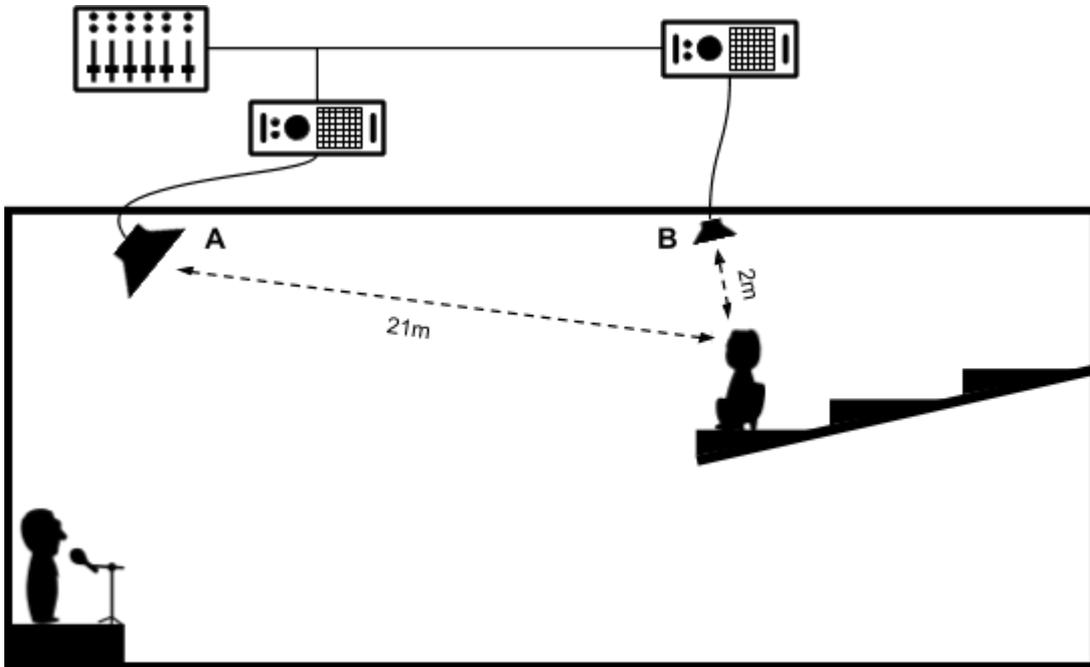
Isso não significa que não possamos “dosar” diferentemente os microfones e instrumentos entre os canais esquerdo e direito do sistema de som, pelo contrário, balancear com pequenas diferenças de níveis (no máximo 6 db) entre os canais esquerdo e direito os instrumentos e microfones pode reduzir o cancelamento de fase e melhorar a inteligibilidade.

## Técnica de atraso de sinais

Quando estudamos sobre eco, aprendemos que para que esse fenômeno ocorra é necessário que a reflexão de um som seja ouvida com um atraso mínimo em relação ao som original, vimos também que a distância entre o ouvinte e a barreira acústica está diretamente relacionada com esse atraso do som.

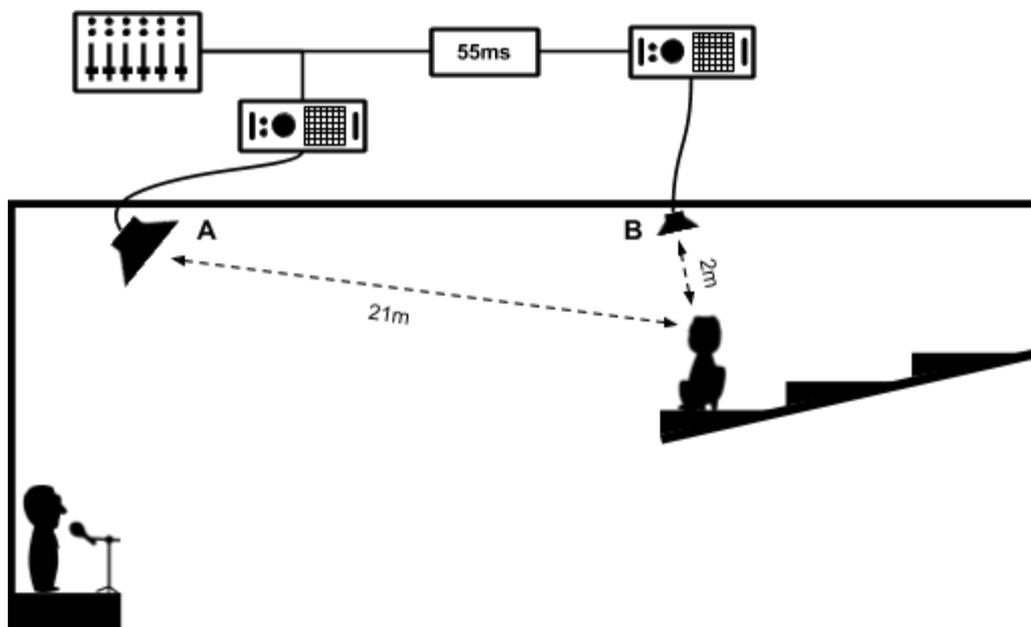
Quando utilizamos fonte única dividida ou fonte única combinada com projetores distribuídos em galerias será necessário fazer com que os sons diretos dos projetores cheguem em sincronia aos ouvintes. A técnica de atraso de sinais consiste em fazer com que os projetores mais afastados sofram um atraso na emissão do som para compensar a diferença de distância entre esses projetores e os primeiros.

Por exemplo:



Na situação apresentada na figura o som leva 61 ms (sessenta e um milissegundos) para viajar do projetor A até o ouvinte, enquanto que saindo do projetor B a viagem leva apenas 6 ms. Portanto, o som proveniente de A chega ao ouvinte 55 ms depois do som proveniente de B. Esse atraso é mais que suficiente para que o ouvinte ouça um eco, ao invés de ouvir um som normal.

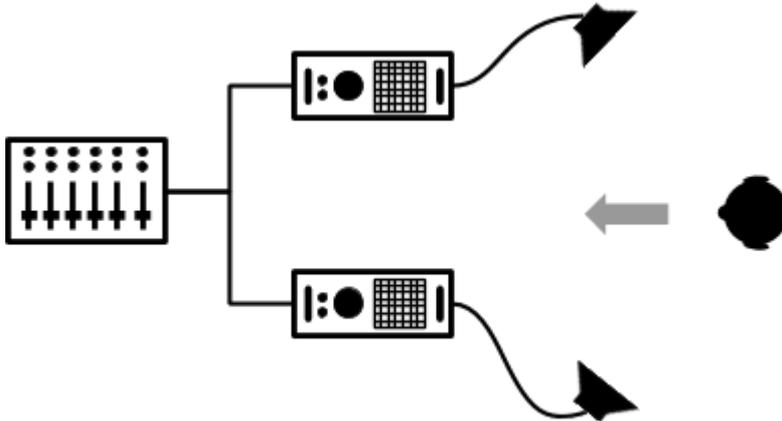
Para que o ouvinte ouça A e B sincronizadamente, é necessário introduzirmos um atraso de 55ms no sinal de áudio do projetor B. Isso é possível com a instalação de um equipamento de delay entre a mesa de som e o amplificador do projetor B.



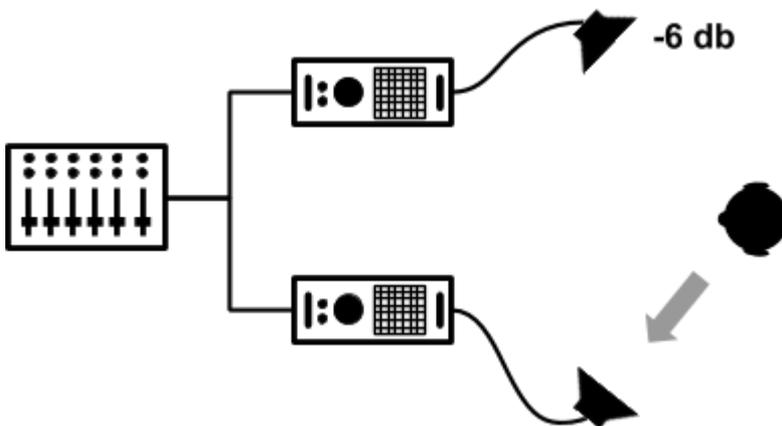
## Efeito Haas

Quando utilizamos a técnica de atraso de sinais podemos fazer mais do que sincronizar os sons dos projetores. Tirando proveito de um fenômeno psico acústico conhecido como efeito Haas, podemos criar no ouvinte a sensação de que todo o som direto está vindo da frente. Vamos entender melhor esse fenômeno?

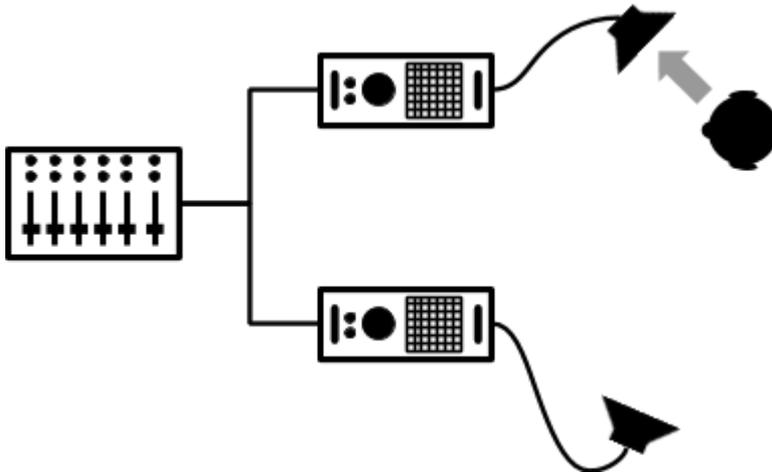
Efeito Haas é o fenômeno pelo qual nosso sistema auditivo pode ser “enganado” quanto à direção de onde o som está vindo. Veja as ilustrações:



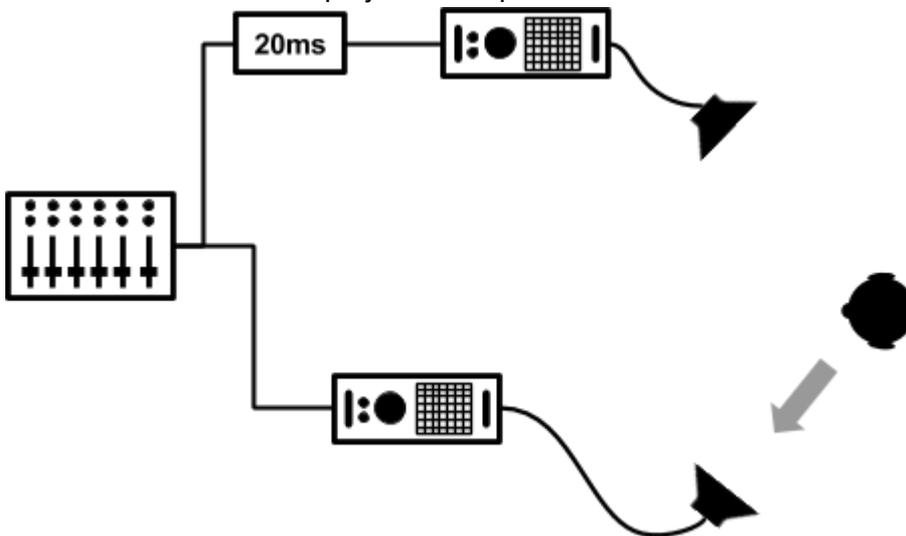
Quando temos dois projetores de som posicionados à esquerda e à direita com a mesma distância até o ouvinte e produzindo a mesma intensidade sonora, a sensação auditiva é que o som está vindo de frente no eixo axial entre os projetores.



Se um projetor de som opera com 6 dB a menos que o outro, a sensação auditiva será que o som está vindo totalmente do projetor com maior intensidade.

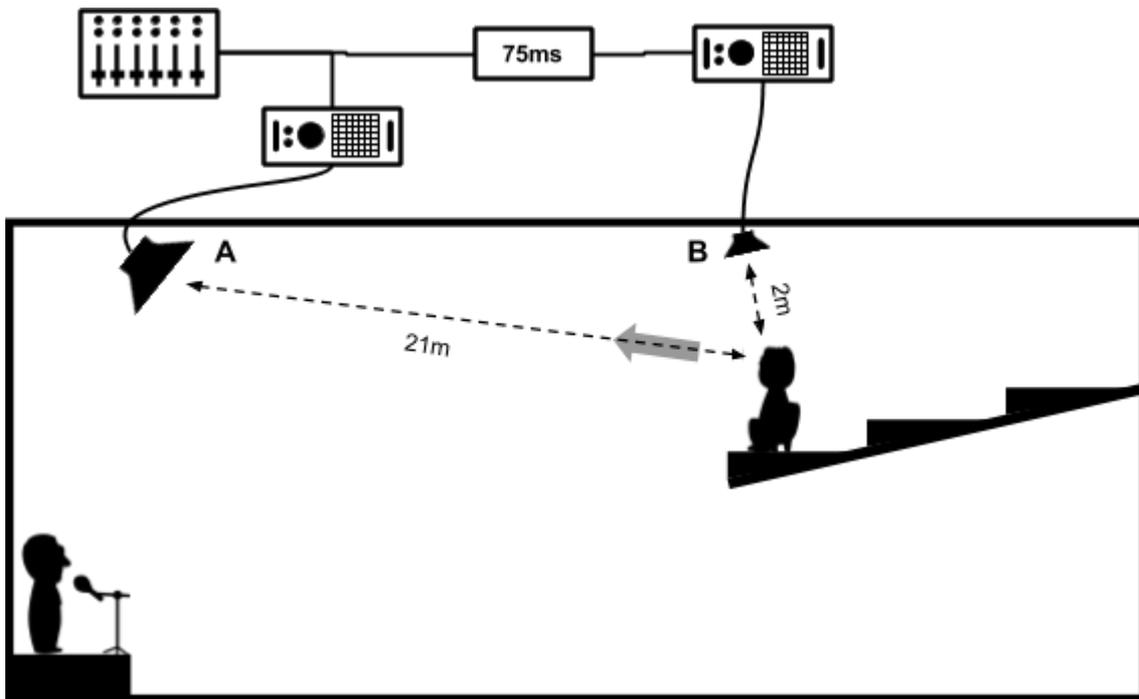


Se o ouvinte está mais próximo de um dos projetores a sensação auditiva é que o som está vindo totalmente do projetor mais próximo.



Quando o sinal de um dos projetores tiver um atraso de 20ms em relação ao outro, a sensação auditiva será de que o som está vindo totalmente do projetor sem atraso.

Utilizando o conceito do efeito Hass a técnica de atraso de sinais, podemos acrescentar mais 20ms ao atraso que seria apenas para sincronizar os projetores de som. Com isso a sensação auditiva do ouvinte na galeria é a de que o som está vindo do projetor principal e não do projetor instalado na galeria.

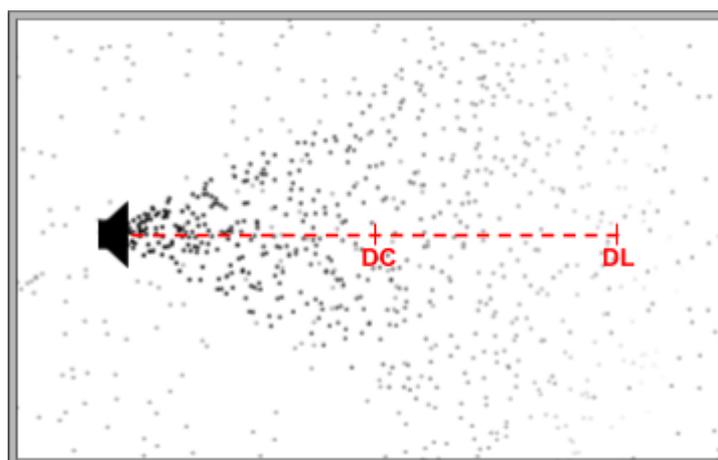


## Distância crítica (DC) e Distância limite (DL)

Na sonorização de ambientes dois dos conceitos importantes para a determinação do posicionamento dos projetores são a distância crítica (DC) e a distância limite (DL)

**Distância crítica (DC)** é a distância no eixo axial do projetor em que a intensidade do som emitido por esse projetor é igual à intensidade do campo reverberante. Essa também é a distância mínima que deve haver entre os microfones e os projetores de som.

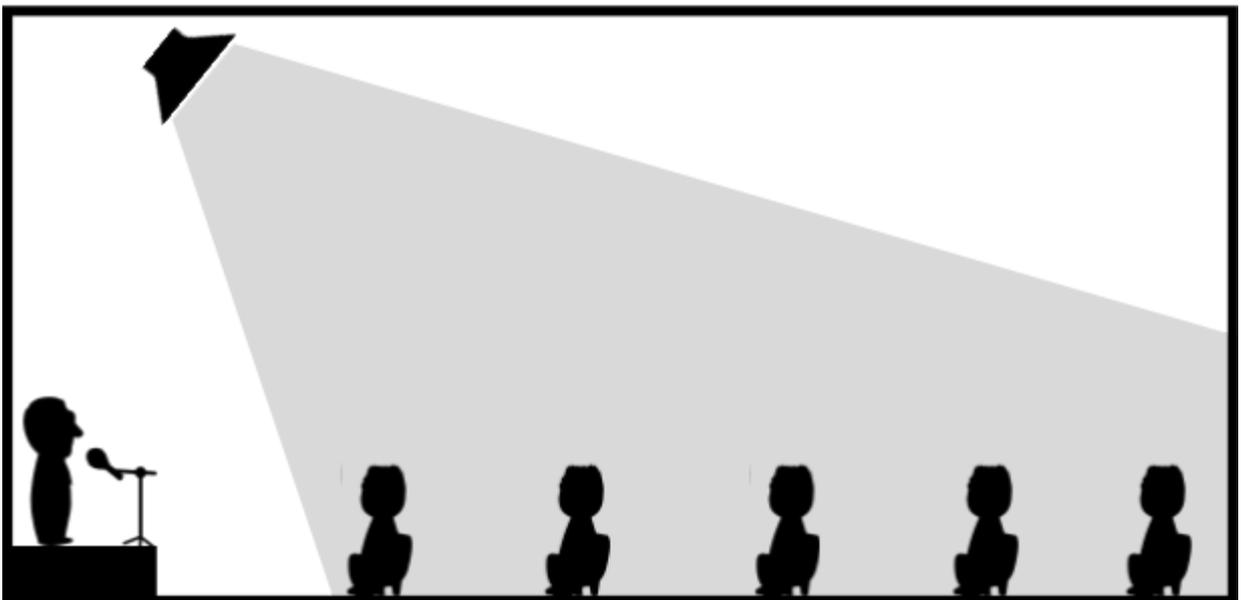
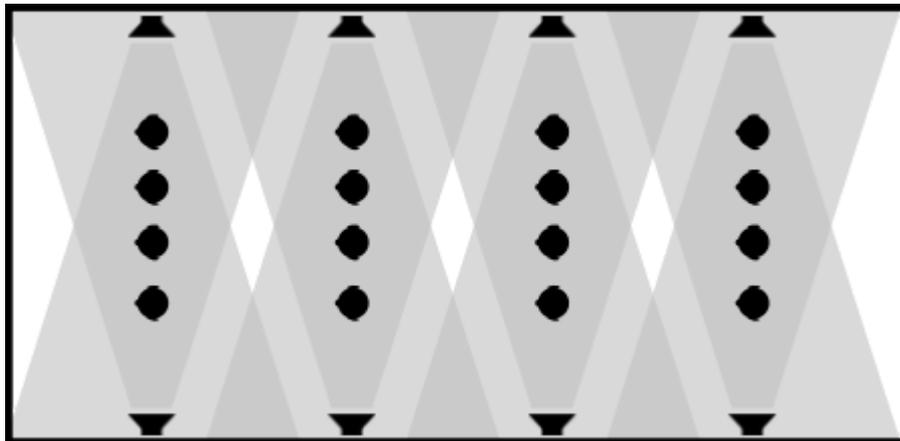
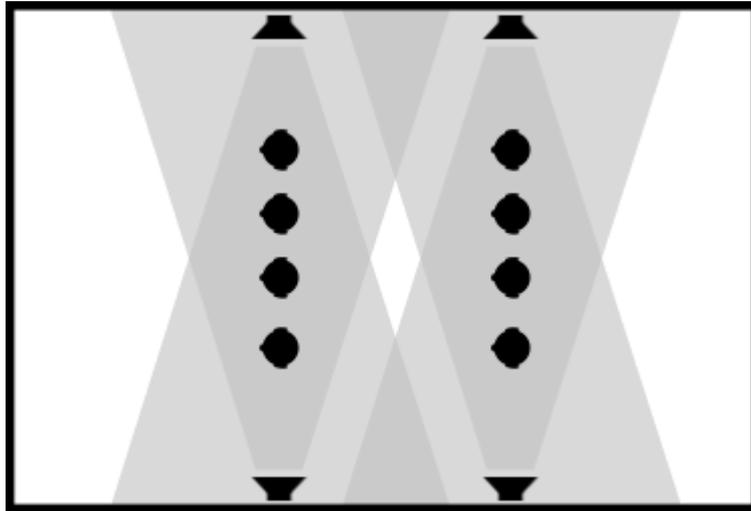
**Distância limite (DL)** é distância máxima entre o projetor de som e o ouvinte para que se tenha uma boa inteligibilidade.

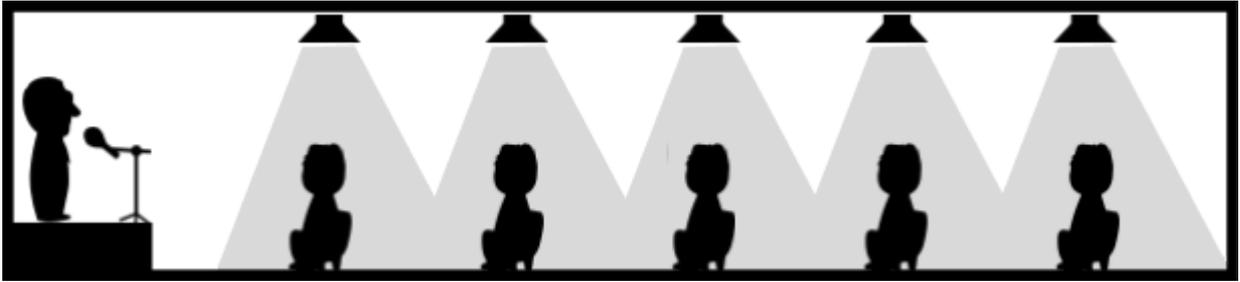


Para calcular DC e DL de um ambiente precisamos saber qual o volume interno do ambiente (em  $m^3$ ), o RT60 médio e o fator **N**.

Fator **N** é a relação entre todos os projetores de som num ambiente e os projetores que estão enviando som direto para o ouvinte. Por exemplo, se num ambiente temos no total 4 projetores de som sendo que cada ouvinte recebe sons diretos de 2 deles, o fator N será igual

a 2; porque 4 dividido por 2 é igual a 2. Num outro exemplo, se temos 8 projetores de som sendo que cada ouvinte recebe sons diretos de 2 deles, o fator N será igual a 4 e assim por diante.





$$N = \frac{\text{Total de projetores}}{\text{Nº de projetores enviando som direto para cada ouvinte}}$$

Para simplificar os cálculos desenvolvemos especialmente para o nosso curso de sonorização as seguintes equações:

$$DC = 0,141 \sqrt{\frac{K}{N}}$$

$$DL = DC \times 3,16$$



Observe que quanto maior o valor de **K**, maior será a DC e a distância limite disponível, o que é muito bom. Enquanto que quanto maior o fator **N** mais limitada será a distância limite, o que diminui nossas possibilidades de posicionamentos.

O valor de **K** está relacionado com o volume interno e o RT60 do ambiente. Também para simplificação, apresentamos uma tabela genérica com os valores de **K** para alguns valores de RT60 e para ambientes com um volume interno de até 16.000m<sup>3</sup>.

Apesar de ser um método de cálculo simplificado e não exato, os números obtidos são suficientes para nos fornecer um bom resultado prático.

Tabela K

Volume	RT60				
	m³	0,6	1	1,5	3
150	242	145	97	48	36
165	266	159	106	53	40
180	290	174	116	58	43
195	314	188	126	63	47
210	338	203	135	68	51
225	362	217	145	72	54
240	386	232	155	77	58
255	411	246	164	82	62
270	435	261	174	87	65
285	459	275	184	92	69
300	483	290	193	97	72
315	507	304	203	101	76
330	531	319	213	106	80
345	555	333	222	111	83
360	580	348	232	116	87
375	604	362	242	121	91
390	628	377	251	126	94
405	652	391	261	130	98
420	676	406	270	135	101
435	700	420	280	140	105
450	725	435	290	145	109
465	749	449	299	150	112
480	773	464	309	155	116
495	797	478	319	159	120
500	805	483	322	161	121
520	837	502	335	167	126
540	869	522	348	174	130
560	902	541	361	180	135
580	934	560	374	187	140
600	966	580	386	193	145
620	998	599	399	200	150
640	1.030	618	412	206	155
660	1.063	638	425	213	159
680	1.095	657	438	219	164
700	1.127	676	451	225	169
720	1.159	696	464	232	174
740	1.191	715	477	238	179
760	1.224	734	489	245	184
780	1.256	753	502	251	188
800	1.288	773	515	258	193
820	1.320	792	528	264	198
840	1.352	811	541	270	203
860	1.385	831	554	277	208
880	1.417	850	567	283	213
900	1.449	869	580	290	217
920	1.481	889	592	296	222
940	1.513	908	605	303	227
960	1.546	927	618	309	232
980	1.578	947	631	316	237
1.000	1.610	966	644	322	242

Volume	RT60				
	m³	0,6	1	1,5	3
1.100	1.771	1.063	708	354	266
1.200	1.932	1.159	773	386	290
1.300	2.093	1.256	837	419	314
1.400	2.254	1.352	902	451	338
1.500	2.415	1.449	966	483	362
1.600	2.576	1.546	1.030	515	386
1.700	2.737	1.642	1.095	547	411
1.800	2.898	1.739	1.159	580	435
1.900	3.059	1.835	1.224	612	459
2.000	3.220	1.932	1.288	644	483
2.100	3.381	2.029	1.352	676	507
2.200	3.542	2.125	1.417	708	531
2.300	3.703	2.222	1.481	741	555
2.400	3.864	2.318	1.546	773	580
2.500	4.025	2.415	1.610	805	604
2.600	4.186	2.512	1.674	837	628
2.700	4.347	2.608	1.739	869	652
2.800	4.508	2.705	1.803	902	676
2.900	4.669	2.801	1.868	934	700
3.000	4.830	2.898	1.932	966	725
3.100	4.991	2.995	1.996	998	749
3.200	5.152	3.091	2.061	1.030	773
3.300	5.313	3.188	2.125	1.063	797
3.400	5.474	3.284	2.190	1.095	821
3.500	5.635	3.381	2.254	1.127	845
3.600	5.796	3.478	2.318	1.159	869
3.700	5.957	3.574	2.383	1.191	894
3.800	6.118	3.671	2.447	1.224	918
3.900	6.279	3.767	2.512	1.256	942
4.000	6.440	3.864	2.576	1.288	966
4.100	6.601	3.961	2.640	1.320	990
4.200	6.762	4.057	2.705	1.352	1.014
4.300	6.923	4.154	2.769	1.385	1.038
4.400	7.084	4.250	2.834	1.417	1.063
4.500	7.245	4.347	2.898	1.449	1.087
4.600	7.406	4.444	2.962	1.481	1.111
4.700	7.567	4.540	3.027	1.513	1.135
4.800	7.728	4.637	3.091	1.546	1.159
4.900	7.889	4.733	3.156	1.578	1.183
5.000	8.050	4.830	3.220	1.610	1.208
5.100	8.211	4.927	3.284	1.642	1.232
5.200	8.372	5.023	3.349	1.674	1.256
5.300	8.533	5.120	3.413	1.707	1.280
5.400	8.694	5.216	3.478	1.739	1.304
5.500	8.855	5.313	3.542	1.771	1.328
5.600	9.016	5.410	3.606	1.803	1.352
5.700	9.177	5.506	3.671	1.835	1.377
5.800	9.338	5.603	3.735	1.868	1.401
5.900	9.499	5.699	3.800	1.900	1.425
6.000	9.660	5.796	3.864	1.932	1.449

Volume	RT60				
	m³	0,6	1	1,5	3
6.200	9.982	5.989	3.993	1.996	1.497
6.400	10.304	6.182	4.122	2.061	1.546
6.600	10.626	6.376	4.250	2.125	1.594
6.800	10.948	6.569	4.379	2.190	1.642
7.000	11.270	6.762	4.508	2.254	1.691
7.200	11.592	6.955	4.637	2.318	1.739
7.400	11.914	7.148	4.766	2.383	1.787
7.600	12.236	7.342	4.894	2.447	1.835
7.800	12.558	7.535	5.023	2.512	1.884
8.000	12.880	7.728	5.152	2.576	1.932
8.200	13.202	7.921	5.281	2.640	1.980
8.400	13.524	8.114	5.410	2.705	2.029
8.600	13.846	8.308	5.538	2.769	2.077
8.800	14.168	8.501	5.667	2.834	2.125
9.000	14.490	8.694	5.796	2.898	2.174
9.200	14.812	8.887	5.925	2.962	2.222
9.400	15.134	9.080	6.054	3.027	2.270
9.600	15.456	9.274	6.182	3.091	2.318
9.800	15.778	9.467	6.311	3.156	2.367
10.000	16.100	9.660	6.440	3.220	2.415
10.200	16.422	9.853	6.569	3.284	2.463
10.400	16.744	10.046	6.698	3.349	2.512
10.600	17.066	10.240	6.826	3.413	2.560
10.800	17.388	10.433	6.955	3.478	2.608
11.000	17.710	10.626	7.084	3.542	2.657
11.200	18.032	10.819	7.213	3.606	2.705
11.400	18.354	11.012	7.342	3.671	2.753
11.600	18.676	11.206	7.470	3.735	2.801
11.800	18.998	11.399	7.599	3.800	2.850
12.000	19.320	11.592	7.728	3.864	2.898
12.200	19.642	11.785	7.857	3.928	2.946
12.400	19.964	11.978	7.986	3.993	2.995
12.600	20.286	12.172	8.114	4.057	3.043
12.800	20.608	12.365	8.243	4.122	3.091
13.000	20.930	12.558	8.372	4.186	3.140
13.200	21.252	12.751	8.501	4.250	3.188
13.400	21.574	12.944	8.630	4.315	3.236
13.600	21.896	13.138	8.758	4.379	3.284
13.800	22.218	13.331	8.887	4.444	3.333
14.000	22.540	13.524	9.016	4.508	3.381
14.200	22.862	13.717	9.145	4.572	3.429
14.400	23.184	13.910	9.274	4.637	3.478
14.600	23.506	14.104	9.402	4.701	3.526
14.800	23.828	14.297	9.531	4.766	3.574
15.000	24.150	14.490	9.660	4.830	3.623
15.200	24.472	14.683	9.789	4.894	3.671
15.400	24.794	14.876	9.918	4.959	3.719
15.600	25.116	15.070	10.046	5.023	3.767
15.800	25.438	15.263	10.175	5.088	3.816
16.000	25.760	15.456	10.304	5.152	3.864

O RT60 médio exato de um ambiente é obtido com a utilização de instrumentos de medição de áudio.



Também existem fórmulas para o cálculo do RT60, embora os resultados calculados não sejam muito exatos.

$$\text{Sabine} \quad \frac{0,161 \text{ V}}{\bar{S}_a}$$

$$\text{Norris-Eyring} \quad \frac{0,161 \text{ V}}{- S \text{ l}_s (1 - \bar{a})}$$

Uma outra forma de descobrir o RT60 médio é simplesmente utilizando um cronômetro para medir o intervalo de tempo que o som demora para “desaparecer” do ambiente.

Para as finalidades do nosso curso de sonorização trabalharemos com esse terceiro método que embora também não seja exato, será suficiente para utilizarmos em nossa tabela K.

As condições e procedimentos para essa cronometragem do RT60 são as seguintes:

- O procedimento deve ser realizado em um horário em que o ruído externo seja o menor possível e o ambiente esteja vazio e livre de fontes de ruído interno.
- São necessárias pelo menos duas pessoas: uma para bater palma (1 vez) e a outra para operar o cronômetro.

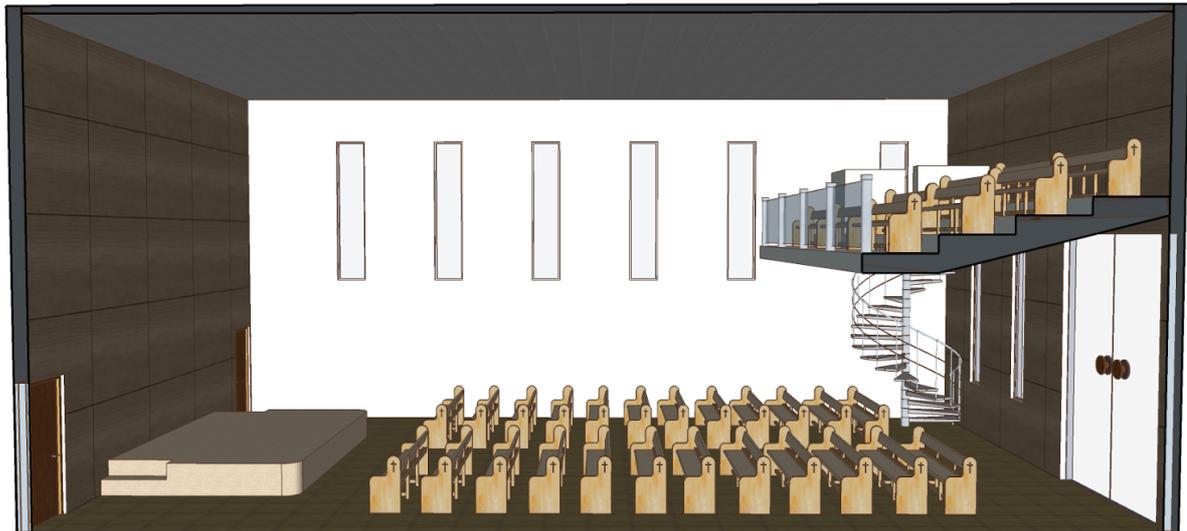


É preferível que a pessoa que opera o cronômetro esteja de costas para quem irá bater palma. Assim que ouvir o som da palma, a pessoa com o cronômetro inicia a cronometragem e finaliza assim que o som da palma desaparecer. Para melhores resultado é

necessário que o procedimento seja executado várias vezes para que os executantes treinem um pouco antes de fazer a cronometragem definitiva. Também é bom que as duas pessoas troquem de papéis e comparem seus resultados.

## Exemplo prático

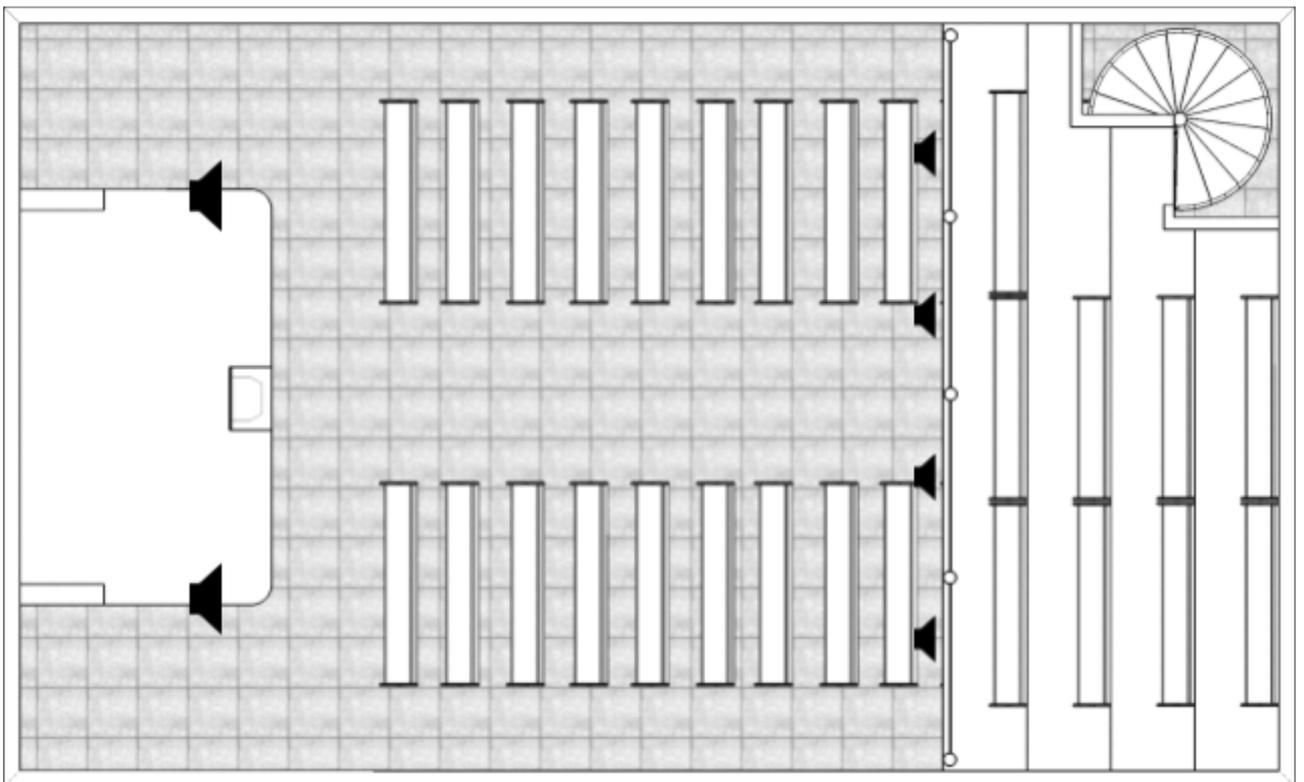
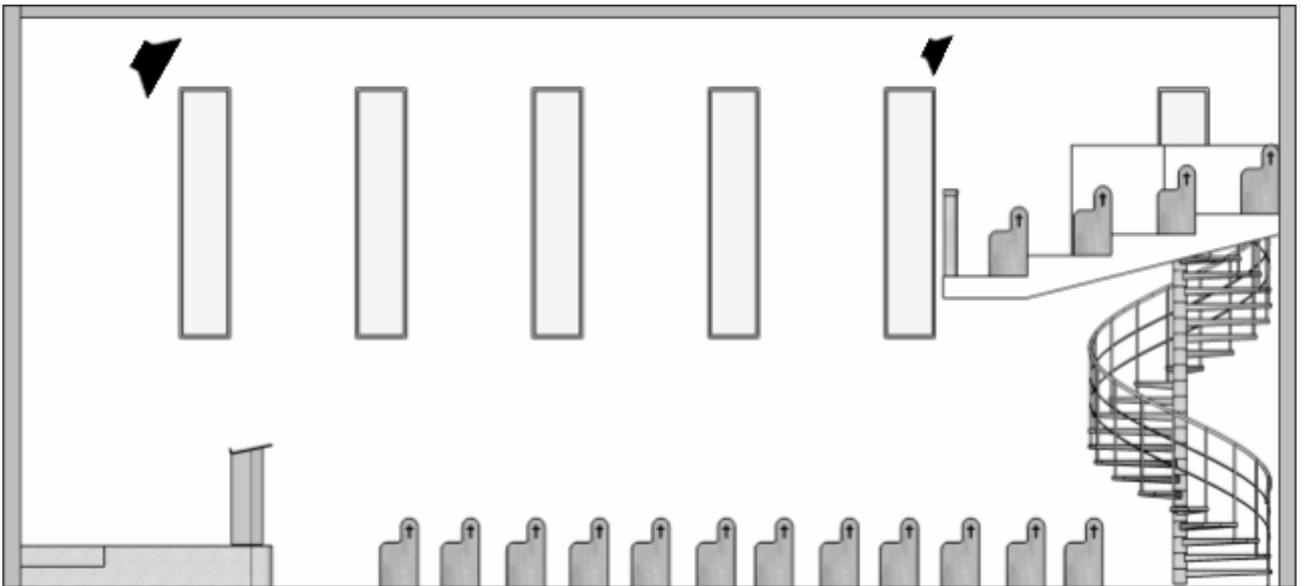
Para exemplificar seguiremos todos os passos para calcular DC e DL do ambiente apresentado na figura:



Nosso ambiente de estudo é uma pequena igreja com, com uma galeria nos fundos.

Dimensões	RT60 médio
7 m de altura, por 9 m de largura e 15 m de comprimento; totalizando um volume interno de 945 m <sup>3</sup>	1 segundo.

Para sonorizar a plateia principal escolhemos utilizar fonte única dividida - dois projetores de som posicionados um a esquerda e outro à direita, no teto, na frente da nave do ambiente. Na galeria instalaremos 4 projetores distribuídos.



Nesse exemplo consideraremos que os projetores distribuídos na galeria terão pouca influência do campo reverberante na nave do santuário, devido a que  $D2$  para a galeria será pequena, e levando também em conta um tempo de reverberação adequado. Sendo assim vamos calcular um fator **N** para o sistema principal e outro para o som da galeria.

Fator **N** para o sistema principal:

$$N = \frac{2}{1} = 2$$

Fator **N** para o som da galeria:

$$N = \frac{4}{1} = 4$$

Olhando na tabela de K encontramos que para um volume interno de 940 m<sup>3</sup> com RT60 de 1s, o valor de K é 908.

Primeiramente vamos aplicar esses valores para calcular a distância crítica e a distância limite para o sistema principal (fonte única dividida).

Aplicando as equações temos que:

$$DC = 0,141 \sqrt{\frac{908}{2}} \approx 3$$

$$DL = 3 \times 3,16 = 9,48$$

Então encontramos que a distância crítica (que é a menor distância que deve haver entre os microfones e os projetores de som principais) é de 3 metros. Para o nosso exemplo esse valor está mais que suficiente, uma vez a distância D1 nesse caso é de 4 metros.

No entanto encontramos uma distância limite de 9,48 metros, que não é suficiente uma vez que no nosso exemplo D2 é 12,5 m

Continuando, vamos agora calcular DC e DL para o som distribuído na galeria.

O fator K continua sendo 908, mas o que muda é o fator N, uma vez que na galeria temos 4 projetores de som no total, sendo que cada região recebe sons diretos de 1 deles. Nesse caso o fator N será igual a 4.

Aplicando novamente as equações temos que:

$$DC = 0,141 \sqrt{\frac{908}{4}} \approx 2,12$$

$$DL = 2,12 \times 3,16 \approx 6,7$$

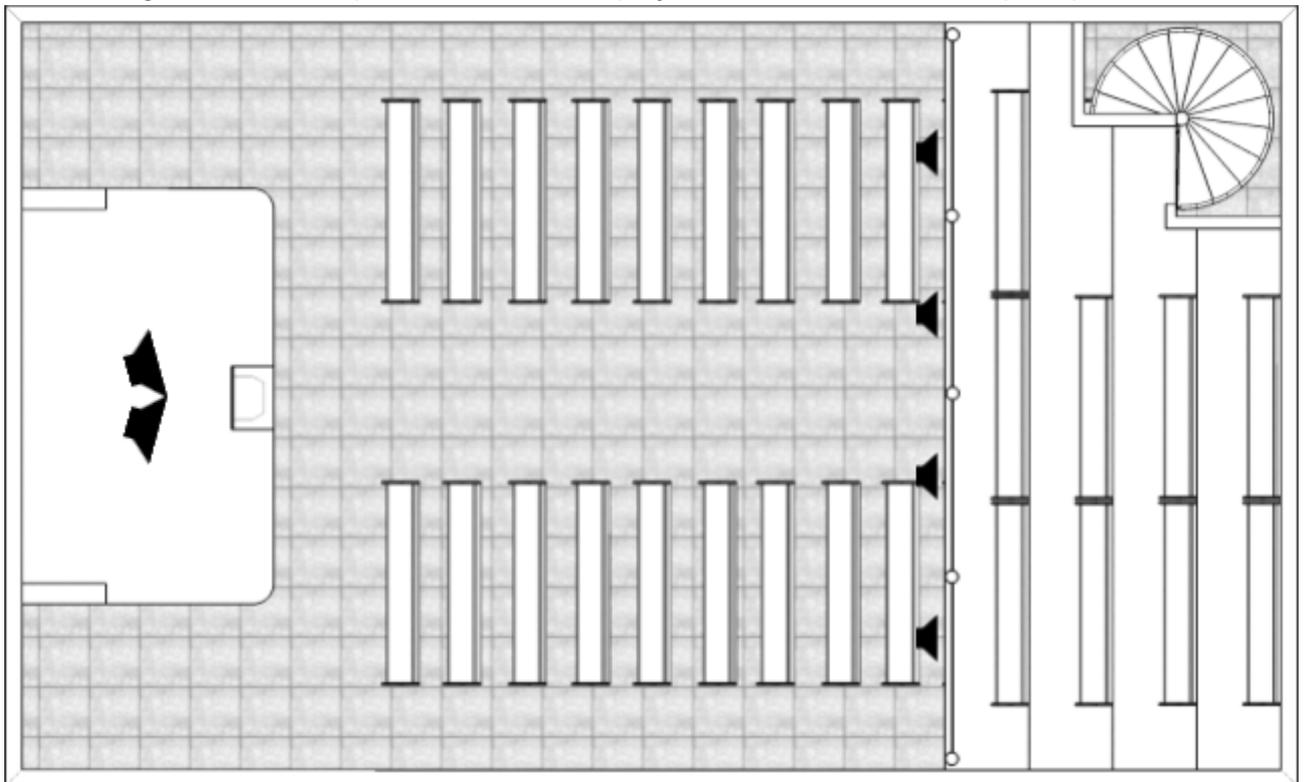
Para a galeria DC é de aproximadamente 2,12 m. Esse valor é mais que suficiente uma vez que os projetores de som da galeria estão muito distantes dos microfones.

A distância limite (DL) encontrada é de aproximadamente 6,7 metros, que também é mais que suficiente uma vez que D2 para a galeria é de apenas 4 metros.

Para a galeria o sistema está perfeito, mas precisamos resolver o problema de distância limite insuficiente que encontramos no sistema principal.

Para aumentar DL no som principal precisamos aumentar o valor de **K** (fazendo um tratamento acústico para reduzir o RT60) ou diminuir o fator **N**, simplesmente unindo os projetores principais em um único ponto. Com isso estaremos utilizando fonte única simples ao invés de fonte única dividida.

A figura mostra o reposicionamento dos projetores de som do sistema principal.



Agora refaremos os cálculos aplicando agora um fator **N** = 1, pois agora temos um único ponto de projetores de som.

$$DC = 0,141 \sqrt{\frac{908}{1}} \approx 4,2$$

$$DL = 4,2 \times 3,16 \approx 13,3$$

Como podemos observar, com a simples união dos projetores de som em um só ponto, conseguimos uma distância limite mais que suficiente para o nosso sistema de som.

# Determinação de potência necessária

Uma das principais características que queremos num sistema de som é uma boa qualidade sonora, ou seja, um som limpo e sem distorções. Dimensionar corretamente a potência necessária é um dos primeiros fatores ligados diretamente a um resultado sonoro de qualidade.

Nesta aula vamos ver alguns tópicos que nos capacitarão a dimensionar um sistema de som corretamente. Aprenderemos como calcular a potência necessária para ambientes abertos e fechados, e faremos passo a passo os cálculos para determinação de potência para um ambiente exemplo.

## Ambientes abertos (ar livre)

Em ambientes abertos, a potência necessária para a sonorização do evento depende do nível de pressão sonora que desejamos, da distância que queremos alcançar, da sensibilidade (rendimento acústico) dos projetores de som que serão utilizados e da margem para os picos e transientes - headroom (fator de crista) que iremos adotar<sup>17</sup>.

A expressão que permite calcular a Potência Elétrica Necessária (EPR) é:

$$EPR = 10^{\left( \frac{\text{nível} + \text{headroom} + \Delta D2 - \text{sensibilidade}}{10} \right)}$$

Onde:

**nível** é o nível desejado em dB.

**headroom** é a margem para picos e transientes em dB.

**$\Delta D2$**  é a atenuação em dB para a distância que queremos alcançar.

**sensibilidade** é a sensibilidade axial do projetor de som em dB SPL.

A atenuação em dB para a distância que queremos alcançar  $\Delta D2$  é calculada pela seguinte equação:

$$\Delta D2 = 20 \log \left( \frac{1}{D2} \right)$$

---

<sup>17</sup> Ao nível de pressão sonora que queremos alcançar é preciso adicionar uma margem para tratar os picos e transientes do programa. Em sonorização profissional esta margem pode variar de 10 dB para reforço de voz à 20 dB para eventos musicais.

A tabela seguinte mostra a atenuação  $\Delta D2$  para distâncias até 100 metros:

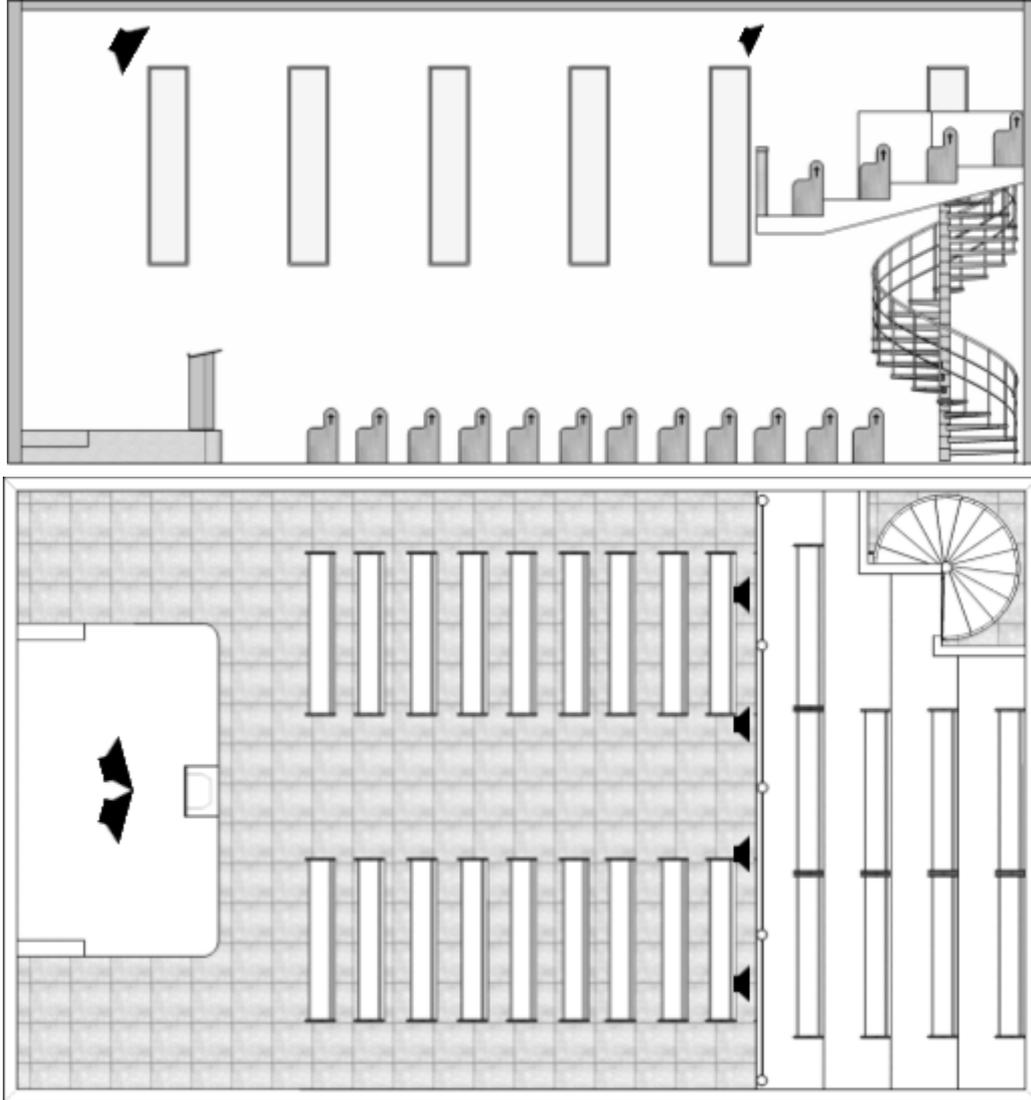
Dist. (m)	$\Delta D2$ (dB)						
1	0,0	26	28,3	51	34,2	76	37,6
2	6,0	27	28,6	52	34,3	77	37,7
3	9,5	28	28,9	53	34,5	78	37,8
4	12,0	29	29,2	54	34,6	79	38,0
5	14,0	30	29,5	55	34,8	80	38,1
6	15,6	31	29,8	56	35,0	81	38,2
7	16,9	32	30,1	57	35,1	82	38,3
8	18,1	33	30,4	58	35,3	83	38,4
9	19,1	34	30,6	59	35,4	84	38,5
10	20,0	35	30,9	60	35,6	85	38,6
11	20,8	36	31,1	61	35,7	86	38,7
12	21,6	37	31,4	62	35,8	87	38,8
13	22,3	38	31,6	63	36,0	88	38,9
14	22,9	39	31,8	64	36,1	89	39,0
15	23,5	40	32,0	65	36,3	90	39,1
16	24,1	41	32,3	66	36,4	91	39,2
17	24,6	42	32,5	67	36,5	92	39,3
18	25,1	43	32,7	68	36,7	93	39,4
19	25,6	44	32,9	69	36,8	94	39,5
20	26,0	45	33,1	70	36,9	95	39,6
21	26,4	46	33,3	71	37,0	96	39,6
22	26,8	47	33,4	72	37,1	97	39,7
23	27,2	48	33,6	73	37,3	98	39,8
24	27,6	49	33,8	74	37,4	99	39,9
25	28,0	50	34,0	75	37,5	100	40,0

## Ambientes fechados

Em ambientes fechados, a atenuação  $\Delta D2$  depende de outros fatores além da própria distância  $D2$ . Esses fatores são principalmente a reverberação (RT60) do ambiente, a diretividade dos projetores de som e as dimensões internas do recinto, entre outros. Por isso o cálculo da potência necessária se torna bastante complexo e apresenta resultados que dependem da precisão das especificações dos projetores e da acústica ambiente. No entanto, podemos utilizar o cálculo para ambientes abertos como referência, assumindo como hipótese que o campo reverberante contribui com a metade da pressão sonora tanto para a distância crítica como para nossa distância  $D2$ . Em outras palavras, consideraremos que o campo reverberante contribuirá com 3 dB em qualquer situação. Assim sendo, calcularemos a potência necessária utilizando a equação para ambiente aberto e tomaremos a metade do resultado como potência necessária para o ambiente fechado.

## Exemplo prático

Para exemplificar vamos calcular a potência necessária para o ambiente já visto anteriormente, ou seja, a igreja com fonte única como sistema principal e projetores distribuídos para o som da galeria.



## Nível de SPL do programa sonoro

Qual será o nível de pressão sonora ideal para nosso programa sonoro?

Para responder a essa pergunta a primeira coisa que precisamos lembrar é que para uma boa inteligibilidade o nível do programa sonoro deve estar a pelo menos 25 dB acima do ruído ambiente. Outro ponto a levar em consideração é que níveis de pressão sonora a partir de 100 dB já são prejudiciais ao sistema auditivo. Tomando como referência essas informações apresentamos uma tabela com sugestões de nível de programa sonoro adequado para igrejas e locais de palestra.

Situação	SPL	Headroom
Ambiente silencioso para palestras.	75 dB	10 dB
Igreja com música suave (violão, piano, órgão)	85 dB	20 dB
Igreja com música alta (bateria, guitarra, etc...)	95 dB	20 dB

## Calculando a potência do sistema principal

No sistema principal temos fonte única que é formada pelo agrupamento de 2 projetores. A especificação técnica que precisamos saber desses projetores é a sensibilidade. Neste exemplo hipotético nossos projetores principais têm uma sensibilidade de 98 dB SPL<sup>18</sup> (com 1 Watt a 1 metro).

A distância D2 que precisamos alcançar no nosso exemplo é de 13 metros. Consultando a tabela de atenuação encontramos um  $\Delta D2$  de 22,3 dB.

Consideraremos uma situação de igreja com música suave, conforme a tabela anterior. Neste caso o nível de pressão sonora do nosso programa musical será de 85 dB, com um headroom de 20 dB.

Dessa forma os dados para o cálculo da potência são os seguintes:

**nível: 85 dB**

**headroom: 20 dB**

**$\Delta D2$ : 22,3 dB**

**sensibilidade: 98 dB SPL**

Resolvendo os cálculos, encontramos uma EPR de 851,13 Watts. Porém, esse resultado seria a potência necessária para sonorização em ambientes abertos. Subtraindo 3 dB dessa potência, conforme convencionamos, teremos que nossa potência necessária para o recinto será a metade, ou seja, aproximadamente **425 Watts**.

Como nosso sistema de som principal tem 2 caixas acústicas, precisaremos de um amplificador de 2 canais que forneça 425 W por canal. Lembrando também que essa potência por canal deve ser entregue pelo amplificador, levando em consideração a impedância das caixas acústicas<sup>19</sup>.

Vale a pena enfatizar que nessa potência total já incluímos a margem para tratar o fator de crista. Isso significa que a potência média de trabalho será menor que 10 Watts, ficando o resto disponível para tratar os picos e transientes do programa, garantindo assim baixos níveis de distorção harmônica ao programa sonoro.

## Determinação do SPL máximo para projetores ativos

Quando estudamos sobre as especificações técnicas das caixas acústicas vimos que, no caso de caixas ativas, muitas vezes o fabricante especifica a pressão sonora máxima fornecida (max SPL). Então, se em nosso sistema de som fizermos a opção de utilizar projetores ativos precisaremos saber determinar qual é a pressão sonora máxima que precisaremos.

O cálculo é bem simples:

<sup>18</sup> Para saber a sensibilidade dos projetores de som da sua igreja, consulte as especificações técnicas fornecidas pelo fabricante.

<sup>19</sup> Veja as aulas sobre amplificadores e caixas acústicas.

## **max SPL = nível desejado + $\Delta$ D2 + headroom**

Aplicando os dados do nosso exemplo, max SPL será  $85 + 22,3 + 20 = 127,3$  dB. Mas como o sistema de som é para ambiente interno, podemos reduzir esse valor em 3 dB conforme convencionamos. Então para o sistema de som principal do nosso exemplo precisamos de projetores de som ativos que forneçam uma max SPL de **124,3 dB**.

### Calculando a potência para o sistema da galeria

Para sonorizar a galeria utilizaremos 4 projetores distribuídos. O cálculo é o mesmo, o que muda são os dados dos projetores de som e a distância D2.

A distância D2 que precisamos alcançar na galeria é de 4 metros. Consultando a tabela de atenuação encontramos um  $\Delta$ D2 de 12 dB.

O ambiente é o mesmo. Então o nível de pressão sonora e o headroom são os mesmos, ou seja, 85 dB e 20 dB respectivamente.

Como exemplo, vamos considerar que a sensibilidade dos projetores de som que utilizaremos na galeria é de 93 dB SPL<sup>20</sup>.

Dessa forma os dados para o cálculo da potência são os seguintes:

**nível: 85 dB**

**headroom: 20 dB**

**$\Delta$ D2: 12 dB**

**sensibilidade: 93 dB SPL**

Resolvendo os cálculos, encontramos uma EPR de 251,18 Watts. Porém, esse resultado seria a potência necessária para sonorização em ambientes abertos. Subtraindo 3 dB, conforme convencionamos, teremos que nossa potência necessária para o recinto será a metade, ou seja, aproximadamente **125 Watts**.

Como temos 4 projetores distribuídos, a potência total necessária para a sonorização da galeria será de 500 Watts.

Também podemos optar por utilizar projetores ativos. Nesse caso os projetores ativos da galeria precisam fornecer inicialmente uma max SPL de  $85 + 12 + 20 = 117$  dB. Mas como o sistema de som é para ambiente interno, podemos reduzir esse valor em 3 dB conforme convencionamos. Então a max SPL fornecida por cada projetor deve ser de **114 dB**.

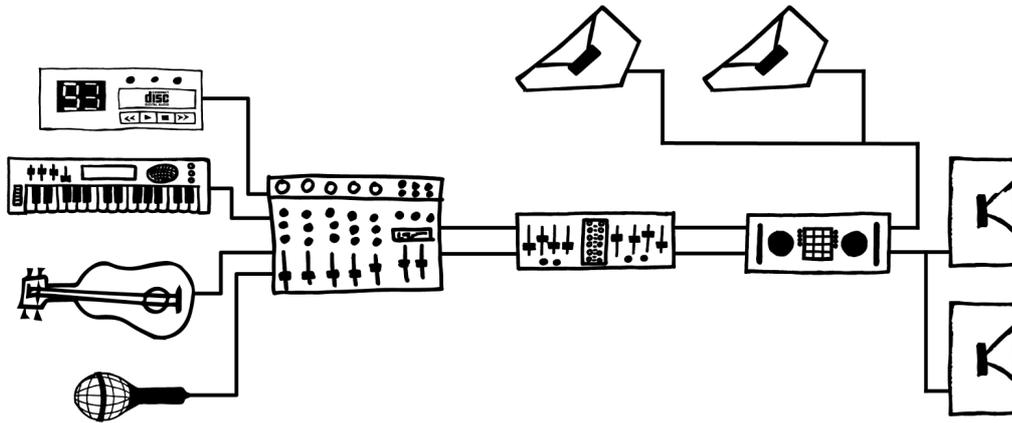
## Por dentro da mesa de som

### O mixer

Mesa de som, mixer ou console de mixagem é o centro operacional dos sinais. É no mixer que sinais de diversas fontes sonoras podem ser misturadas, separadas, ou sofrer alterações por meio de processamento de sinais.

---

<sup>20</sup> Via de regra, caixas acústicas com alto falantes menores apresentam menor sensibilidade.



Com certeza a mesa de som - ou mixer para simplificar - é o equipamento que recebe muita atenção dos operadores de som. Operar corretamente o mixer antes e durante um programa sonoro é considerado por muitos como uma verdadeira arte.

Para quem está iniciando como operador de som o mixer pode assustar devido à enorme quantidade de botões coloridos, displays, leds além de dezenas de conexões de entrada e saída com nomes e formatos diferentes.

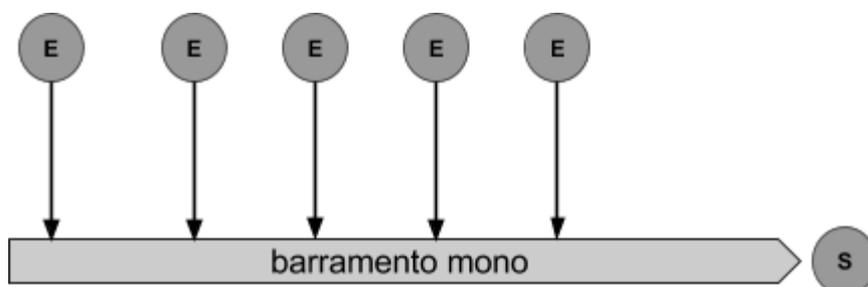
Nesta parte do curso vamos primeiro entender como um mixer funciona por dentro para então estarmos preparados para aprender o que fazer com tantos botões, potenciômetros e possibilidades de conexões. Não pretendemos entrar em detalhes técnicos sobre componentes e circuitos eletrônicos a não ser que seja algo indispensável para a compreensão de algum conceito a ser estudado. Por isso tente entender o significado simples dos diagramas, ilustrações e esquemas que forem apresentados no decorrer do conteúdo. Se em algum momento achar que não perdeu a linha de raciocínio, não se preocupe, siga em frente até o final do assunto.

Escolhemos tratar sobre como “mexer” nos botões como última parte do estudo de mesa de som por um motivo simples: todos os botões controlam algo que acontece dentro do mixer, não sendo possível usar bem um botão sem saber o que ele altera dentro do equipamento.

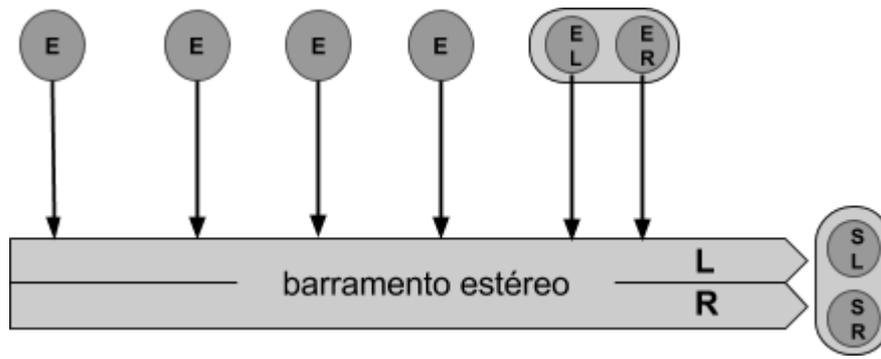
## “Anatomia e fisiologia” : por dentro do mixer

### Entradas, Saídas e Barramentos

Um mixer possui várias entradas de sinais que são endereçadas à uma ou várias saídas através de um barramento, sendo que cada saída possui o seu próprio barramento.

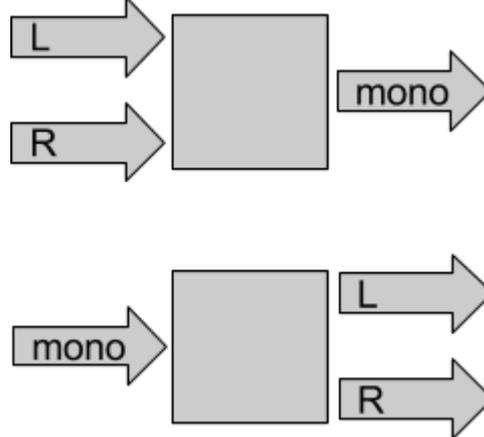


As entradas e saídas podem ser mono ou estéreo. Da mesma forma os barramentos podem ser mono ou estéreo, dependendo do tipo da saída a que estão associados.

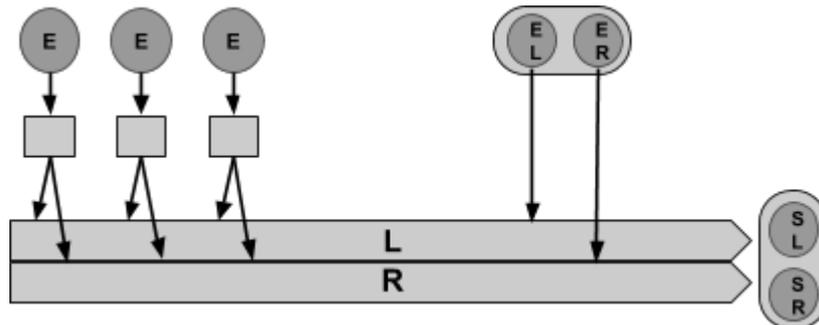


### Separadores e Misturadores de sinais

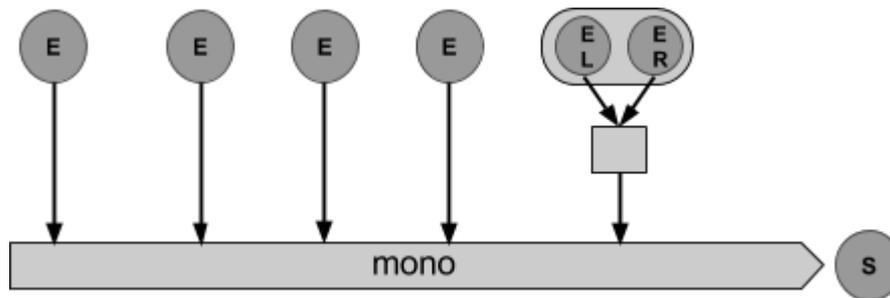
O mixer permite que entradas mono sejam conectadas a barramentos estéreo, e que entradas estéreo sejam conectadas a barramentos mono. Isso é possível devido aos separadores e misturadores de sinais.



A ilustração abaixo mostra simplificada como entradas mono são conectadas a um barramento estéreo através de circuitos separadores.



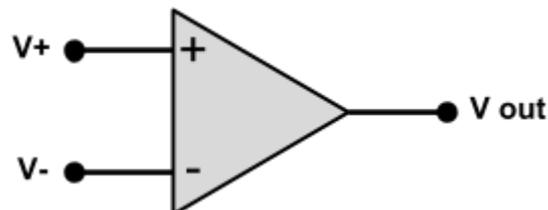
A ilustração abaixo mostra simplificada como uma entrada estéreo se conecta a um barramento mono através de circuitos misturadores.



## Amplificadores operacionais

Dentro dos mixers ou de quaisquer outros equipamentos de áudio existe um tipo de componente chamado amplificador operacional.

Simplificadamente um amplificador operacional possui duas entradas e uma saída. Uma das entradas é chamada de inversora e a outra de não inversora.



<b>V+</b>	entrada não inversora
<b>V-</b>	entrada inversora
<b>V out</b>	saída

Esses componentes são utilizados para casamento de nível de sinais e impedância, ajuste de controle de ganho no balanceamento de canais de entrada e saídas. Estão presentes nas entradas, saídas, misturadores, separadores e filtros de frequência.

Sempre que giramos ou apertamos um botão no painel do mixer, estamos interagindo com algum amplificador operacional lá dentro.

## Controladores de frequência (equalizadores)

Dentro do mixer existem circuitos controladores de frequência - ou circuitos equalizadores, que são capazes de alterar a resposta de frequência dos sinais principalmente dos canais de entrada. Com esses controladores podemos atenuar, reforçar ou “eliminar” determinadas faixas de frequência do sinal de áudio.

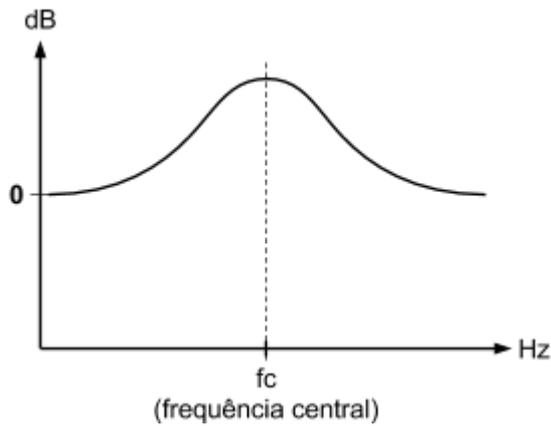
Para simplificar esses termos, passaremos a nos referir aos controladores de frequência utilizando a abreviatura EQ.

## Parâmetros dos EQs

Os principais parâmetros dos EQs são: frequência central, nível e Q.

### Frequência central

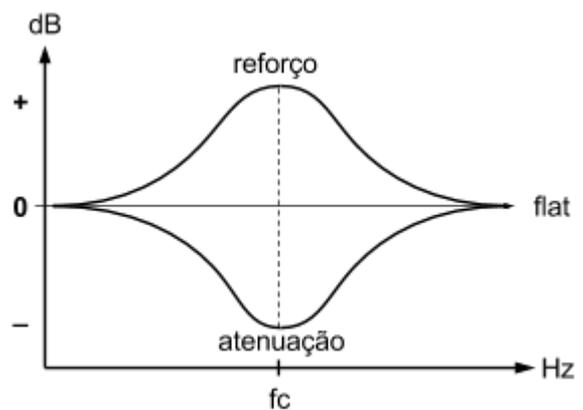
A frequência central é aquela em que o EQ focaliza sua atuação.



### Nível

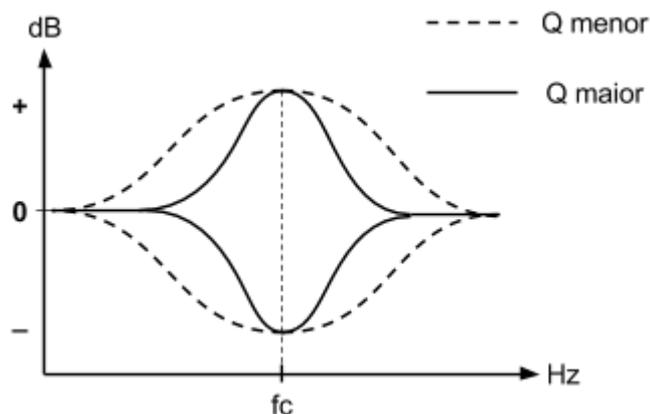
Nível é a quantidade de ganho ou atenuação aplicada à frequência central.

O nível zero - também conhecido como flat - o EQ não estará aplicando nenhuma alteração na frequência central. Quando o nível é positivo (maior que zero) a frequência central é reforçada; e quando o nível é negativo (menor que zero) a frequência central está sendo atenuada pelo EQ.



### Q

O Q representa a largura de banda, acima e abaixo da frequência central, de atuação do controlador. Quanto maior o valor de Q, menor e largura de banda (faixa de frequência) em torno da frequência central, ou seja, o controlador é mais seletivo; e quanto menor o valor de Q mais abrangente é faixa de frequência de atuação do controlador. O valor de Q varia de 1 a 100.



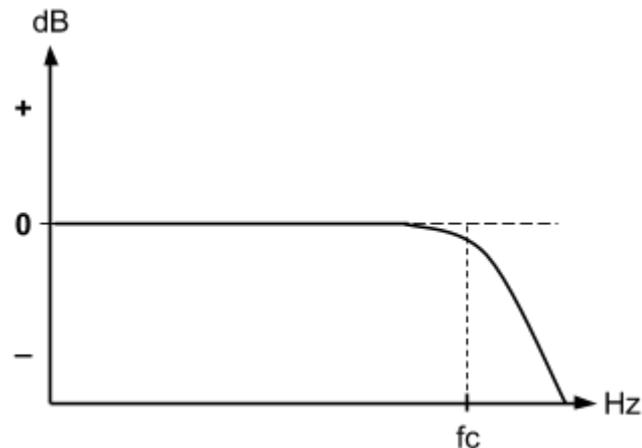
### Filtros

Aprofundando um pouco mais o assunto, vamos saber que os EQs são construídos a partir de circuitos mais simples chamados filtros. Veremos rapidamente cinco tipos de filtros

que são a base do funcionamento dos EQs: *low pass*, *high pass*, *low shelving*, *high shelving*, *peaking filter*.

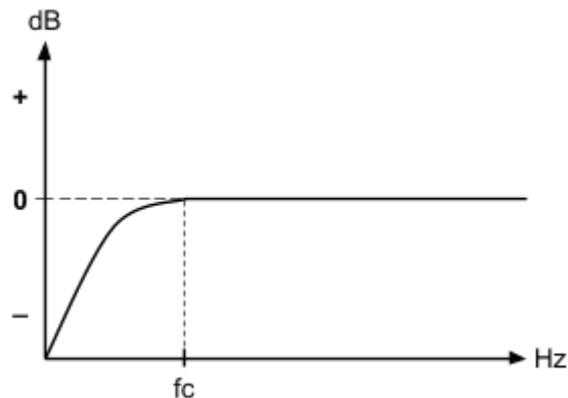
## Low pass

O filtro low pass (passa baixas) atenua drasticamente as frequências que estejam **acima** da sua frequência central. Consequentemente a função desse tipo de filtro é deixar passar somente **baixas** frequências (graves).



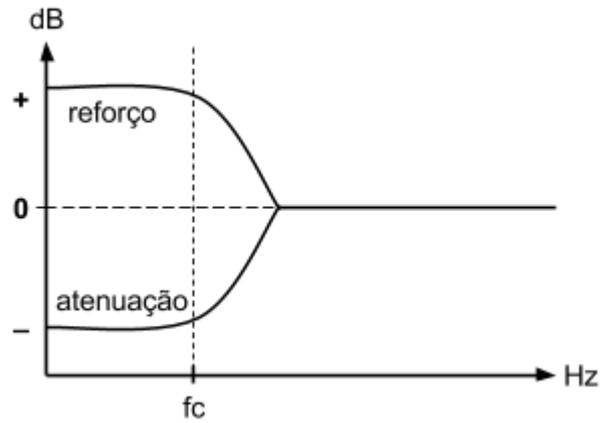
## High pass

O filtro high pass (passa altas) faz o oposto, ou seja, atenua drasticamente as frequências que estejam **abaixo** da sua frequência central. A função desse filtro é deixar passar somente **altas** frequências (agudos).



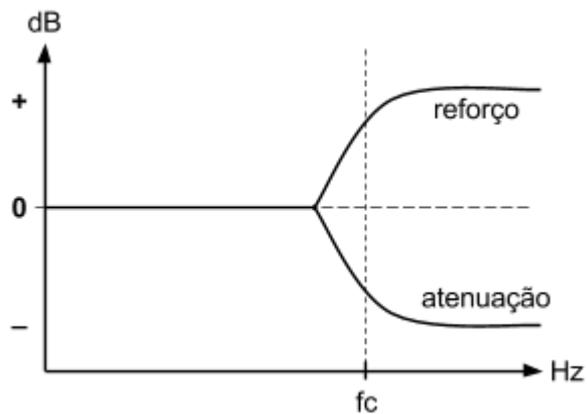
## Low shelving

O filtro low shelving é capaz de atenuar ou reforçar frequências mais **baixas**, a partir da sua frequência central. Sua função é portanto controlar os **graves**, reforçando ou atenuando-os.



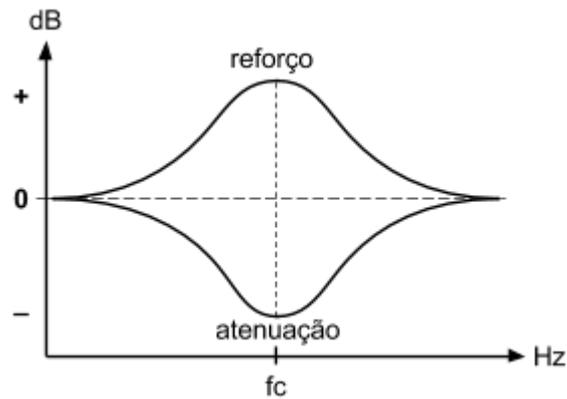
### High shelving

O filtro high shelving faz o oposto, ou seja, atenua ou reforça frequências mais **altas**, a partir da sua frequência central. Portanto a função desse filtro é controlar os **agudos**, reforçando ou atenuando-os.



### Peaking filter

O peaking filter age, a partir da sua frequência central, nas frequências “vizinhas” **abaixo** e **acima** desse centro reforçando ou atenuando a faixa de frequência em torno da frequência central. Sua função é controlar uma região específica da faixa de áudio. Por isso o peaking filter também é conhecido como filtro tonal.



## Tipos de EQs

Dependendo dos filtros que utilizam e de como os seus parâmetros são controláveis, encontramos basicamente quatro tipos de EQs nos mixers: equalizador de graves, equalizador de médios, equalizador de agudos, equalizadores semi paramétricos, equalizadores paramétricos e low cut.

### Equalizador de graves

Os equalizadores de graves são filtros low shelving onde podemos ajustar o nível de atenuação ou reforço. Nesse tipo de EQ a frequência central e o Q são fixos e definidos de fábrica.

### Equalizador de médios

Os equalizadores de médios utilizam filtro tonal (peaking filter). A frequência central e o Q também são fixos e definidos de fábrica. Com esses equalizadores podemos ajustar o nível de atenuação e reforço das frequências médias.

### Equalizador de agudos

Os equalizadores de agudos são filtros high shelving onde podemos ajustar o nível de atenuação ou reforço das frequências agudas. Como nos equalizadores de graves e de médios, a frequência central e o Q deste tipo de equalizador são fixos e definidos de fábrica.

### Equalizador semi paramétrico

Equalizadores semi paramétricos - também chamados de quase paramétricos - são controles em que podemos ajustar não somente o nível, mas também a frequência central de atuação. Porém o parâmetro Q é fixo e vem definido de fábrica. Sendo assim, os semi paramétricos nos dão mais flexibilidade para ajustar a equalização do sinal de áudio.

## Equalizadores paramétricos

Nos equalizadores paramétricos, podemos controlar todos os parâmetros: frequência central, nível e Q. Esse tipo de controlador de frequência é geralmente encontrado apenas nos mixers de grande porte ou em equipamentos equalizadores externos.

### Low cut

Low cut é uma funcionalidade que utiliza um filtro do tipo high pass. Essa funcionalidade serve para “cortar” a entrada de graves nos canais de entrada do mixer. No low cut todos os parâmetros são fixos de fábrica e o operador de som pode apenas ligar ou desligar sua atuação no canal. Essa funcionalidade é muito útil para eliminar ruídos gerados pelo manuseio dos microfones, ruídos da rede elétrica e ruídos do palco.

Para canais de microfones ou de instrumentos agudos é aconselhável sempre deixar o low cut ligado; mas nunca em canais de entrada para instrumentos que possuem graves, como teclado e baixo.

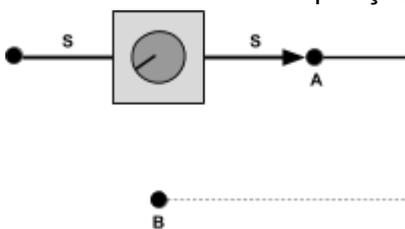
## Endereçamento

Endereçamento é o envio de um sinal de um ponto inicial para um destino que pode ser um barramento de saída ou outro ponto dentro do mixer. No painel do mixer encontramos botões destinados especificamente a endereçamento dos sinais. Fazendo uma classificação didática, podemos dizer que o endereçamento pode ser feito por cópia, por desvio ou por derivação.

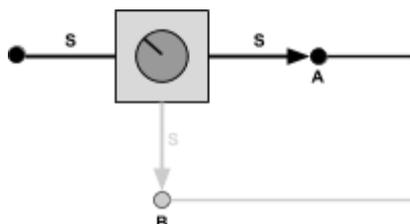
### Cópia

No primeiro caso uma cópia do sinal de áudio em um ponto do circuito é endereçada para outro lugar, e a intensidade dessa cópia é controlada por um botão de controle giratório.

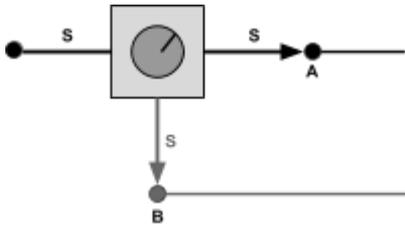
Com o botão na posição mínima, o sinal chega somente ao ponto A.



Girando o botão um pouco no sentido horário, o ponto B começa a receber uma cópia de baixa intensidade do sinal.

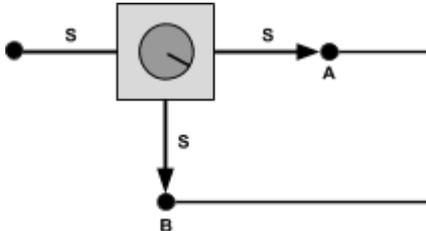


Girando o botão um mais um pouco, a intensidade da cópia do sinal que o ponto recebe aumenta.



Com o botão na posição máxima, o ponto B recebe a cópia do sinal com intensidade máxima.

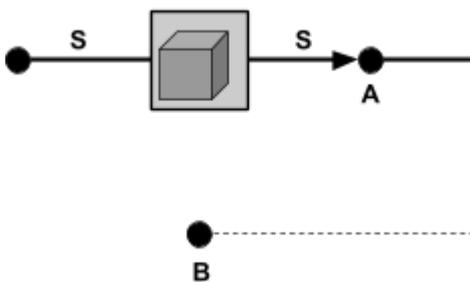
Perceba que a posição do botão não altera a quantidade de sinal no ponto A.



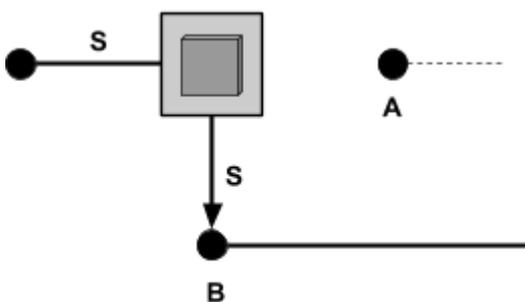
### Desvio

No caso do desvio, o sinal de áudio é totalmente transportado de um ponto para outro por meio de um botão de dois estados (ou chave comutadora).

Quando o botão está solto o sinal de áudio é endereçado para o ponto A.



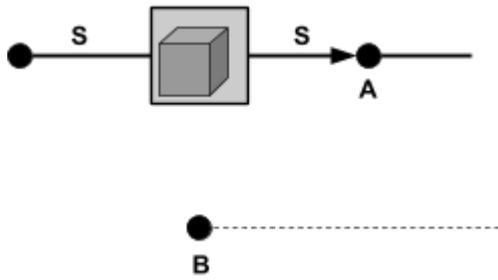
Quando o botão está pressionado o sinal passa a ser endereçado para o ponto B, e A deixa de receber o sinal.



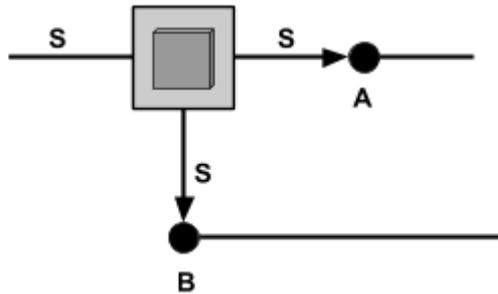
### Derivação

Na derivação uma réplica do sinal é endereçada para outro ponto sem desviar da rota principal, também por meio de um botão de dois estados.

Quando o botão está solto somente o ponto A recebe o sinal.



Quando o botão está pressionado o sinal   endereçado para A e B simultaneamente.



## Canais de entrada

Os sinais de áudio com os quais queremos trabalhar entram no mixer por meio dos conectores de entrada de tipos variados que aparecem no painel frontal ou traseiro, dependendo da sua função.

Os canais de entradas podem ser mono ou estéreo. São nos canais de entrada onde conectamos os instrumentos e microfones.

### Mono

Geralmente num canal mono encontramos 2 conectores de entrada. Esses conectores não são utilizados ao mesmo tempo, pois um deles é específico para microfones ou outras fontes com sinal de baixo nível, e o outro conector   específico para instrumentos com sinal em nível de linha.

O conector para microfones é geralmente do tipo XLR enquanto que o conector de instrumentos (linha)   do tipo P10.

Não é apenas o tipo de conector que muda. A impedância e o ganho da entrada para microfones são diferentes na entrada para instrumentos com sinal em nível de linha.

Por essas diferenç as temos que seguir as seguintes regras para conectar qualquer coisa num canal de entrada do mixer:

- Utilizar apenas uma das entradas do canal conforme o tipo de fonte sonora.
- Nunca conectar um microfones no conector de linha pois isso implicará no baixo rendimento do microfones e propensão   elevado nível de ruído no canal.



Mas o que fazer se o plug do cabo do microfones for do tipo P10?  
R - Trocar por um cabo balanceado com plug XLR.

- Nunca conectar um instrumento com nível de linha (teclado ou instrumentos com captação ativa) na entrada de microfone pois isso provocará a saturação do canal e sua possível "queima".



Alguns teclados ou instrumentos com captação ativa também possuem saídas XLR balanceada. Nesses casos o instrumento deverá ser conectado na entrada de microfone pois já está preparado para isso.

Mais adiante no curso, veremos que através de um acessório conhecido como direct box (DI) podemos ligar instrumentos com nível de linha ou captação ativa nas entradas de microfone do mixer.

A principal vantagem da entrada de microfones é o balanceamento, que é um recurso que reduz a captação de ruídos e permite a utilização de cabos muito longos. Trataremos detalhadamente desse assunto nas aulas sobre conexões e cabeamento.

## Estéreo

Um canal de entrada estéreo geralmente apresenta 2 conectores tipo P10: Um para o canal esquerdo (L) e outro para o direito (R). O barramento do canal já é estéreo e por isso os conectores R e L são utilizados juntos. São nesses canais onde devemos conectar os instrumentos eletrônicos estéreo (teclados) ou os players de mídia (MP3, smartphones, laptops, etc...). Por isso geralmente não possuem entrada para microfone.



Nas aulas sobre conectores, veremos como preparar cabos e conectar corretamente laptops e outras fontes de áudio nas entradas do mixer.

Os canais de entrada estéreo também podem ser utilizados para conectar instrumentos mono, bastando para isso utilizar apenas um dos conectores. Geralmente na marcação do conector L encontramos a indicação mono, entre parênteses, indicando que ao utilizá-lo sozinho o canal trabalhará como um canal mono qualquer.

Às vezes encontramos canais de entrada estéreo que também possuem um conector XLR para microfone. Nesse caso o canal também trabalha como mono quando conectamos um microfone.

## Combinação de canais mono

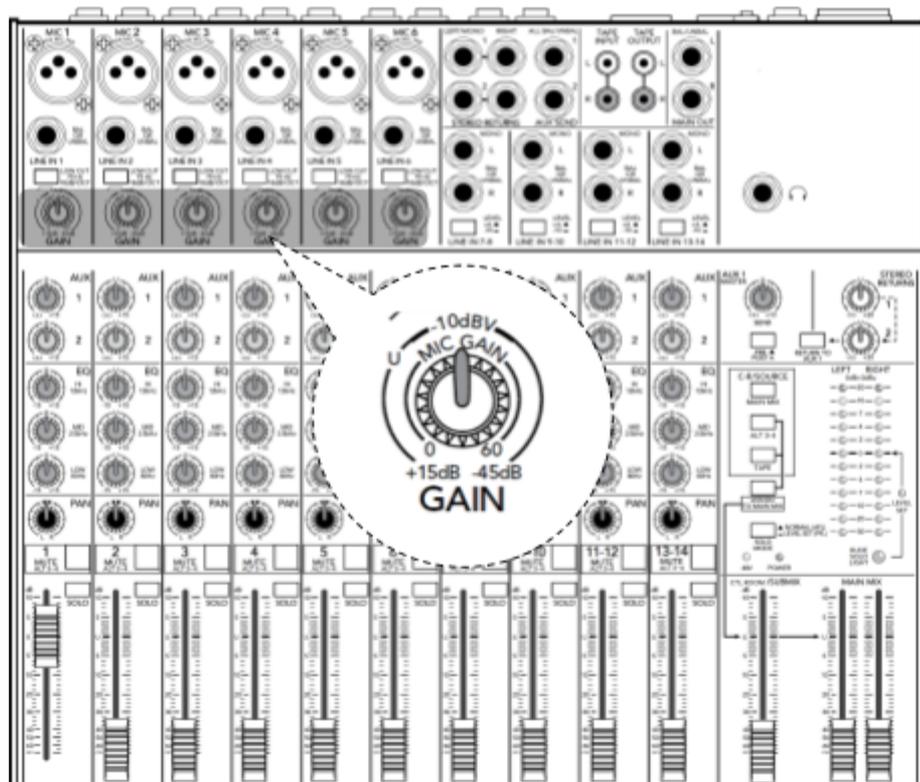
Se precisarmos ligar uma fonte sonora estéreo e não tivermos nenhum canal de entrada estéreo disponível, podemos combinar 2 canais mono. Mas é preciso observar os seguintes detalhes:

1. Escolher 2 canais mono idênticos e adjacentes: Isso facilita a operação porque quando combinamos canais mono para ligar fontes estéreo, os ajustes nesses canais serão sempre simultâneos.
2. Conectar o sinal L (esquerdo) da fonte estéreo no canal da esquerda e o sinal R (direito) no canal da direita na combinação: Isso mantém uma coerência visual na combinação dos canais.
3. Deixar o “pan” do canal esquerdo totalmente na posição L e o canal direito totalmente na posição R: Sem esse ajuste no “pan” o sinal da fonte sonora não entrará no mixer como um sinal mono e não como estéreo.
4. Qualquer ajuste deve ser feito simultaneamente nos 2 canais.

## Controles do canal de entrada

Nesta parte do curso iremos conhecer os controles dos canais de entrada do mixer. Não iremos ainda entrar nos detalhes de como operar esses controles, mas teremos uma visão geral das suas ocorrências e funções.

### Gain (trim, level)



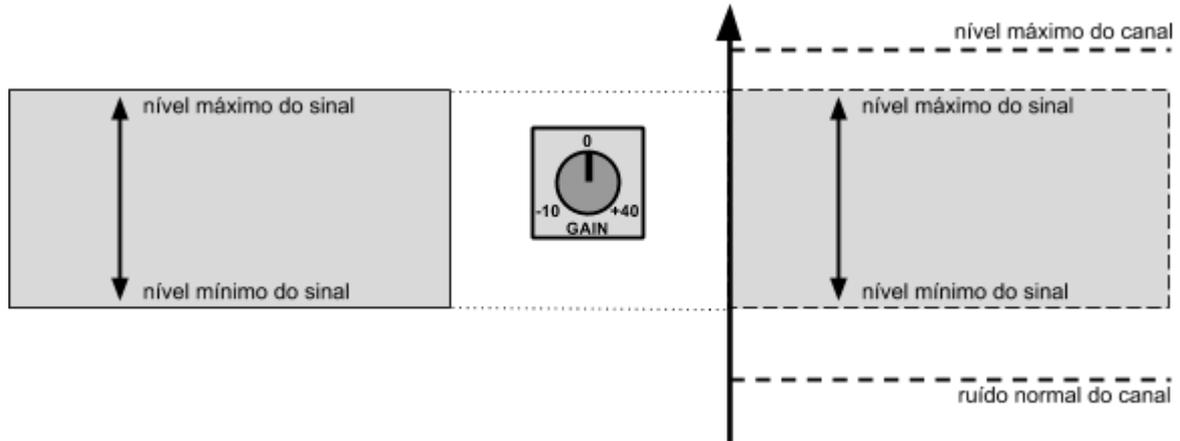
Geralmente o primeiro botão giratório que encontramos na seção de controle do canal de entrada do mixer é o ganho (gain, trim ou level).

Por meio desse botão podemos ajustar o ganho do sinal que entra no canal, garantindo que esse sinal fique dentro de um nível operacional adequado.

O ganho possibilita que o operador nivele todos os canais. Isso é fundamental uma vez que cada tipo de instrumento ou modelo de microfone produz um nível de sinal próprio.

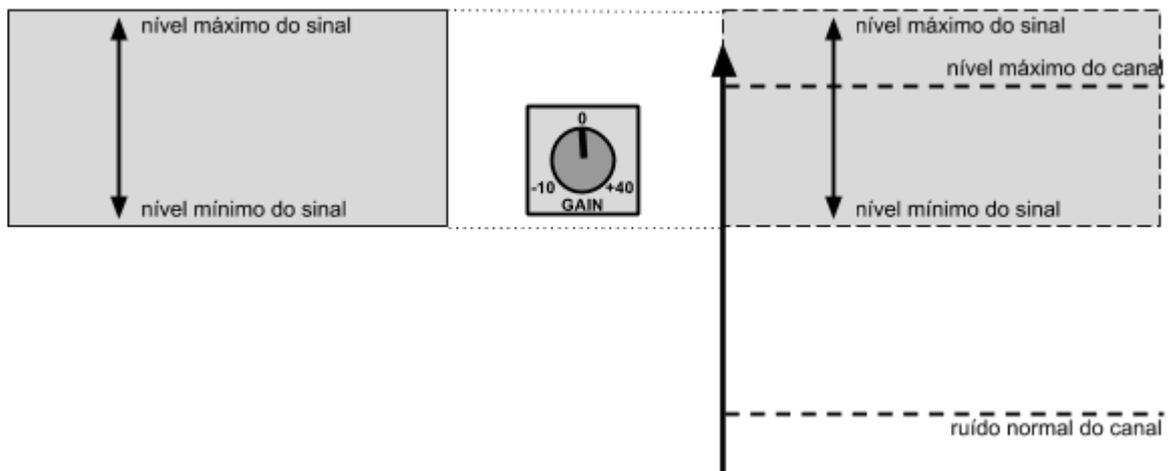
Vejamos algumas possíveis situações referentes ao ajuste do nível de sinal de entrada através do botão de ganho.

**Primeiro caso:** Nível de sinal da fonte sonora já dentro do nível operacional do canal.



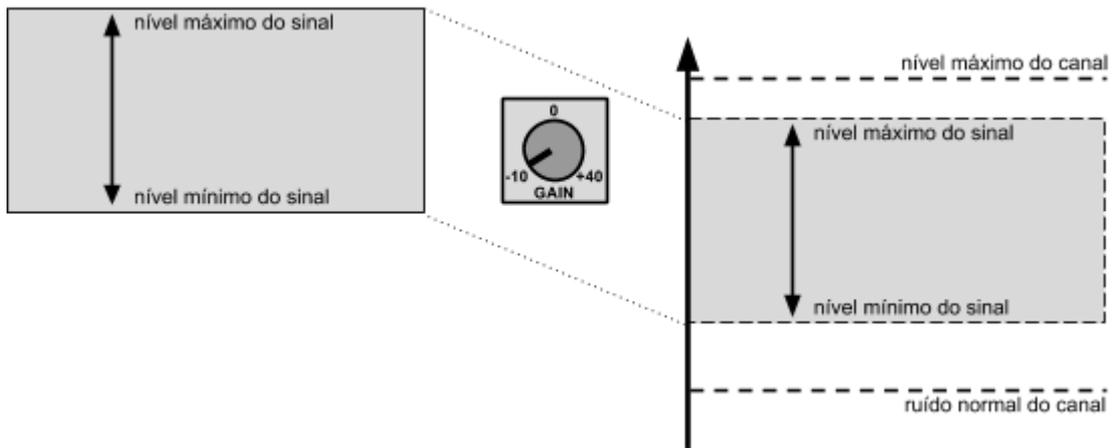
Ocasionalmente podemos ter instrumentos ou microfones cujo sinal já esteja dentro do nível operacional do canal. Nesses casos o botão de ganho poderá ficar na posição zero.

**Segundo caso:** Nível de sinal da fonte sonora acima do nível operacional do canal.

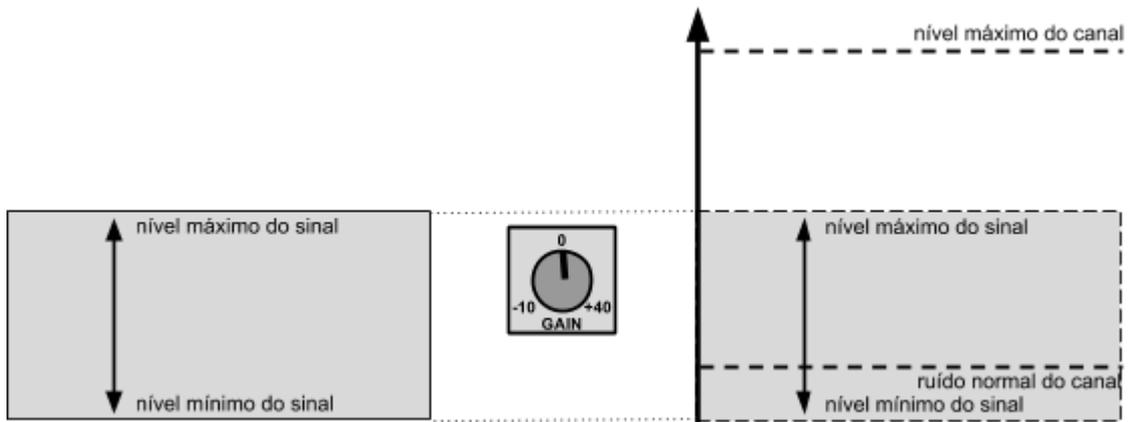


Tal situação produz um sinal com distorção harmônica (saturação) e pode até mesmo danificar os circuitos de entrada do canal.

O botão de ganho deverá então ser ajustado para atenuar (reduzir) o nível desse sinal para que fique dentro do nível operacional do canal.

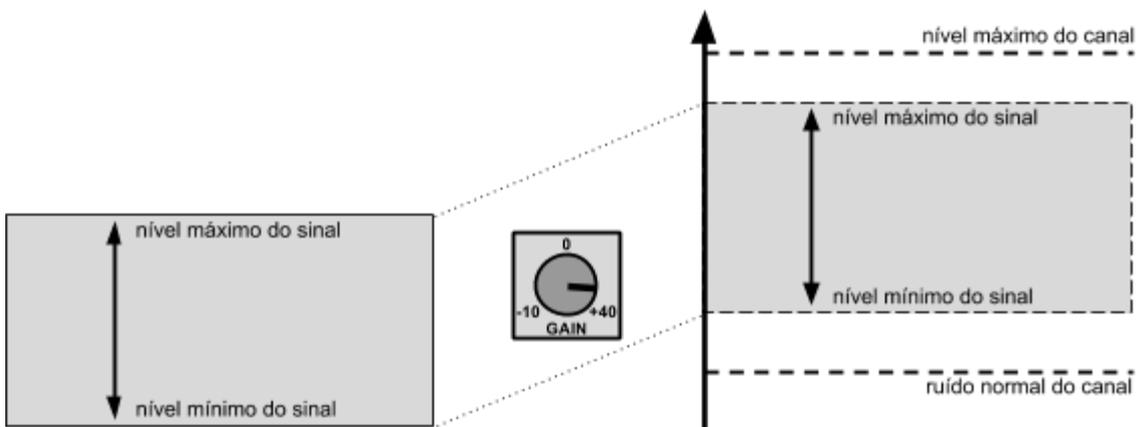


**Terceiro caso:** Nível de sinal da fonte sonora abaixo do nível operacional do canal.



O problema aqui é que o nível mínimo do sinal de entrada é mais fraco que o próprio ruído natural dos circuitos do mixer. Se esse problema não for corrigido, precisaremos aumentar o volume geral do canal a ponto de escutarmos, além do instrumento ou microfone, um “chiado” ou “zumbido” que nada mais é do que a amplificação excessiva do ruído normal do próprio canal.

Nesse caso devemos ajustar o botão de ganho para reforçar (aumentar) o nível do sinal de entrada para ajustá-lo ao nível operacional da mesa de som.



**Resumindo...**

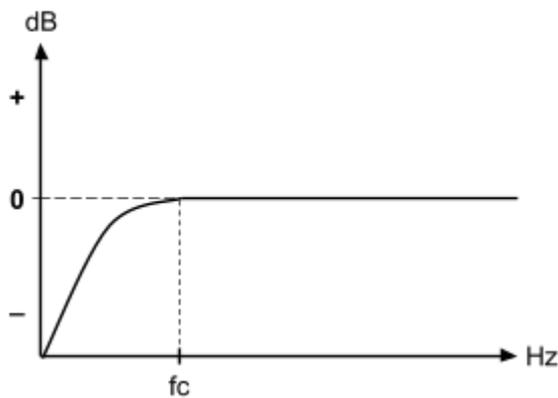
Ao ajustarmos o botão ganho precisamos ter em mente dois objetivos: ajustar o nível operacional e ao mesmo tempo igualar o sinal de entrada entre todos os canais.

O ajuste ideal é aquele em que a dinâmica do conteúdo sonoro do sinal aproveita ao máximo a faixa dinâmica do canal sem que os picos desse sinal ultrapassem o limite dos circuitos de entrada evitando distorções harmônicas (saturação do sinal).

Por outro lado, se o ajuste do ganho for muito baixo, a faixa dinâmica do canal é sub aproveitada e a relação entre o sinal e ruído piora. Isso porque o nível de ruído inerente aos circuitos eletrônicos é constante e independe do sinal que entra no canal.

Para auxiliar o ajuste do ganho encontramos nos mixers, leds indicadores de sinal mínimo e pico, ou VUs (medidores) para ajuste do nível operacional.

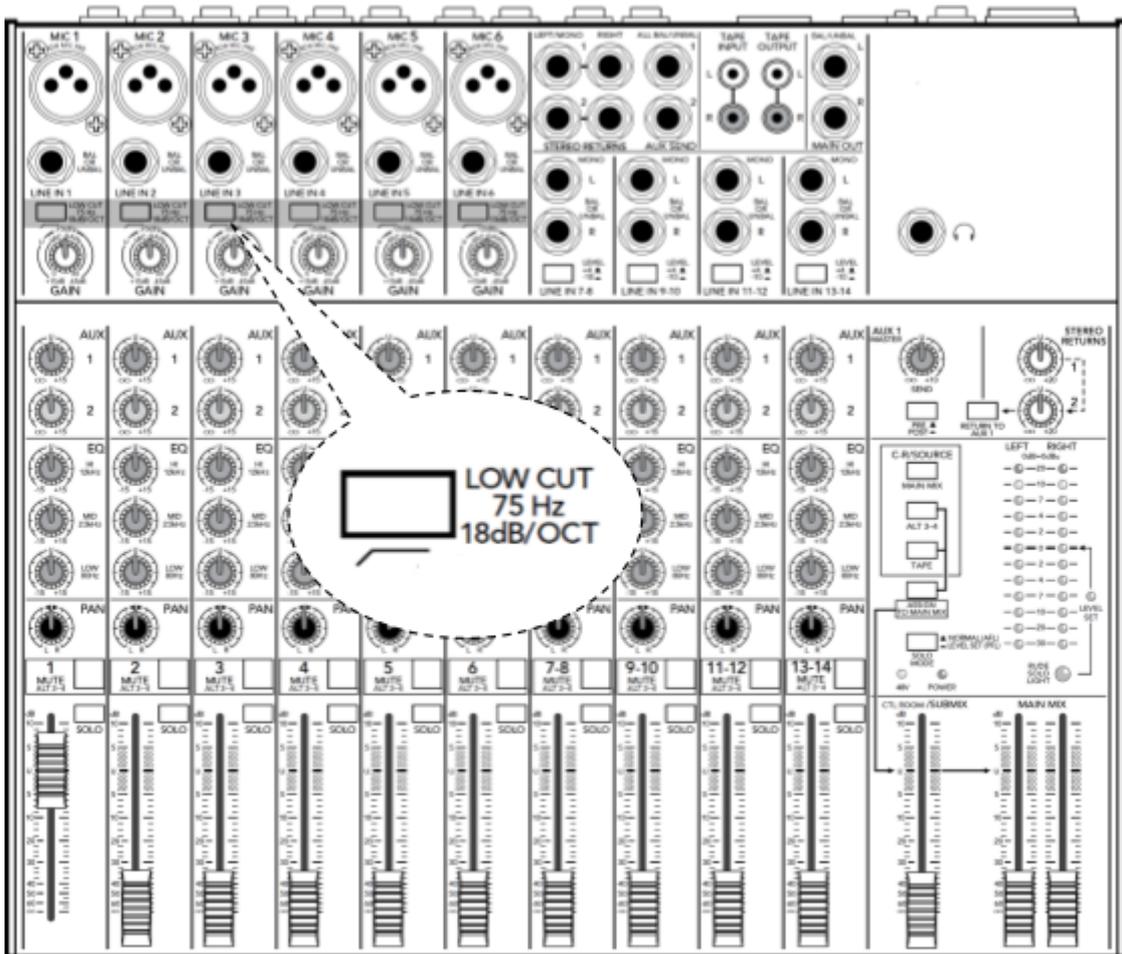
## Low cut



Low cut é uma funcionalidade que utiliza um filtro do tipo high pass.

Essa funcionalidade serve para “cortar” a entrada de graves nos canais de entrada do mixer. No low cut todos os parâmetros são fixos de fábrica e o operador de som pode apenas ligar ou desligar sua atuação no canal. Essa funcionalidade é muito útil para eliminar ruídos gerados pelo manuseio dos microfones, ruídos da rede elétrica e ruídos do palco.

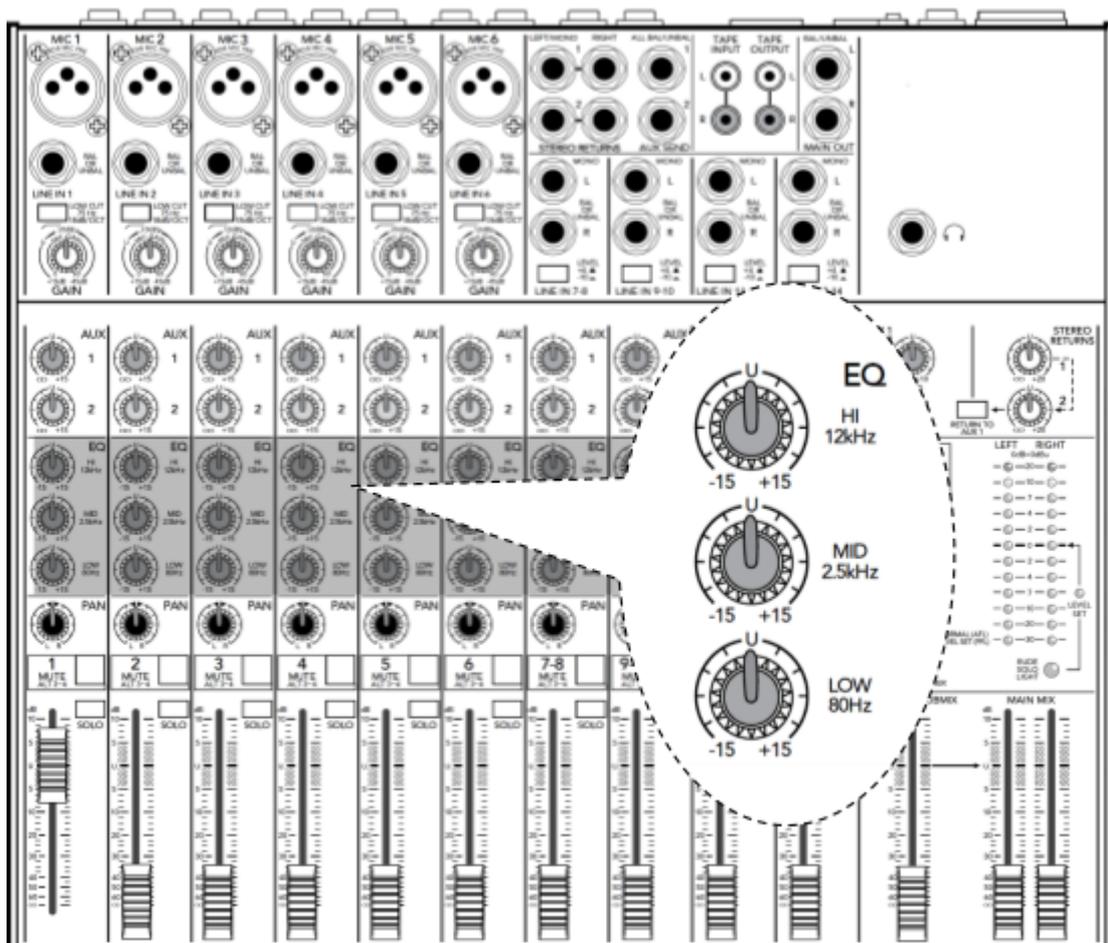
Para canais de microfones ou de instrumentos agudos é aconselhável sempre deixar o low cut ligado; mas nunca em canais de entrada para instrumentos que possuem graves, como teclado e baixo.



## Equalização

Semanticamente equalização significaria deixar equalizado ou igualado, ou igual. Esta acepção gera até alguns desvios ou erros no linguajar de um operador de mesa de som. Isso porque ele erroneamente pensa que equalizar é modificar o volume dos canais de modo que o programa fique “equalizado” ou com os volumes adequados. Porém este é um uso impróprio do termo equalizar. Na verdade, no áudio, equalizar refere-se originariamente a deixar igualado a intensidade sonora de um som em toda a sua faixa de frequência. Por exemplo se, naturalmente, uma pessoa tem a voz de baixo, com os graves bem encorpados, e se ao cantar ao microfone, este não captar adequadamente os graves a pessoa terá sua voz alterada, sendo assim necessário se equalizar a voz. Ou seja, modificar o volume apenas dos graves para poder deixar o grave microfonado igual (equalizado) à voz natural deste cantor. Porém, na prática, equalizar não se limita a buscar deixar igual alguma coisa. Na verdade equalizar significa simplesmente modificar a intensidade sonora de um canal em uma determinada faixa de frequências<sup>21</sup>. Este procedimento está diretamente ligado à sensação de timbre. Alguns adjetivos podem ser utilizados para tentar expressar esta mudança de timbre pretendida pela equalização; São exemplos: grave, agudo, médio, sibilante, encorpado.

<sup>21</sup> Podemos utilizar a equalização para igualar a resposta de frequência do canal com o som original. Outra utilização é modificar a resposta de frequência do som original para alterar o timbre.



Na mesa de som existe uma parte destinada especificamente para alterar a equalização de cada canal. É chamada de equalizador que é composto por diversos botões que alteram a intensidade do som apenas no agudo, no médio e no grave. Dependendo da sofisticação da mesa de som o equalizador pode conter ajustes finos incluindo mais faixas de frequência, ajustes específicos da frequência central e ajuste da largura de banda em relação à frequência central.

Vejamos cada um destes botões:

#### Botão de intensidade

Esse botão tem como zero a posição central (12 horas). É nesta posição que ele está inoperante, ou seja, não está modificando a equalização do canal. Ao se ir para a esquerda a intensidade na faixa de frequência decresce em decibéis conforme a indicação (por exemplo 9h seria -6dB em determinado modelo de mesa de som. Analogamente, para o lado direito temos um acréscimo de sinal. Por exemplo, em determinada mesa de som o botão na posição de 3 horas representaria um acréscimo de 3dB.

#### Botão de ajuste de frequência central

Esse botão simplesmente controla qual a frequência central que o botão de intensidade irá controlar. É necessário se observar as indicações na mesa de som para saber qual a frequência corresponde a cada posição do botão. Observe que para este botão não existe uma posição de descanso, ou preferível para ser deixada.

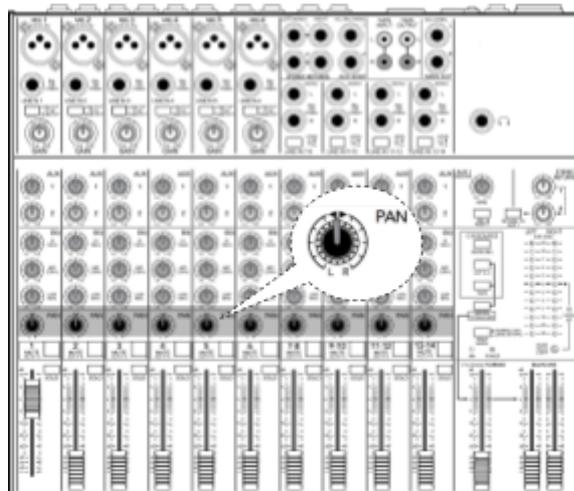
Botão de ajuste de largura de banda.

Este botão ajusta, em oitavas, a largura da banda em torno da frequência central a ser alterada pelo botão de intensidade.

Não é só o equalizador de um canal de uma mesa de som que interfere na equalização (alteração na intensidade sonora em frequências específicas). Em um sistema padrão a equalização poderia ser alterada desde a escolha do microfone, a distância e ângulo de captação, o ganho do sinal (Gain, Trim, Level), o Low cut, além dos botões de equalização especificamente.

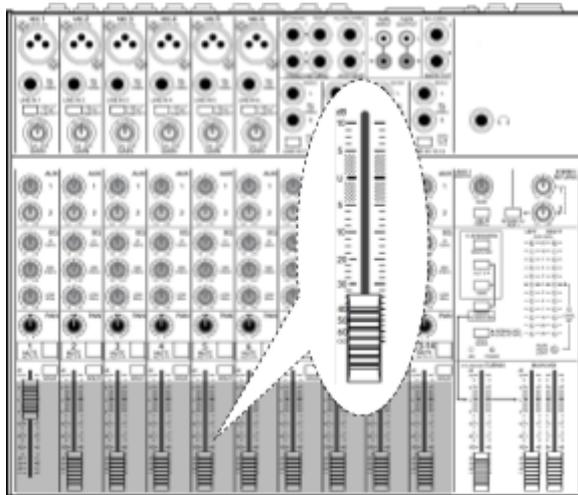
## Pan

O Termo Pan advém de panoramic (panorâmico, em inglês). Em termos práticos de áudio representa espacialmente onde será endereçado o som do canal, considerando uma imagem estéreo. Ou seja, se o som do canal será enviado mais para a esquerda para a direita ou para o centro considerando os canais L e R do barramento principal. Em termos de funcionamento o Pan na verdade simplesmente aumenta ou diminui a intensidade sonora entre os canais L e R do barramento, desta forma, transmitindo ao ouvinte a sensação de que o som amplificado está vindo mais da direita ou mais da esquerda, conforme o posicionamento do ouvinte perante aos caixas de som.



## Fader

Com o objetivo de controlar a intensidade final de cada canal em uma mesa de som, existe o Fader, que é um controle deslizante. Em modelos mais simples de mesa de som é possível que o Fader seja substituído por um botão de volume redondo. A vantagem do Fader é que visualmente fica mais fácil realizar ajustes de volume nos diversos canais da mesa de som. Lembre-se que se cada canal estiver adequadamente ajustado em seus níveis de entrada, realmente o Fader irá representar visualmente algo próximo ao som entre os canais. Geralmente o Fader tem como zero (0 dB) uma posição mais acima da metade de seu deslocamento. Além disso estão anotados valores (geralmente em decibéis) acima e abaixo da posição 0. Quando é utilizado um botão de volume redondo o zero é na posição central (12h). É importante lembrar que zero decibéis não significa ausência de som e sim ausência de modificação da intensidade sonora no fader do canal. Ou seja, a posição “normal” do fader seria no zero.



## Auxiliares

De forma simplificada o sistema de auxiliares de um mixer é composto por entradas, controles de ganho, barramentos, sends (saídas) e *returns* (entradas). Podemos considerar que o sistema auxiliar é um “pequeno mixer secundário dentro do mixer principal”.

Por que compreender o funcionamento dos auxiliares parece ser algo complicado?

- Porque esse recurso do mixer envolve saídas, entradas e botões de controle que estão intimamente relacionados entre si.
- Porque os auxiliares permitem várias possibilidades de utilização, dependendo de como combinamos as saídas, entradas e botões de controle.
- Porque para compreender o sistema de auxiliares de um mixer, precisamos saber como os botões de controle, entradas e saídas auxiliares estão interligados dentro do mixer; precisamos ter uma noção de como é o barramento interno dos auxiliares.

Para que serve a seção de auxiliares do mixer?

Quando conhecemos bem o funcionamento da seção de auxiliares de um mixer, as possibilidades de uso são enormes. Mas de modo geral os auxiliares são utilizados para o sistema de retorno, para inserir efeitos nos canais, para inserir playbacks ou áudios de vídeos que são apresentados em projeções.

Os auxiliares no painel do mixer

Antes de qualquer coisa, precisamos ter em mente que cada modelo de mixer tem particularidades que vão desde sistemas auxiliares dos mais simples até bastante complexos.

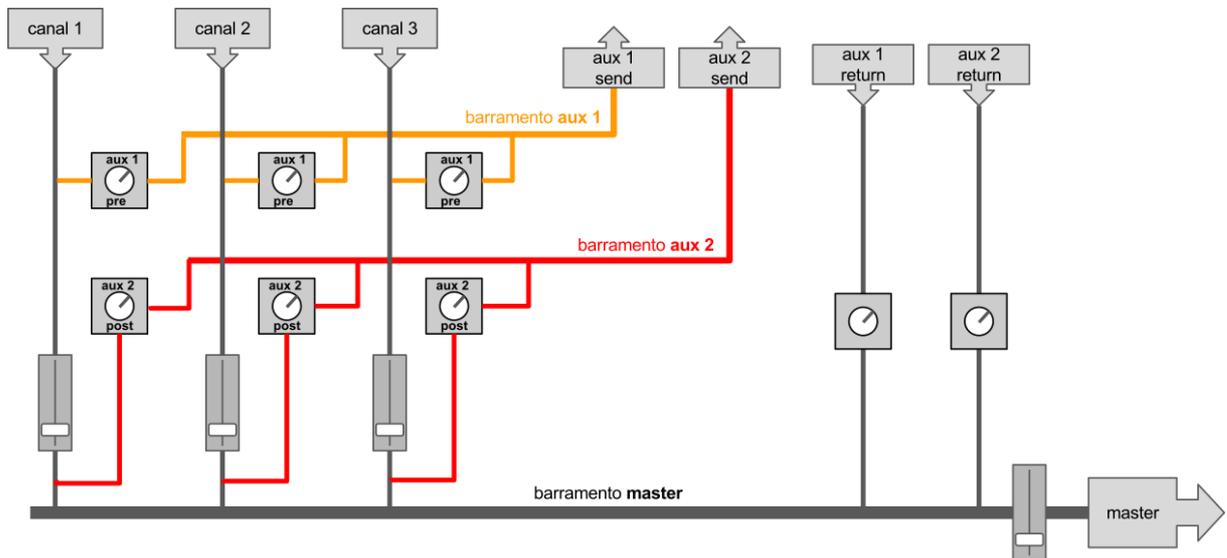
Para entendermos o funcionamento das seções auxiliares, utilizaremos um diagrama simplificado de um mixer.

Em nosso diagrama temos representado não apenas a seção dos auxiliares, mas também a seção master do mixer; que compreende as entradas dos canais, os controles de ganho o barramento de cada canal, o barramento master e o fader master. Tudo isso funciona

independentemente da seção auxiliar, por isso dissemos anteriormente que a seção de auxiliares é como um pequeno mixer dentro do mixer principal.

## Funcionamento dos auxiliares

### Apresentação do diagrama



A primeira coisa a ser observada é que cada canal da mesa de som tem seus próprios controles dos auxiliares.

### Controle de ganho do canal

Como já vimos anteriormente, a função desse controle é ajustar o sinal de entrada do canal.

### Aux1 (pre)

Esse controle é o responsável por enviar uma cópia do sinal do canal de entrada para o barramento auxiliar 1. Ele permite que o operador de som ajuste a quantidade de sinal que será enviada para o barramento auxiliar.

Observe que este controle está conectado antes do fader de cada canal, por isso é chamado de pré fader. Dessa forma, o sinal de áudio que esse controle envia ao barramento auxiliar é totalmente independente do fader do canal.

### Aux2 (post)

Esse controle é o responsável por enviar uma cópia do sinal do canal de entrada para o barramento auxiliar 2.

Agora observe que este controle está conectado depois do fader de cada canal, por isso é chamado de pós fader (post, em inglês). Nesse caso, o sinal de áudio que esse controle envia ao barramento auxiliar depende da posição do fader do canal.

### Aux1 send e aux2 send

Os sinais que os canais enviam aos barramentos auxiliares chegam misturados no controle aux send do barramento correspondente. Esses botões funcionam como controladores gerais das saídas dos auxiliares.

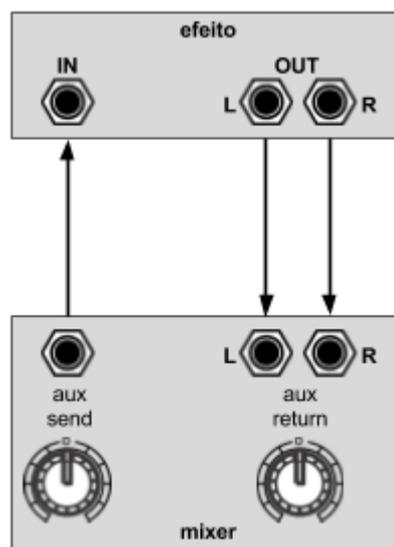
No diagrama os conectores de saída dos auxiliares estão didaticamente logo acima dos seus respectivos controles send. No entanto, nos mixers os botões de controle aux send ficam bem longe dos conectores de saída correspondentes, e agrupados a outros tantos conectores. Quando não conseguimos identificar os conectores correspondentes aos auxiliares de um mixer, devemos recorrer ao manual do equipamento.

### Aux returns

No sistema de auxiliares do mixer temos uma funcionalidade chamada de RETURN (retorno). Os aux returns são na verdade entradas auxiliares.

Essas entradas auxiliares podem ser utilizadas como canais de entrada extras para conectar equipamentos externos para reprodução de músicas ou playbacks.

Outra função das entradas auxiliares é receber o sinal processado por equipamentos de efeito externos. Isso é feito da seguinte forma:



1. Conectamos a saída aux send na entrada (IN) do processador de efeito.
2. Conectamos a saída do processador de efeito na entrada aux return.

Com essa configuração, controlamos o nível de sinal que será enviado ao processador de efeito com o botão de controle aux send, e o nível do sinal processado que está retornando para o mixer é ajustado no botão aux return correspondente.

É importante notar que o sinal do auxiliar que sai da mesa (send) é mono, enquanto que o sinal processado pelo efeito e que retorna pelas aux returns é geralmente estéreo.

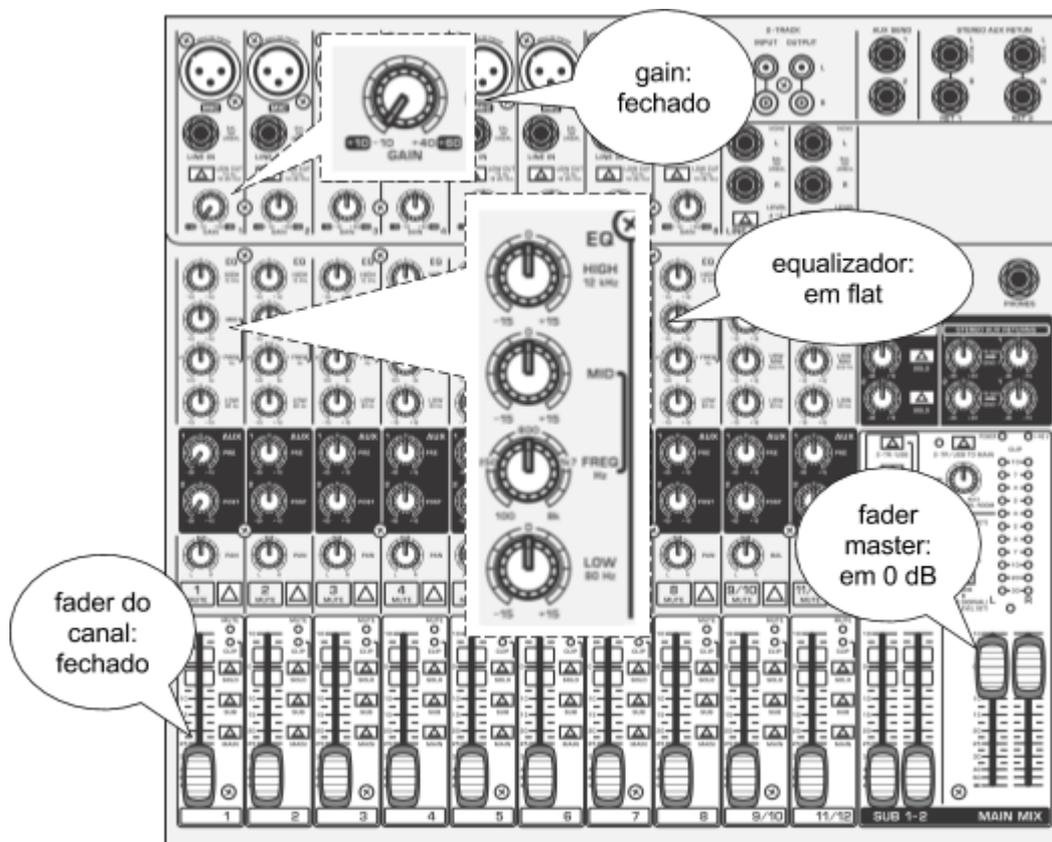
## Passagem do som

Um dos momentos delicados no trabalho do operador de som é quando ele precisa mixar e equalizar todos os instrumentos. Esse é o momento em que dizemos que estamos passando o som.

## Posição inicial dos controles

Na primeira vez que o som é passado, a primeira coisa que devemos fazer é inicializar os botões de ganho e equalização.

Os controles de equalização e o master do mixer devem ser posicionados em 'flat'. O ganho de entrada e o fader dos canais devem ser totalmente fechados.

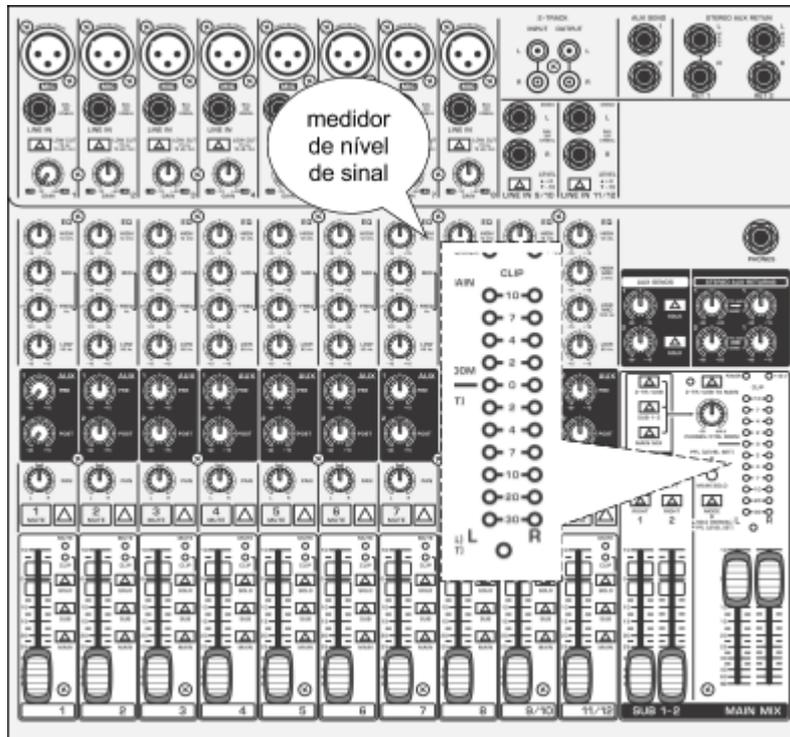


Em sonorização a expressão flat significa uma condição em que o sinal de áudio não está sofrendo alteração pelo circuito eletrônico em que está passando. Na posição flat o sinal de áudio não está sendo amplificado, nem reduzido, nem equalizado.

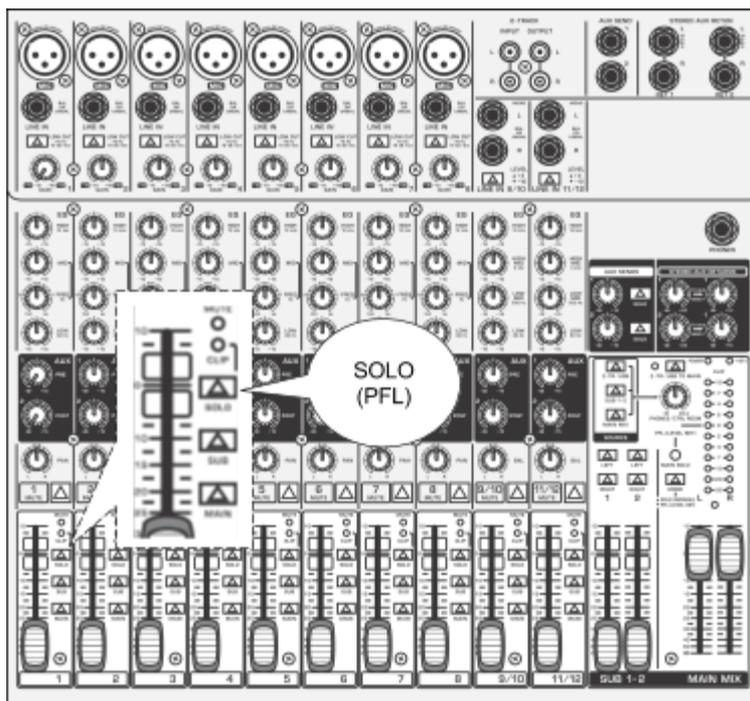
## Ajuste dos níveis operacionais

O modo de ajuste do sinal de entrada para o nível operacional varia de mixer para mixer, mas o objetivo é sempre o mesmo: fazer com que todos os microfones e instrumentos ligados à mesa trabalhem no mesmo nível e que este nível seja o mais adequado ao mixer.

Todo mixer tem alguma forma de mostrar o nível operacional de cada canal, desde um simples led indicador até medidores de nível analógicos. Na maioria dos casos os mixers têm um led indicador de nível de sinal logo na entrada do canal e um medidor de nível principal que pode também ser utilizado para medir o nível de um canal de cada vez.



Também é muito comum encontrarmos nos canais do mixer um botão com a sigla PFL (pre fader level). Quando acionado, este botão faz com que o sinal do canal presente antes do fader seja enviado para o medidor de nível do mixer. Em alguns outros mixers, ao invés de PFL, encontramos um botão chamado SOLO que desempenha esse papel.



Como temos uma grande variedade de marcas e modelos de mixers é necessário verificar no manual do equipamento como enviar o sinal pre fader de cada canal para o medidor de nível.

## Sequência de passagem do som

É uma boa prática começar passando o som para os microfones e depois os instrumentos. Isso porque, como já vimos anteriormente, os microfones têm um PAG (ganho acústico potencial) que precisa ser respeitado para evitar a microfonia, ou seja, teoricamente os instrumentos, que são ligados diretamente à mesa com nível de sinal de linha, não têm limites para o aumento do ganho, enquanto que os microfones têm.

É melhor que a passagem do som dos microfones comece pelo microfone principal (solista ou vocalista principal). Isso porque é desejável que o som desse microfone de destaque em meio aos outros.

## Passo a passo

Para facilitar a passagem do som, seguiremos um passo a passo prático. Este passo a passo é semelhante para os 3 casos, microfone principal, vocais e instrumentos, com algumas poucas diferenças de procedimento em cada caso.

	Mic. Principal	Mic. Vocais	Instrumentos
1 - Low cut	sim	sim	não
2 - Posicionamento	perto da boca	perto da boca	posição fixa
3 - Volume	cantar forte	cantar forte	volume fixo
4 - Ajustar nível operacional <sup>22</sup>	0 dB	0 dB	0 dB
5 - Abrir fader do canal	com base no PAG	com base no Principal	com base no Principal
6 - Margem contra microfonia <sup>23</sup>	3 ou 6 dB	3 ou 6 dB	não
7 - Equalização	ajustar o timbre	ajustar o timbre	ajustar o timbre
8 - Margem para os vocais <sup>24</sup>	sim	não	não

<sup>22</sup> Zero decibéis não é sem som ou tudo fechado, e sim a posição em que o som está dentro do nível operacional, alcançando o nível de 0 dB no medidor de nível.

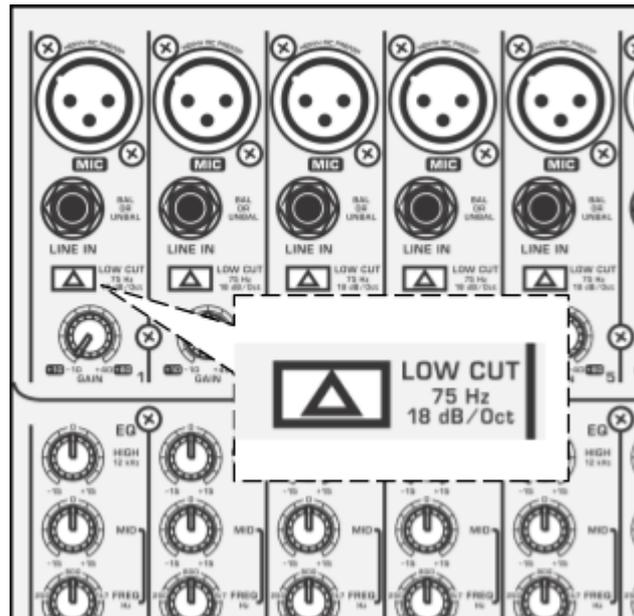
<sup>23</sup> 3 dB para ambientes secos ou 6 dB para ambiente reverberantes.

<sup>24</sup> Diminuir três decibéis (-3 dB).

## Microfone principal

### 1. Low cut acionado

Como já vimos anteriormente, o botão Low Cut aciona um filtro que bloqueia a passagem de frequências graves. Como em sonorização a tessitura da voz não é considerada grave e sim de frequência média, devemos deixar o low cut acionado para qualquer microfone que esteja captando voz ou instrumentos agudos. Esta é uma forma de diminuir a presença de ruído na mixagem.



### 2. Posicionar corretamente o microfone perto da boca.

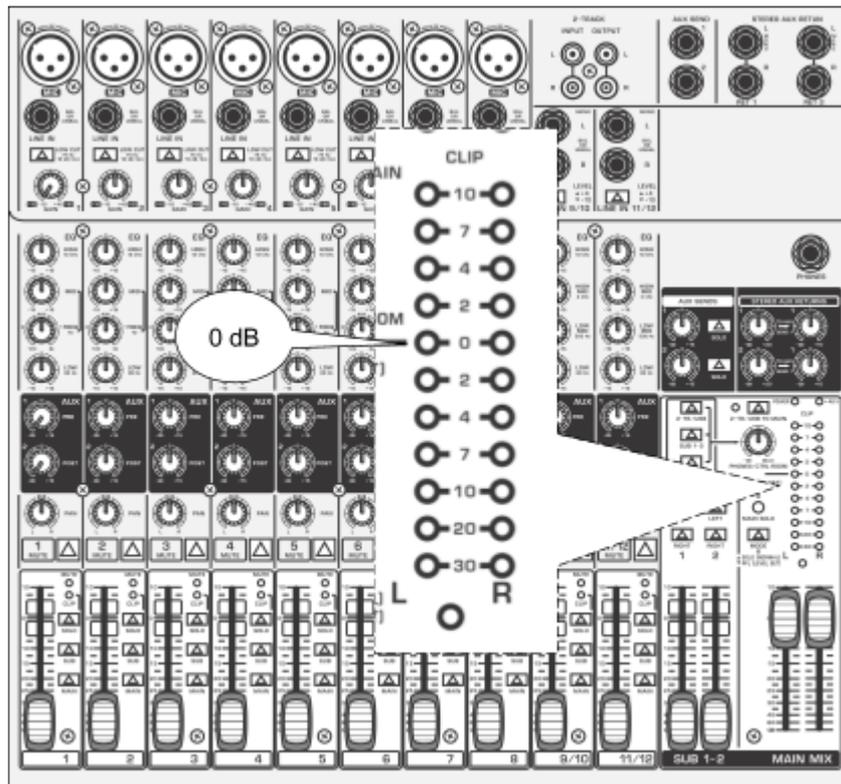
Para passar o som do microfone, o cantor precisa posicioná-lo de frente para a boca a uma distância de no máximo 10 cm. E se o cantor tem costume de cantar com a boca colada no microfone, então a passagem de som para esse cantor precisa ser feita com o microfone também colado na boca.



### 3. Cantar forte, mas sem 'gritar' no microfone.

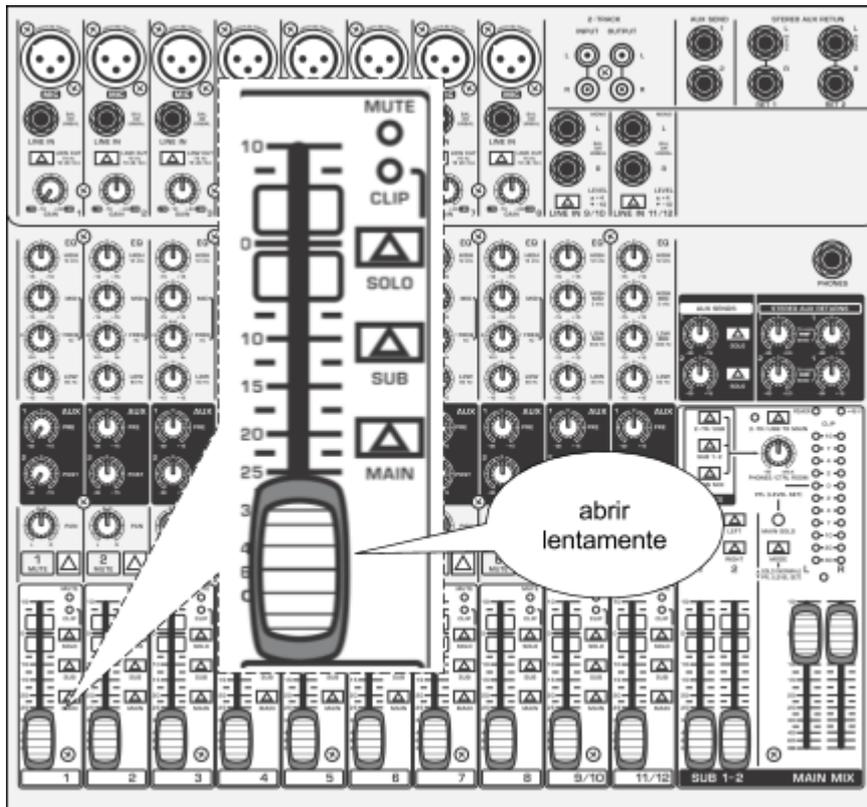
Muitas vezes no momento de passar o som, os cantores não cantam com a mesma potência de voz que utilizaram durante o programa. É essencial que o operador de som oriente os cantores de que é necessário cantar com a mesma potência tanto no programa como na passagem do som.

### 4. Ajustar o nível operacional.



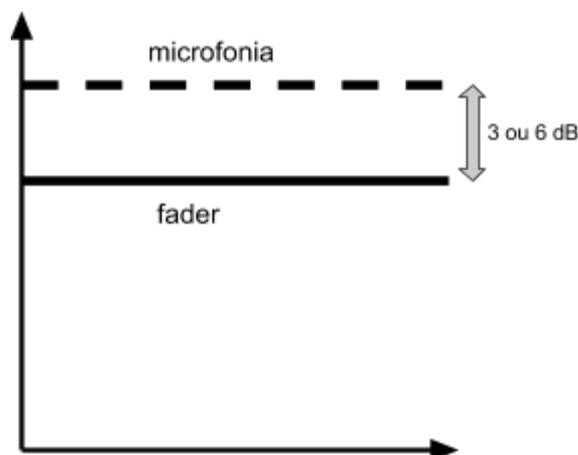
Com o mixer já pronto para enviar o sinal pré fader para o medidor de nível, precisamos ir abrindo o gain aos poucos, até que o sinal de áudio esteja alcançando a posição 0 dB no medidor.

5. Abrir o fader do canal até o máximo possível sem microfonia.



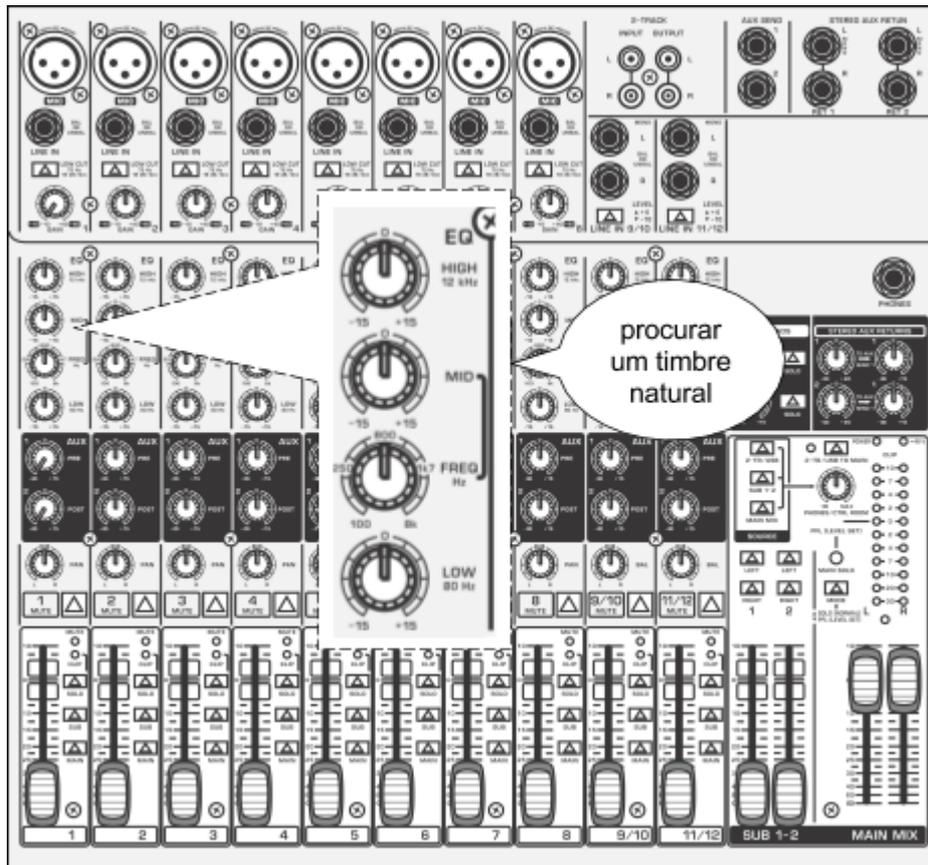
Com o nível do sinal de entrada ajustado, abrimos lentamente o fader do canal até o ponto máximo antes de ocorrer a microfonia.

6. Margem contra microfonia



Após localizar o ponto crítico em que o microfone pode operar sem microfonia, deixamos uma margem de segurança, diminuindo o fader em 3 dB para ambientes secos e 6 dB para ambientes com tempo de reverberação alto (RT60 de 2 segundos e meio em diante)

## 7. Equalizar o canal



Ajustar o timbre usando o equalizador do canal (se ao ajustar o timbre ocorrer microfonia, diminuir o sinal no fader do canal).

Se o ajuste do timbre foi necessário, voltar ao passo 5 para reajustar a abertura do fader do canal atualizando a margem de segurança contra microfonia.

## 8. Margem para os vocais

Se houver vocais, diminuir 3dB no fader do canal, para dar margem para os microfones deles. O objetivo é fazer com que o microfone principal sozinho tenha a mesma intensidade que todos os microfones dos vocais somados.

## Vocais

O procedimento para a passagem dos microfones dos vocais segue os passos de 1 a 7, e tem mais uma peculiaridade, compensação da quantidade de microfones abertos. Quando estudamos sobre PAG, vimos que o ganho acústico potencial de um sistema de som deve ser dividido entre a quantidade de microfones abertos. Na prática isso significa diminuir 3dB dos microfones toda vez que a quantidade de microfones abertos dobra.

Então, ajustamos o primeiro microfone. Antes de abrir o segundo devemos diminuir em 3dB o nível do primeiro. Ao abrir o quarto microfone, devemos diminuir 3dB no nível dos outros três, ao abrir o oitavo devemos diminuir 3dB no nível dos outros sete, e assim por diante.

## Instrumentos

Para os instrumentos, seguiremos o mesmo passo a passo, com uma diferença: o nível dos instrumentos não é relacionado com o ponto crítico de microfonia, e sim com o nível dos microfones.

Levando em conta que as vozes devem se destacar no programa, o nível do primeiro instrumento deve ficar 6 dB abaixo do nível dos microfones, dando a sensação de que os instrumentos estão mais longe da platéia (regra dos 6 dB).

Assim como para os microfones, prosseguimos acrescentando os instrumentos diminuindo todos em 3 dB a cada vez que a quantidade de instrumentos dobra.

### Conjunto

Esse passo a passo pretende deixar os níveis dos microfones e instrumentos em um ponto inicial razoavelmente adequado. A partir desse ponto, podem e devem ser feitos ajustes mais finos no conjunto, pedindo que o grupo execute uma música em que todos toquem e cantem.

A música para a passagem do som deve ser aquela de maior intensidade dentre as que serão executados durante o programa.

Nesse ajuste fino, o operador de som deve buscar principalmente 3 coisas: Inteligibilidade, principalmente das vozes, uniformidade nos vocais, uniformidade nos instrumentos.

Caso haja bateria acústica e essa não seja microfonada, o controle do nível sonoro do instrumento fica totalmente sob o controle do baterista. É papel do operador de som informar ao baterista se a intensidade do instrumento está adequada ao programa sonoro. É importante que o operador explique ao grupo que os microfones precisam ser a referência de intensidade devido ao controle de microfonia.

## Sabotagem

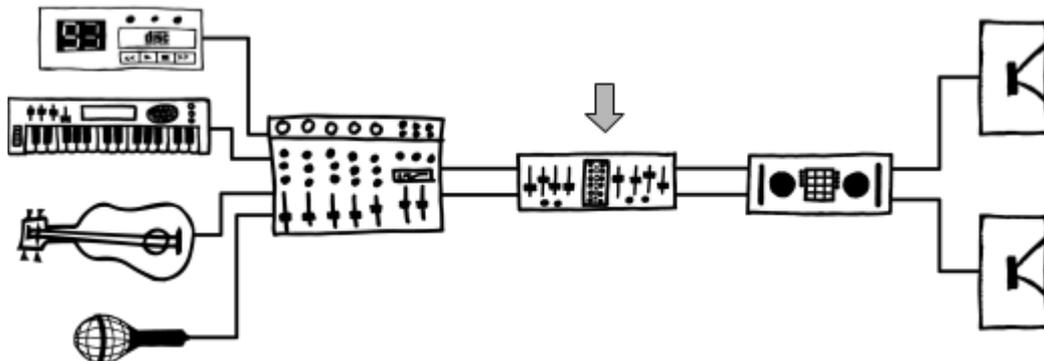
Um ambiente de amizade, respeito e cumplicidade é talvez o fator mais importante para um bom resultado sonoro. Isso porque sem esse tipo de relacionamento a passagem do som poderá ser sabotada durante o programa. Os músicos e cantores podem sabotar o trabalho do operador de som durante o programa das seguintes formas:

- Cantar com o microfone mais perto do que no momento da passagem de som, ou cantar mais forte.
- Trocar de microfone.
- Aumentar o volume do instrumento.
- Alterar a equalização do instrumento.
- Mudar de lugar ou mudar os amplificadores e caixas de retorno do lugar.

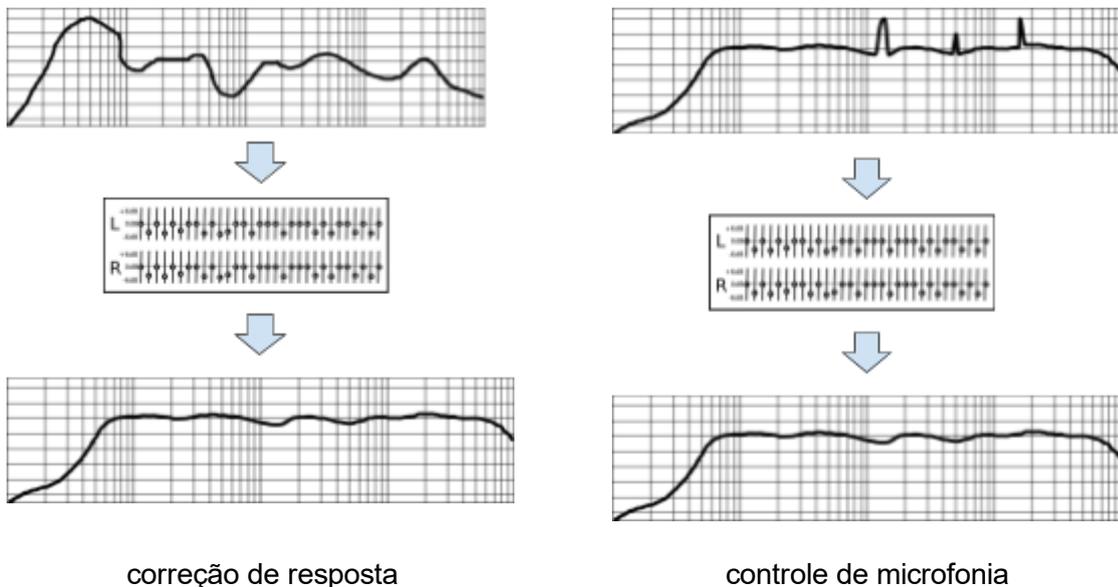
Essas atitudes realmente podem jogar por terra todo o trabalho de passagem do som antes do programa. Por isso é fundamental que o operador de som e os músicos entrem em acordo.

## Equalização master

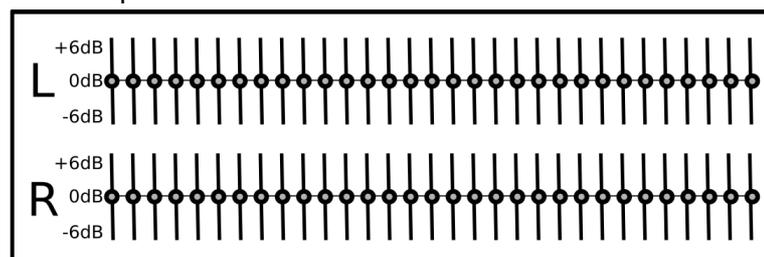
Estamos nos referindo a equalização master como aquela que fica entre a mesa de som e os amplificadores, ou seja, é a equalização geral do sistema.



Essa equalização tem 2 objetivos: correção de resposta de frequência, e controle de microfonia.



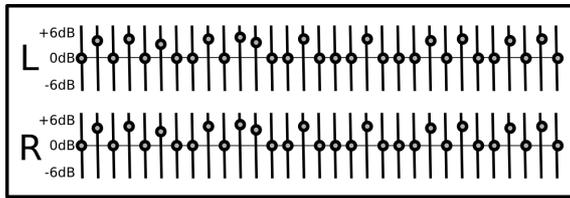
Para isso são utilizados equalizadores gráficos, que são aparelhos que possuem vários potenciômetros que atuam em uma frequência própria. Encontramos no mercado equalizadores gráficos de 5, 6, 7, 10, 12 até 31 bandas<sup>25</sup>. Em sonorização profissional não é aconselhável utilizar equalizadores de menos de 31 bandas, pois, quanto mais bandas, mais controle temos sobre o espectro de áudio.



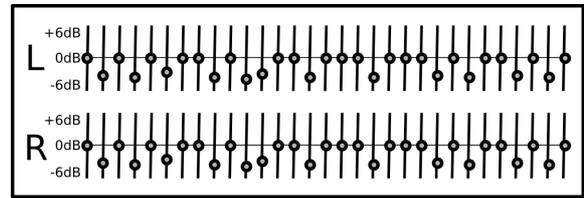
<sup>25</sup> banda é representada por cada potenciômetro.

Antes de continuarmos vale a pena lembrar das seguintes regras:

1. O equalizador deve preferencialmente ser utilizado para atenuar frequências e não para reforçar. Essa regra garante que os drivers e tweeters do sistema de som não fiquem sobrecarregados e sejam danificados.

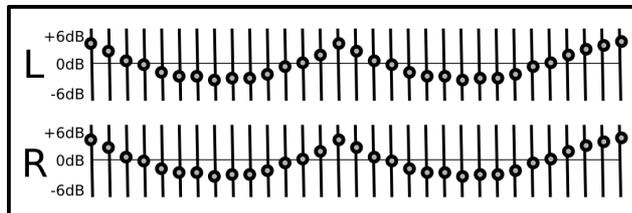


errado



certo

2. Não existe um padrão ou “desenho” no equalizador gráfico que deve ser utilizado para melhorar o som. A posição dos potenciômetros vai depender do que estamos precisando equalizar.



errado

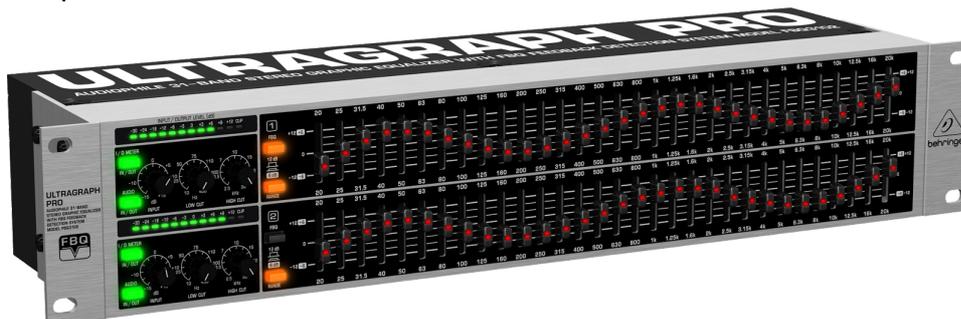
## Tipos de equalizadores gráficos

Considerando que estaremos sempre trabalhando com equalizadores gráficos de 31 bandas, veremos 4 tipos de equalizadores atualmente encontrados facilmente no mercado.

1. Manual: é o equalizador mais simples que oferece apenas a função de equalização mas não tem nenhum recurso de automação. No entanto, é bom ressaltar que a falta de automação não tem a ver com a qualidade sonora do equipamento.



2. Detector de microfonia: é o equalizador que apresenta em cada potenciômetro de banda um led indicador que brilha mais forte quando ocorre microfonia na frequência correspondente.



3. RTA: é o equipamento que faz a equalização automática ou semiautomática<sup>26</sup>.

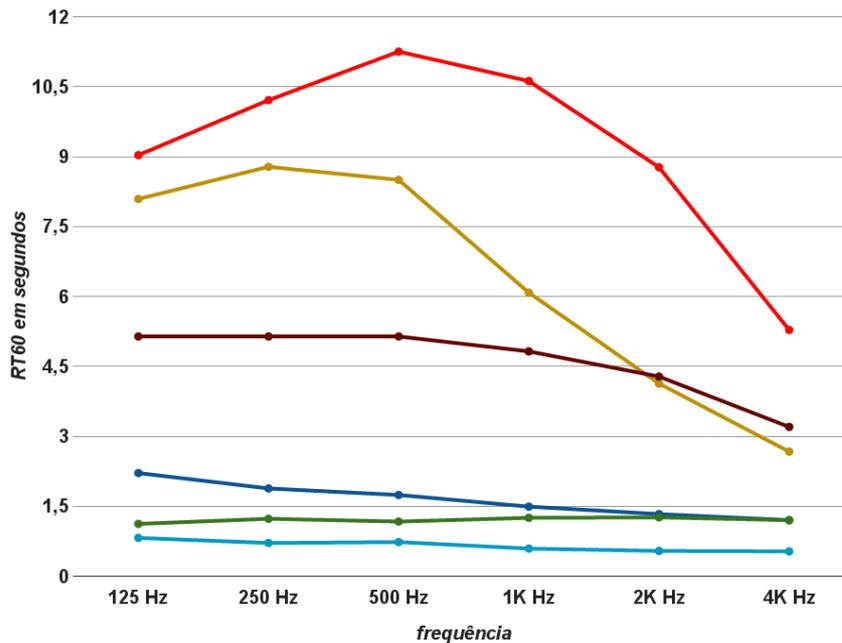


4. Feedback destroyer: é um equipamento que detecta as frequência com microfonia, eliminando-as automaticamente.



### Correção de resposta de frequência

Cada ambiente tem sua acústica própria e um tempo de reverberação diferente para as frequências graves, médias e agudas.

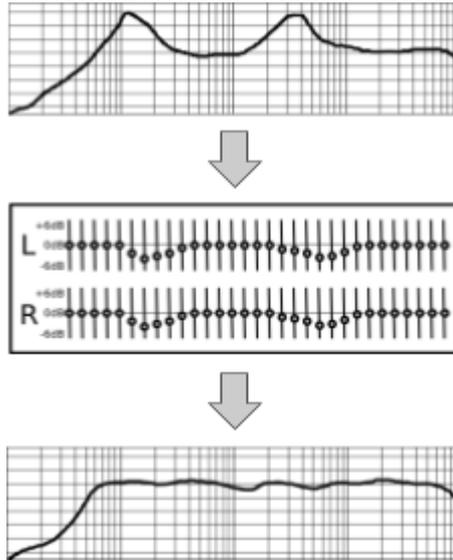


Quando um ambiente tem uma boa acústica essas diferenças tendem a ser menores, mas na prática não existe uma acústica perfeita.

Além disso, os projetores de som também não são perfeitos e podem apresentar uma resposta de frequência irregular, embora projetores de excelente qualidade cheguem à “beira da perfeição”.

<sup>26</sup> Na equalização automática o aparelho faz todo o trabalho. Já na semiautomática, é necessário alguma intervenção do operador.

Corrigir a resposta de frequência consiste em atenuar frequências que estejam sobressaindo no ambiente.



Quando temos um equalizador manual, a correção da resposta de frequência terá que ser feita “de ouvido”.

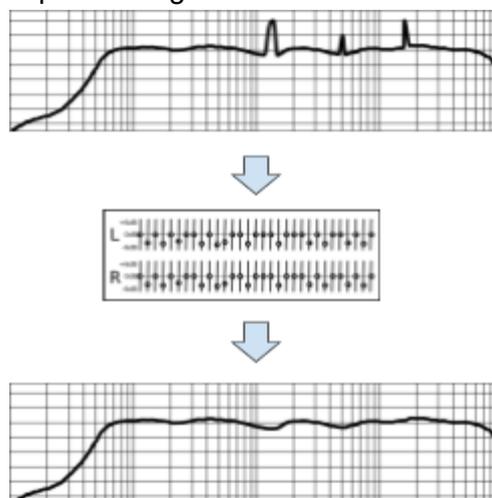
O sucesso ou não desse procedimento vai depender totalmente da sensibilidade auditiva e da experiência do operador de som, que terá que “sentir” a resposta e atenuar as frequências corretas no equalizador. É uma boa prática fazer essa equalização colocando-se para tocar uma gravação de boa qualidade e que seja bem conhecida do operador de som. Enquanto a música toca, o operador vai ajustando as frequências.

Esse processo pode ser feito automaticamente com o uso de um equalizador com analisador de espectro em tempo real (RTA). Neste processo o próprio aparelho emite um ruído, que contém todas as frequências do espectro de áudio, para medir e corrigir a resposta de frequência do local.

## Controle de microfonia

Os equalizadores gráficos, quando bem operados, são poderosas ferramentas para controlar a microfonia em um sistema de sonorização. Mas os equalizadores não podem fazer milagres. Por isso o controle da microfonia deve começar muito antes, conforme estudamos anteriormente.

O procedimento consiste em identificar as frequências dos “apitos” da microfonia e reduzir essas frequências no equalizador gráfico.



Com um equalizador sem detecção de microfonia, o operador precisa ter um bom ouvido e uma boa noção de frequências para poder encontrar a banda certa a ser atenuada.

Os passos para controlar a microfonia com um equalizador gráfico qualquer são:

1. Inicialização.
  - a. Fechar totalmente o fader master do mixer.
  - b. Deixar o fader dos microfones na posição 0 dB e a equalização dos canais em flat.
  - c. Deixar em flat todos os potenciômetros do equalizador.
2. Detecção.
  - a. Aumentar lentamente o fader master do mixer até o leve surgimento da primeira microfonia.
  - b. Localizar no equalizador a banda de frequência correspondente à microfonia.
3. Eliminação.
  - a. Atenuar a banda de frequência até o total desaparecimento da microfonia.
4. Repetição.
  - a. Continuar aumentando o fader master até o surgimento de outra frequência de microfonia ou a mesma já tratada.
  - b. Repetir o processo a partir do passo 2, até o limite em que a microfonia não possa mais ser controlada.
5. Finalização.
  - a. Reposicionar os faders dos microfones e master na posição ajustada previamente no processo de ajuste dos níveis operacionais.

Esse processo, apesar de fácil, requer prática e habilidade do operador para chegar aos melhores resultados.

A diferença entre a utilização de um equalizador sem detecção ou com detecção de microfonia, é que o processo se torna mais fácil e preciso com o segundo tipo.

Com um equalizador com função de feedback destroyer (destruidor de microfonia) o processo se torna automático, mas não se deve utilizar esse recurso abusivamente para não degradar o som e provocar a instabilidade no funcionamento desse equipamento.

O equalizador gráfico é, como já vimos, essencial para um bom resultado sonoro do sistema; mas somente se for usado corretamente.

A conclusão é que se o equalizador não for bem utilizado, seria melhor ficar sem ele; mas o uso correto fará uma grande diferença, para melhor.

## Ruído

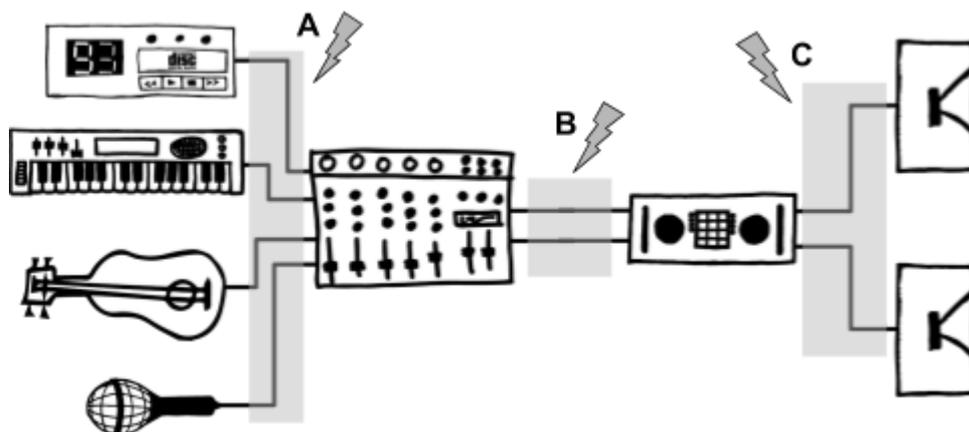
Os ruídos que ocorrem em um sistema de som podem ser principalmente originados por interferência de RF, ruídos da rede elétrica C.A., ruídos gerados por instrumentos, equipamentos e cabos com defeito ou de baixa qualidade e instalações precárias do sistema.

## Interferência de RF

Ocorre quando ondas de radiofrequência são captadas e detectadas em algum ponto do sistema de som.

### Causas

- Plugs oxidados ou com mau contato.
- Cabos de baixa qualidade ou sem blindagem.
- Equipamentos com defeito.
- Proximidade de estações de rádio ou torres de repetição de R.F.
- Aterramento inadequado ou inexistente.



Na figura vemos destacadas 3 regiões que representam diferentes pontos do sistema onde podem ocorrer captação de R.F.

**Região A:** o ruído penetra no sistema pelos instrumentos, cabos ou plugs antes de entrar na mesa de som. Neste caso, para determinar a origem do ruído, basta desconectar os cabos um a um até achar a fonte do ruído. Quando a captação de R.F. ocorre neste estágio, será claramente percebido pelos ouvintes pois será amplificado pelo próprio ganho da mesa de som e ainda passará por uma amplificação no amplificador.

**Região B:** o ruído é captado nos cabos ou nas conexões entre a mesa de som e o amplificador ou pela própria mesa. Neste estágio, o ruído de R.F. ainda será prejudicial pois sofrerá uma amplificação antes de chegar às caixas acústicas.

**Região C:** O ruído é captado pelos cabos que alimentam as caixas acústicas. Neste caso os sinais de R.F. não serão amplificados, não representando assim qualquer problema, pois os sinais elétricos enviados pelo amplificador para as caixas acústicas são muito mais intensos que os sinais de rádio. Por esse motivo os cabos que ligam as caixas acústicas aos amplificadores não precisam ser blindados.

## Prevenção

- Utilização de plugs de boa qualidade e revisão periódica dos mesmos com aplicação de
- antioxidantes adequados.
- Utilização de cabos blindados de boa qualidade para conexões entre instrumentos, mesa
- de som, amplificadores e etc.
- Plugs e cabos bem montados e bem soldados.
- Utilização de sistema balanceado para sistemas com muitos instrumentos ou microfones.
- Aterrar o sistema de som.

## Ruídos da rede elétrica C.A.

A energia elétrica que chega às nossas tomadas é uma corrente alternada com frequência de 60Hz. Como 60Hz é uma frequência que está dentro do espectro auditivo, qualquer “interferência” desta corrente em nosso sistema será reproduzido pelos alto-falantes como um som grave e constante.

## Causas

- Equipamentos com defeito na fonte de alimentação (os pedais de efeito, teclados e amplificadores de instrumentos são “campeões” nesta área).
- Fiação da rede elétrica junto com cabos de sinal do sistema de som (não se pode utilizar o mesmo conduíte para o som e para os fios elétricos ).
- Sistema com aterramento inadequado ou deficiente.
- Utilização de cabos não blindados para ligações de equipamentos.

## Prevenção

- Utilização de fontes de alimentação de boa qualidade para pedais de efeito e instrumentos.
- Instalações de som e eletricidade separadas.
- Aterramento adequado dos equipamentos de som.
- Utilização de cabos blindados para a interligação dos equipamentos de som.

## Cabeamento

O cabeamento deve receber uma atenção especial nas instalações de áudio, afinal é através dos fios e cabos que o sinal de áudio viaja desde a fonte sonora até as caixas acústicas. Podemos classificar o cabeamento em 2 categorias: de potência e de linha.

Cabeamento de potência

É o cabeamento que leva o sinal de potência do amplificador até o projetor de som. Para esse cabeamento é aconselhável a utilização de cabo PP, nas bitolas indicadas pelo fabricante.

Os cabos devem ser o mais curto possível para evitar a perda de potência e o baixo fator de amortecimento do amplificador.

Um fator de amortecimento baixo, provoca a degradação dos graves e médio graves do sistema<sup>27</sup>.

A tabela a seguir apresenta a porcentagem de perda de potência para algumas situações:

PERDA DE POTÊNCIA EM PORCENTAGEM X COMPRIMENTO DO CABO									
CABO DE 50/60 HZ (CABO COMUM DE ENERGIA ELÉTRICA)									
BITOLA	COMPRIMENTO 5 METROS			COMPRIMENTO 10 METROS			COMPRIMENTO 30 METROS		
	2Ω	4Ω	8Ω	2Ω	4Ω	8Ω	2Ω	4Ω	8Ω
mm <sup>2</sup>	%	%	%	%	%	%	%	%	%
<b>2 X 1,5</b>	8,30	4,33	2,21	15,33	8,30	4,33	35,19	21,35	11,95
<b>2 X 2,5</b>	5,25	2,70	1,37	9,98	5,25	2,70	24,96	14,26	7,68
<b>2 X 4</b>	3,33	1,70	0,86	6,45	3,33	1,70	17,15	9,38	4,92
<b>2 X 6</b>	2,25	1,14	0,57	4,41	2,25	1,14	12,16	6,47	3,34

Para garantir o rendimento de potência e um alto fator de amortecimento é essencial que a bitola dos cabos seja aquela indicada no manual do amplificador.

## Sistema balanceado X não balanceado

As entradas e saídas dos equipamentos de som podem ser balanceadas ou não balanceadas.

O termo balanceado se refere ao terra do sinal de áudio.

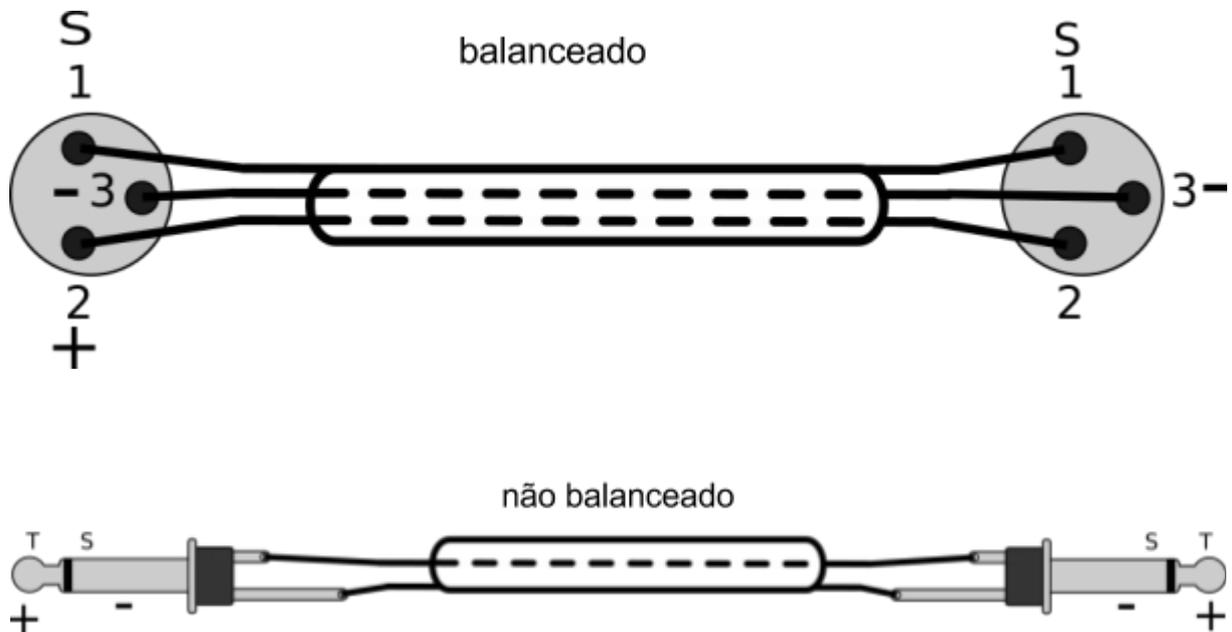
No sistema não balanceado, o condutor terra é utilizado para o retorno dos sinais elétricos, e

<sup>27</sup> Os graves tendem a perder a definição.

por isso requer apenas dois condutores. Esses condutores são conhecidos como “+” e “-”, sendo que o “-” é utilizado também como terra do sistema e como blindagem do condutor “+”.

Já no sistema balanceado, o condutor que porta o sinal “+” e o seu retorno “-” são independentes do terra, e ambos são blindados pelo condutor terra. Este sistema requer três condutores (“+”, “-” e terra).

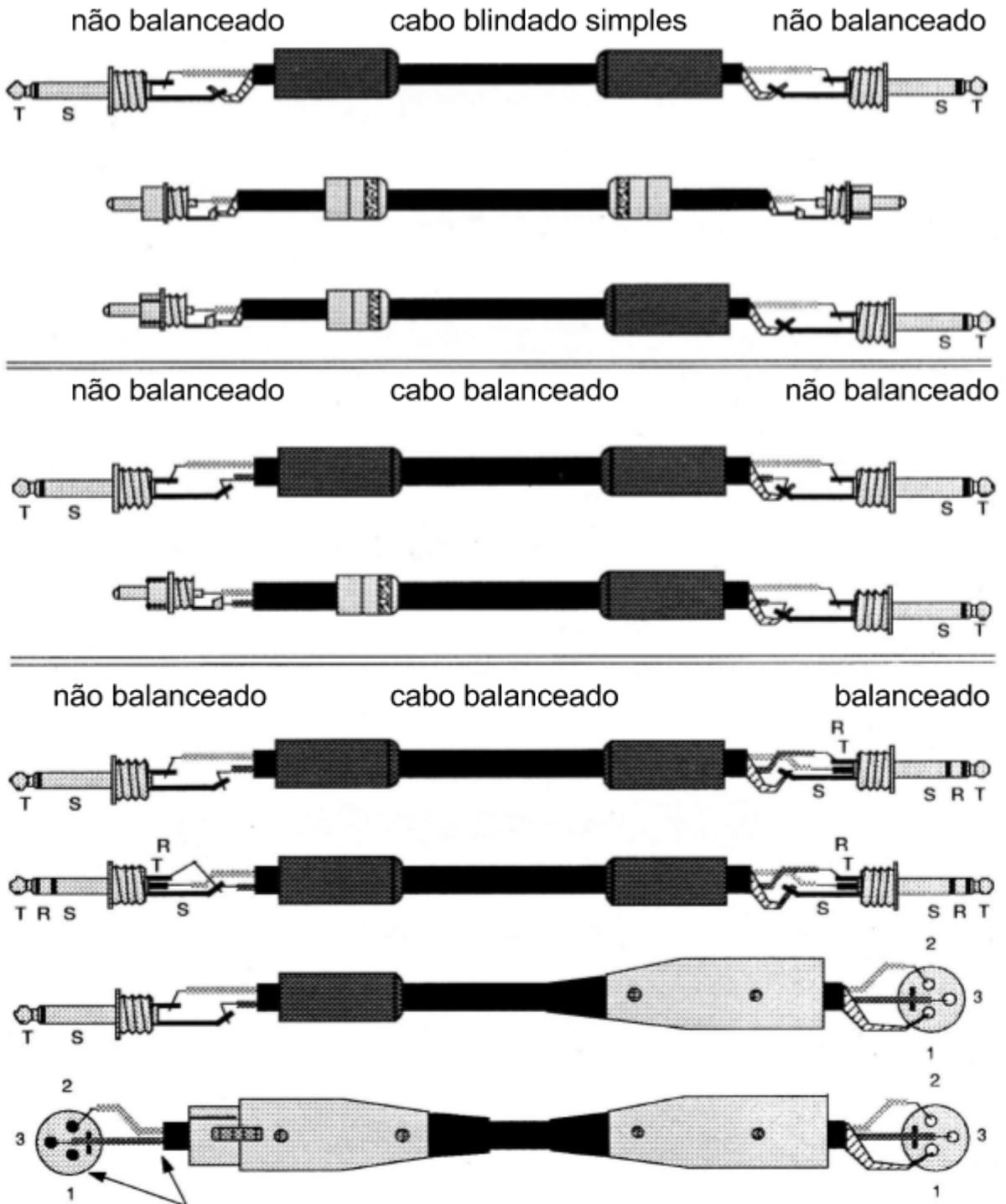
O Esquema seguinte ilustra os tipos de ligações nos dois sistemas.

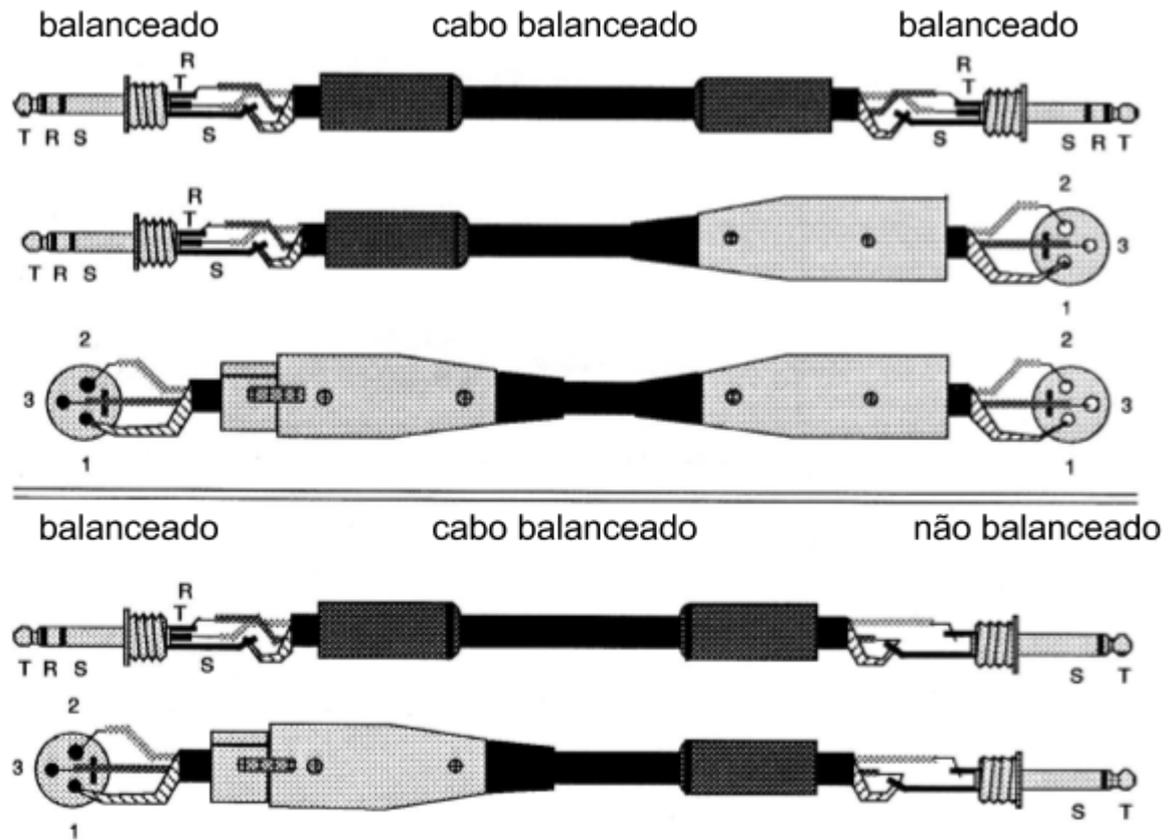


A técnica balanceada garante maior imunidade contra interferências de R.F. e de C.A.

Quando o sistema é complexo (muitas entradas) e quando a distância entre a mesa de som e instrumentos ou microfones é superior a 10 metros, torna-se praticamente obrigatória a utilização deste sistema.

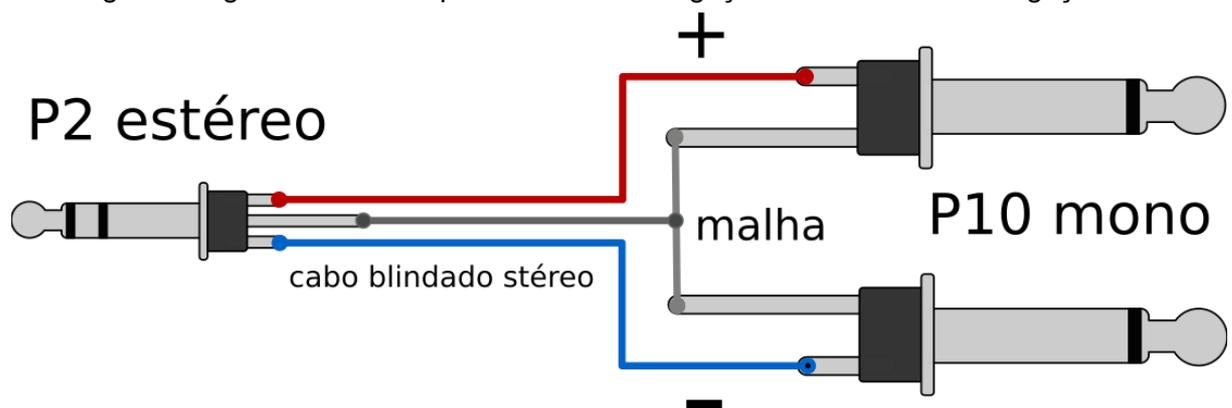
A montagem dos cabos para microfones e equipamentos pode ser feita conforme as seguintes ilustrações:



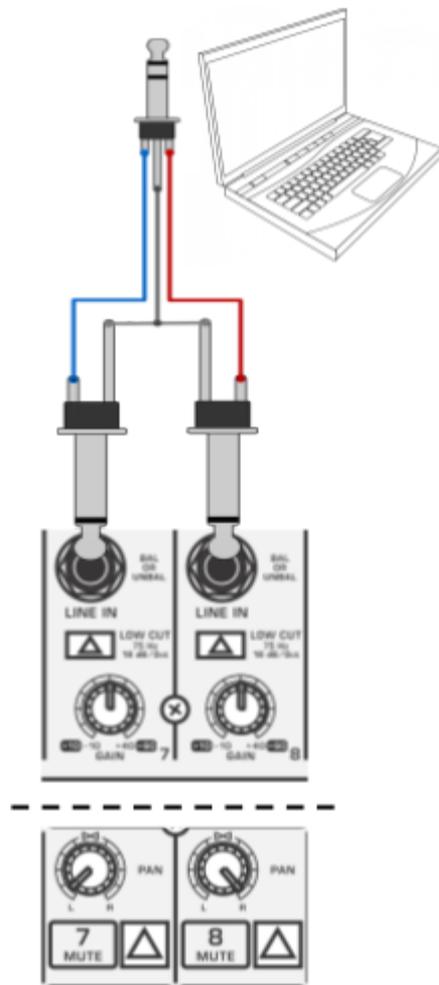
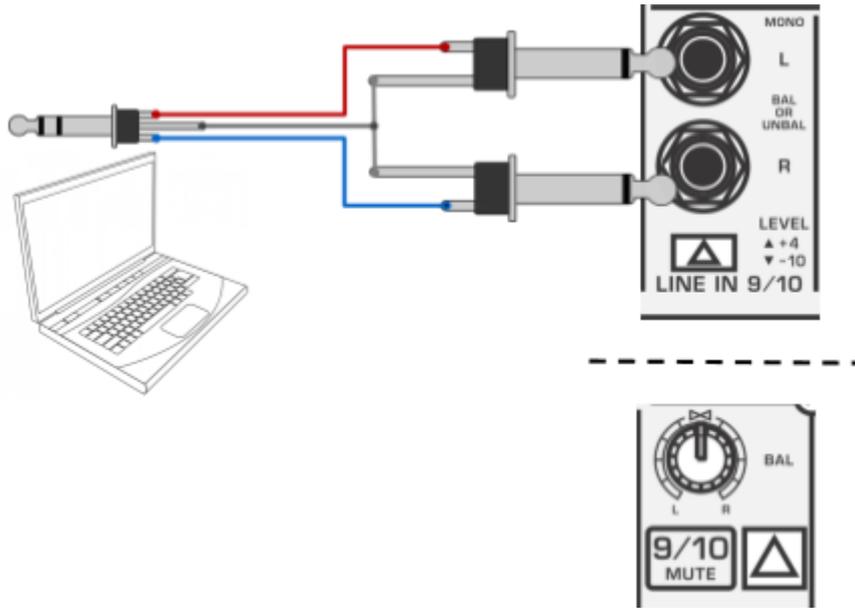


### Cabo para ligar notebook ou smartphone na mesa de som

Atualmente os equipamentos mais utilizados como tocadores de música e playback é o notebook e o smartphone. Mas ao conectar esses tocadores à mesa de som precisamos ter em mente que a saída desses aparelhos é estéreo e apresentada como um plug fêmea do tipo P2. A figura a seguir mostra o esquema do cabo de ligação necessário à esse ligação.



Com esse cabo podemos conectar o notebook ou smartphone na mesa utilizando 2 canais mono ou 1 canal estéreo, conforme a ilustração:



Na ilustração podemos observar que o pan do canal estéreo deve ficar centralizado, enquanto que na ligação em 2 canais mono devemos separar totalmente o pan dos canais esquerdo e direito.

## Bibliografia

BANDINI, Alberto. Instalaciones Electroacústicas. Barcelona: Marcombo, 1994. 111 p.

Cysne, Luiz Fernando O. Áudio: Engenharia e Sistemas. Rio de Janeiro: H Sheldon. 2 ed. 1991. 220 p.

DAVIS, Gary. JONES, Ralph. Sound Reinforcement Handbook. USA: Hal Leonard. 1989. 412 p.

DE SOUZA, Léa Crstina; DE ALMEIDA, Manuela Guedes; BRANGANÇA, Luís. Bê á Bá da Acústica Arquitetônica: Ouvindo a Arquitetura. São Carlos: Edufscar, 2013. 149 p.

HENRIQUE, Fábio. Guia de Microfonação. Rio de Janeiro: Ed. Música & Tecnologia.. 2015. 193 p.

MACHADO, Renato Muchon. Som ao Vivo: Conceitos e Aplicações Básicas em Sonorização. Rio de Janeiro: H Sheldon. 2001. 159 p.

MOSCAL, Tony. Sound Check: O Básico de Som e Sistemas de Sonorização. Tradução de Joel Brito. Rio de Janeiro: H.Sheldon, 2001. 124 p.

PARK. Lonnie. Sistemas de Som para Igrejas. Tradução de Homero Sette Silva. Rio de Janeiro: H Sheldon. 2006. 81 p.

STARK, Scott Hunter. Live Sound Reinforcement. Foreword by Bob Bralove.USA: Mix Books. 1996. 313 p.

VASSALO, Francisco Luiz. Manual de Caixas Acústicas e Alto falantes. Tradução de Joshua de Bragança Soares. 2. ed. São Paulo: Hemus, 1990. 166 p.



Reprodução e distribuição **permitidos**, desde que para fins não comerciais e sem alteração do conteúdo nem do nome do autor.