

# 8

## ÁUDIO PARTE 8 ESTRUTURA DE GANHO

Fabio Montoro  
Revisado em 12-3-2015

### 8.1 Faixa dinâmica

Faixa dinâmica, ou *Dinamic Range* (DR) é a diferença entre o maior valor de pico e o menor valor RMS de sinal que o equipamento (ou canal) consegue operar.

O nível máximo é aquele imediatamente abaixo do limiar da saturação.

O nível mínimo corresponde ao nível de ruído gerado pelo próprio equipamento (ou canal), também chamado de ruído residual.

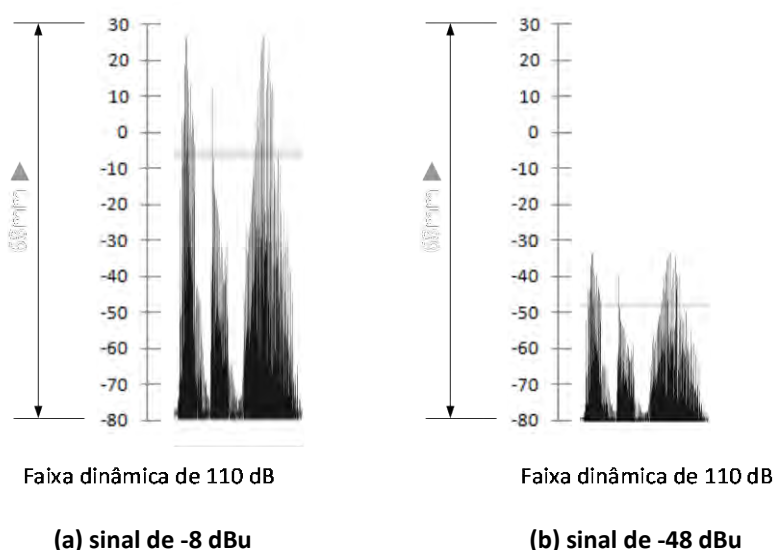


Fig. 5.1: Faixa dinâmica de 110 dB:

A figura 5.1 mostra duas situações em um canal com dinâmica de 110 dB:

- O sinal ocupa toda a faixa possível, possuindo um valor médio de -8 dBu RMS

- b) O sinal não aproveita toda a dinâmica, possuindo -48 dBu RMS

Supondo que o limiar de ruído do canal seja -80 dBu RMS, as respectivas relações sinal-ruído são:

$$a) \quad SNR_a = -8 - (-80) = 72 \text{ dB} \quad [8.1]$$

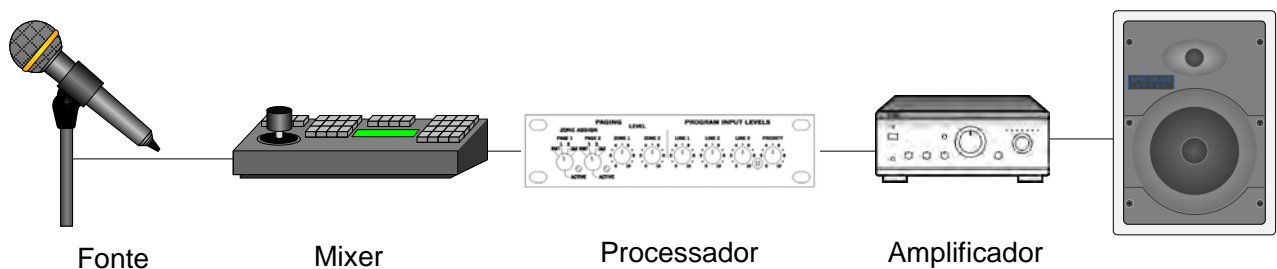
$$c) \quad SNR_b = -48 - (-80) = 32 \text{ dB} \quad [8.2]$$

A primeira situação oferece a melhor relação sinal-ruído possível, pois o sinal ocupa toda a faixa, com seus picos máximos ficando logo abaixo do limiar da saturação.

Pela figura observa-se que o fator de pico da primeira situação é de 38 dBu.

## 8.2 O que é estrutura de ganho

A estrutura de ganho é o conjunto de ajustes de intensidade de sinal, nos equipamentos da cadeia de áudio: mixer ou mesa de som, processador e amplificador. O mixer representa o elemento principal da cadeia, com relação ao ajuste da estrutura de ganho.



**Fig. 5.2: Cadeia de áudio**

O ajuste da estrutura de ganho tem quatro objetivos:

- Posicionar os controles de volume (Faders) na faixa adequada, em torno do Zero (Main Fader e Faders dos canais)
- Permitir boa leitura dos níveis nos indicadores:
  - Medidor RMS (VI) indicar 0 dB
  - Medidor de pico (PPI) indicar + 16 dB
- Reduzir ao máximo o ruído na saída do mixer (otimizar a relação sinal-ruído)
- Evitar distorções devido a saturações (clippings)

O melhor resultado é obtido quando o processo de alinhamento da estrutura ajusta os sinais para o maior nível possível, desde o início da cadeia, sem saturar. Desta forma consegue-se um sistema com a melhor relação sinal-ruído possível.

## 8.3 O microfone

Com relação ao método de transdução, os microfones podem ser classificados como:

- **Carbono**: antigo, barato e ruim (gera muito ruído). Alto nível de saída (-20 a 0 dBV)
- **Piezoelétrico**: barato, antigo, alto nível de saída (-40 a -20 dBV), alta impedância de saída. Aplicações restritas a alguns medidores de nível sonoro
- **Dinâmico**: qualidade média, baixo nível de saída (-60 a -50 dBV). Normalmente baseado em uma bobina móvel.
- **Capacitor**: boa resposta em frequência, baixo ruído interno, robusto, precisa de um circuito ativo de alimentação. Nível de saída médio (-50 a -25 dBV)

Com relação à diretividade, podem ser:

- **Omnidirecional**: mesma captação em todas as direções (distância equivalente  $D_e = 1$ )
- **Bidirecional**: captação em duas direções, normalmente de carbono  $D_e = 1,7$ )
- **Direcional**: cardióide ( $D_e = 1,7$ ), super-cardiíde ( $D_e = 1,9$ ), hiper-cardiíde ( $D_e = 2$ )

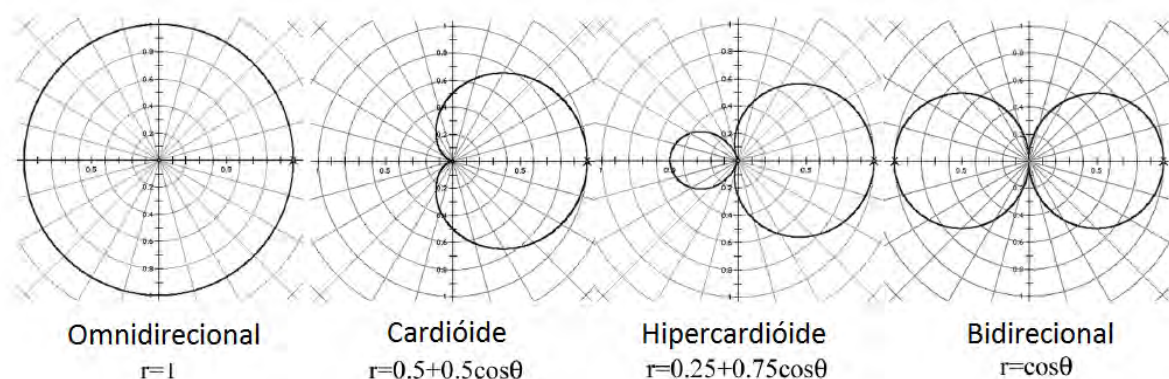


Fig. 5.3: Diagramas polares de sensibilidade de microfones

As principais aplicações para os microfones são:

- Entretenimento
- Avisos

- Gravação
- Medição

Algumas dicas de posicionamento do microfone:

- **Perto** do locutor quando o ambiente é ruidoso. **Longe** quando o ambiente é silencioso e quem fala se move
- Cuidado com superfícies planas perto do microfone, principalmente quando a fonte está afastada. Essa situação gera cancelamentos do sinal em uma determinada frequência ( $f_{notch}$ ), dependendo da posição do microfone em relação à superfície:

$$f_{notch} = \frac{172}{D_r - D_d} \quad [8.3]$$

$D_r$  = caminho percorrido pela onda refletida [m]

$D_d$  = caminho percorrido pela onda direta [m]

- Em palestras importantes, instalar dois microfones no púlpito, posicionados em frente ao palestrante, em ângulo aproximado de 90 graus entre eles. Neste caso os dois microfones podem ficar ligados e os sinais somados na mesa, sem perigo de cancelamento de sinal. A distância do microfone ao palestrante não deve exceder 50 cm.
- Para gravação, utilizar microfone capacitivo o mais próximo possível da boca, com filtro TP (para reduzir o impacto dos sons dos "Ts" e "Ps").
- Em ambiente externo utilizar filtro contra ruído de vento.

## 8.4 O mixer

O mixer (misturador, mesa de som) é o dispositivo (bloco funcional) que recebe as fontes de sinal, faz a primeira amplificação, soma essas fontes e gera o sinal de saída para o próximo bloco funcional, que é o processador.

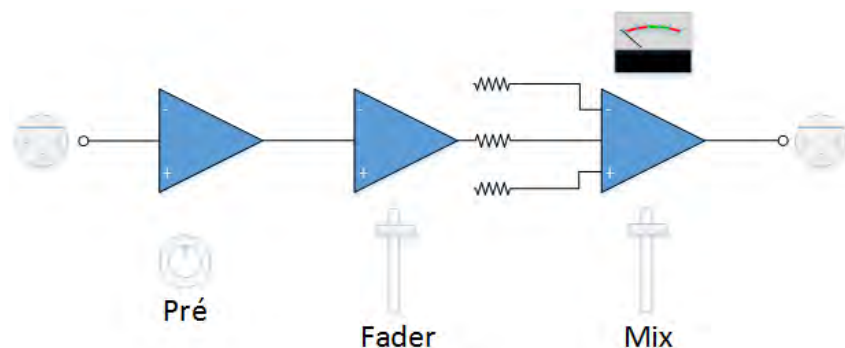


Fig. 5.4: Estágios e respectivos controles de intensidade do mixer

Normalmente o mixer possui três estágios de amplificação, como ilustra a figura 5.4, cada um com seu controle de intensidade (volume): o pré-amplificador de canal (controlado por um botão redondo), o de canal (controlado por um deslizador, ou "fader") e o principal (main ou mix, também controlado por um deslizador).



Fig. 5.5: Mesa de som Soundcraft EFX

O mixer é o primeiro responsável pela determinação da faixa dinâmica do sistema que, inicialmente, fica limitada à faixa que vai do seu ruído residual ao seu nível máximo de saída.

#### 8.4.1 Como determinar o nível máximo de saída do mixer

O nível máximo da faixa dinâmica do mixer é dado pelo maior nível que ele consegue gerar, sem saturar. É importante conhecer esse valor. Pode ser consultado no manual do mixer, mas é sempre conveniente fazer a medida. O procedimento abaixo mostra como.

Prepare a bancada de teste:

##### Instrumentos necessários

- 1 Gerador de sinal senoidal com capacidade de varredura automática
- 1 Osciloscópio
- 1 Medidor de nível RMS
- 1 Terminador XLR de 150  $\Omega$
- 1 Cabo Gerador-XLR
- 1 Cabo XLR-Osciloscópio/Medidor

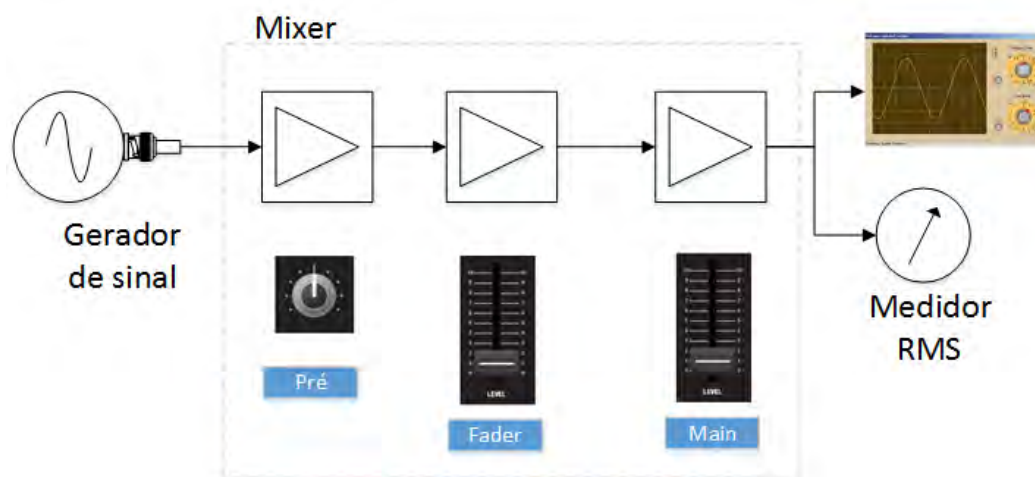


Fig. 5.6: Bancada de teste do mixer

- Anular (zerar) os efeitos dos filtros e equalizadores do mixer

- b. Escolher um canal do mixer
- c. Reduzir o ganho do pré-amplificador ao mínimo
- d. Conectar o gerador de sinal senoidal na entrada desse canal
- e. Conectar o osciloscópio na saída do mixer
- f. Conectar o medidor de nível RMS na saída do mixer
- g. Ajustar o deslizador do canal para -10 dB
- h. Ajustar o deslizador principal para -3 dB
- i. Injeta um sinal de 1000 Hz @ -15 dBu
- j. Aumentar o ganho do pré até o sinal de saída saturar
  - Volte o ganho e deixe-o um pouco antes da saturação
- k. Aumentar o ganho do deslizador, do canal, até o sinal de saída saturar
  - Volte o ganho e deixe-o um pouco antes da saturação
- l. Aumentar o ganho do deslizador principal até o sinal de saída saturar
  - Volte o ganho e deixe-o um pouco antes da saturação
- m. Medir o nível RMS da saída. Este é o nível máximo do mixer
  - Quanto maior, melhor
  - Valor esperado: +20 a 30 dBu (teto da faixa dinâmica)
  - Bom que seja > +26 dBu

A Rane fabricava, mas deixou de comercializar, um gerador de sinal de 400 Hz e 0 dBu e um piezo, ambos com conector XLR, próprios para esse tipo de ajuste.



**Fig. 5.7: Test Set RaneGain**

### 8.4.2 Utilizando o piezo tweeter

Em 1996, Pat Brown criou um método alternativo para determinar a saída máxima de um mixer, utilizando um piezo tweeter.

O piezo tweeter é um transdutor de alta impedância de entrada (cerca de 2 kΩ) que gera um sinal sonoro quando se aplica um sinal senoidal entre 1 e 20kHz em seus terminais.

Se substituirmos o osciloscópio por um piezo na saída do mixer e injetarmos uma senóide de 400 Hz (abaixo da faixa do piezo) o sinal será inaudível até que a senóide sofra saturação, quando serão geradas harmônicas acima de 1kHz a ativarão o piezo.

O procedimento é o mesmo, apenas ao invés de verificar a saturação no osciloscópio, ouve-se o piezo.

- Alternativa com piezo tweeter ( $Z_{in} = 2 \text{ k}\Omega$ , BW = 1 a 20 kHz): injeta um sinal de 400 Hz @ -15 dBu;
- Utilizar um cabo de sangria para o piezo tweeter

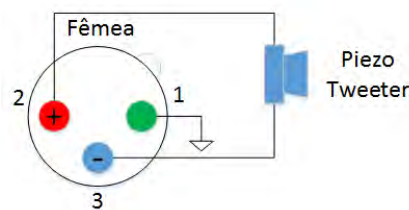


Fig. 5.8: Conexão do Piezo Tweeter

### 8.4.3 Utilizando o ouvido

O procedimento é o mesmo, porém na saída vamos utilizar o próprio amplificador ou uma caixa de som amplificada, porém com acesso fácil ao ganho durante o procedimento.

Executa-se o mesmo procedimento, porém nos passos "h" "i" e "j" ouve-se o som da senoide até perceber quando ele muda para um som de uma onda quadrada.

### 8.4.4 Como determinar o ruído residual do mixer

- Após executar o procedimento anterior, deixar os controles nas respectivas posições
- Conectar um resistor<sup>1</sup> de 150  $\Omega$  na entrada do mixer (entre os pinos 2 e 3 do conector
- Medir o nível do sinal de saída. Este é o ruído residual do mixer para a máxima saída

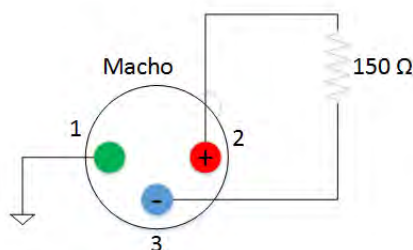


Fig. 5.9: Terminado XLR de 150  $\Omega$

## 8.5 Determinando a dinâmica do mixer

Após executar os dois procedimentos de teste descritos anteriormente, a dinâmica do mixer é dada pela subtração dos dois valores encontrados.

<sup>1</sup> Na verdade, o resistor deve ser igual à impedância de saída do microfone. O valor de 150  $\Omega$  é típico e é o valor utilizado nos testes. O resistor deve ser de qualidade, do tipo filme metálico, pois um resistor também gera cerca de -130 dBu de ruído, conhecido como ruído térmico (a 20 °C).



Exemplo: suponha que as medidas indicaram os seguintes valores: + 26 dBu como nível máximo e - 67 dBu como ruído residual. Então a dinâmica será:

$$Dinâmica = 26 - (-66) = 92 \text{ dB} \quad [8.4]$$

Um mixer de qualidade deve possuir dinâmica acima de 100 dB, sendo excelente se chegar perto de 120 dB.

A mesa da Soundcraft modelo Si3 informa em seu datasheet que a entrada de linha gera ruído < -82 dBu e o nível máximo da saída é de 20 dBu. Portanto, sua dinâmica é de:

$$Dinâmica = 20 - (-82) = 102 \text{ dB}$$



Fig. 5.10: Mesa de som Soundcraft Si3

A mesa da Soundcraft modelo Vi3000 informa em seu datasheet que a entrada de linha gera ruído < -95 dBu e o nível máximo da saída é de 22 dBu. Portanto, sua dinâmica é de:

$$Dinâmica = 22 - (-95) = 117 \text{ dB}$$

## 8.6 Determinando o nível de saída no zero do medidor

Injetando um sinal senoidal de 400 Hz, ajuste o ganho do pré até o medidor do mixer indicar "zero". Então é só medir o nível RMS da saída. Este é o nível de saída nominal do mixer, em geral, + 4 dBu.

## 8.7 Quando a fonte de sinal é um microfone (EIN)

Como o sinal do microfone é baixo, a relação sinal-ruído na entrada será o primeiro determinante da qualidade do sistema. A relação sinal ruído na entrada de microfone do mixer é dada pela relação entre o nível do sinal do microfone e o "ruído equivalente de entrada" ou EIN ("Equivalent Input Noise") do mixer, que é a quantidade de ruído que entra junto com o sinal do microfone.

$$S / R_{Entrada} = S_{Microfone} - EIN$$



[8.5]

O parâmetro EIN é dito "equivalente" porque o resultado é obtido da medida do ruído na saída do mixer, subtraindo o ganho, uma vez que a medida de níveis muito baixos é muito difícil.

Exemplo:

O mixer modelo MLM42S da Rane possui EIN de -126 dBu quando o ganho é de 50 dB, praticamente o mesmo da mesa Soundcraft Si3, que possui EIN de -126,5 dBu.

Se conectarmos um microfone gerando um sinal de -50 dBu, teremos a seguinte relação sinal-ruído:

$$S / R_{Entrada} = -50 - (-126) = 76 \text{ dB} \quad [8.6]$$

Esta equação somente permanece válida para ganhos acima 50 dB.

Alguns equipamentos não informam o EIN e isso não é bom. Na figura ao lado vemos a especificação dos mixers da série Xenyx da Behringer (Xenix 502, ..., Xenyx 1202).

Já, para o mixer de oito canais modelo ZMX-8210 a Behringer informa um EIN de -116 dBuA.

#### MIC

Each mono input channel offers a balanced microphone input via the XLR connector and also features switchable +48 V phantom power supply for condenser microphones. The XENYX preamps provide undistorted and noise-free gain as is typically known only from costly outboard preamps.



1. Sempre consulte os dados técnicos dos equipamentos
2. Nunca acredite cegamente neles

## 8.8 Soma de canais no mixer

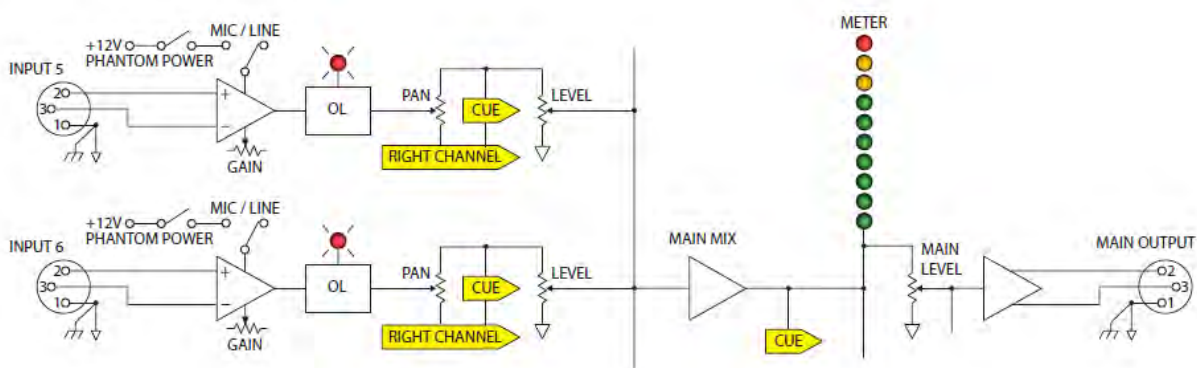


Fig. 5.8: Diagrama esquemático simplificado de um mixer

Ao se dobrar a quantidade de canais com os níveis iguais, o nível do sinal na saída sobe 3 dB.

Se temos dois canais com 0 dBu, a saída será de 3 dBu. Se dobrarmos para 4 canais com 0 dBu, a saída sobe para 6 dBu e assim por diante.

Deve ser deixada uma margem, que pode ser em torno de 10 dB se não houver mais informações sobre as fontes, para acomodar o somatório. Considerando "N" fontes, a elevação do nível do sinal de saída, em função de "N" com a mesma intensidade será:

$$\Delta = 10 \cdot \log(N)$$

N	10 log N
2	3
4	6
8	9

[8.7]

## 8.9 Ajuste do mixer

A posição ideal para os deslizantes é a posição "0" (zero).

A diferença entre a posição do deslizante e o limite superior do mixer (ponto de saturação) é a faixa destinada aos picos do sinal.

Como exemplo, o sinal da figura 5.1.a possui uma faixa de picos = 30 - (-8) = 38 dB.

A tabela a seguir mostra que para um determinado valor médio (RMS), cada tipo de sinal possui um valor de pico diferente. Essa relação entre o valor RMS e o de pico, ou fator de crista, deve ser definido adequadamente na estrutura de ganho.

Valor médio	V <sub>p-p</sub>	dBu	Formato do sinal
0,775 V <sub>rms</sub>	1,10	0	Senoidal
	1,34		Onda triangular
	5,11		Ruído gaussiano
1 V <sub>rms</sub>	1,41	+ 2,2	Senoidal
	1,73		Onda triangular
	6,60		Ruído gaussiano
1,228 V <sub>rms</sub>	1,74	+ 4	Senoidal
	2,13		Onda triangular
	8,10		Ruído gaussiano

### 8.9.1 Determine a saída do mixer com os Faders em zero

a) Reconecte o gerador de sinal com uma senóide em 400 Hz. Teste para o nível de saída dos seguintes dispositivos:

1. Microfone = 1 mV<sub>rms</sub> (-60 dBV)
2. CD player = 300 mV<sub>rms</sub> (-10 dBV)
3. iPod = 500 mV<sub>rms</sub> (-6 dBV)
4. Mixer = 1 V<sub>rms</sub> ( 0 dBV)

$$0,775 V_{rms} = 0 \text{ dBu} = 0 \text{ dBm @ } 600\Omega$$

$$1,000 V_{rms} = +2,2 \text{ dBu} = +2,2 \text{ dBm @ } 600\Omega$$

$$1,228 V_{rms} = +4 \text{ dBu} = +4 \text{ dBm @ } 600\Omega$$

- b) Ajuste os faders do mixer em zero
- c) A saída deve ficar no valor nominal do mixer = + 4 dBu

8.9.2 Se o mixer não conseguir elevar o nível da fonte sem acrescentar ruído, é sinal que a fonte está com o nível muito baixo ou o mixer não é do tipo profissional. Verificar nível da fonte e possibilidade de aumentá-lo. Um mixer profissional deve ter DR acima de 100 dB.

### 8.9.3 Procedimento de ajuste do mixer

- a. Escolha um canal
- b. Posicione todos os deslizantes, e o ganho do pré, em zero
- c. Ajuste o ganho do pré para o nível desejado, considerando a faixa da soma, digamos -10 dBu
- d. Silenciar o canal (mute)
- e. Passar ao próximo canal
- f. Após ajustar o último canal, ative todos os canais (tirar o mute)
- g. Inicie a passagem do som.
- h. Se a estrutura de ganho estiver boa, todos os deslizantes devem estar em 0 dB e o indicador de nível de saída deve estar perto do zero

## 8.10 Ajuste do Processador

O processamento do sinal ocorre no nível de linha, ou seja, em torno de +4 dBu, podendo ser analógico ou digital. O sinal deve sair do processador no mesmo nível, ou seja, +4 dBu.

Como o processador atuará em toda a faixa de frequência do áudio, o sinal de entrada durante o ajuste deve ocupar essa faixa.

- a. Conecte um gerador de ruído rosa na entrada do mixer
- b. Posicione todos os deslizantes e o ganho do pré em zero
- c. Aumente o ganho do pré até obter "0" no medidor de saída do mixer (+ 4 dBu)
- d. Ajuste o ganho do processador para obter +4 dBu na saída
- e. Mude a fonte de sinal para uma senóide
  - Ajuste a frequência do gerador para 400 Hz
  - Aumente o nível do sinal do gerador até o limite superior do mixer (que já deve ter sido estabelecido), digamos, 26 dBu
  - Verifique se a saída do processador satura.

- Se ela saturar antes do limiar do mixer, então teremos uma redução de faixa dinâmica devido à limitação do processador. O ideal é que o processador suporte o mesmo limite superior do mixer.
- Repita este passo para a frequência de 1000 Hz.

### 8.10.1 Como ajustar se a faixa dinâmica do processador é menor?

Neste caso, o sistema não acompanhará a qualidade do mixer. Algumas ações podem ser tomadas, mas todas levam a alguma perda. Como disse Don Davis: "There's no free lunch in audio".

Se for aceitável (talvez inaudíveis) que ocorram eventuais saturações do sinal, pode-se manter a situação dessa forma.

Pode-se também reduzir o nível de saída do mixer para acomodar a faixa de picos do processador, mas neste caso a perda será na relação sinal-ruído.

Outra ação possível é introduzir um circuito atenuador (pad) entre o mixer e o processador, cuja atenuação seja igual à diferença entre os máximos do mixer e do processador. A vantagem desta alternativa é que todos o sistema terá o mesmo ponto de saturação, que pode ser observado no medidor do mixer.

Para ajustar com o atenuador:

1. instale um gerador senoidal na entrada do mixer
2. ajuste a saída para um valor imediatamente inferior ao ponto de saturação
3. a saída do DSP deve estar saturando
4. vá reduzindo a amplitude da saída do gerador até a saturação desaparecer
5. a redução ocorrida (dB) é a diferença a menos da faixa dinâmica do DSP
6. acrescentar um pad igual ou maior que essa diferença

### 8.10.2 Atenção para as entradas de microfone

- a. Para cada entrada de microfone coloque um filtro HP com inflexão em 120 Hz e rampa de 6 ou 12 dB/oitava, para atenuar os ruídos de baixa frequência e as explosões de consoantes como "Tê" e "Pê".
  - Se o ambiente for muito ressonante nas baixas frequências, suba a frequência do filtro para 150 ou até 200 Hz.
- b. Coloque um filtro LP em cada entrada de microfone, ou após a mixagem interna, e ajuste a frequência de corte conforme o ambiente. Sendo um ambiente que reflete muito as altas frequências, ajuste o corte para 7 ou 8 kHz.
- c. Outros ajustes serão necessários e são matéria do próximo capítulo.

## 8.11 Ajuste do Amplificador

### 8.11.1 O amplificador

A única função do amplificador é amplificar a intensidade (tensão elétrica) do sinal de entrada e entregar na saída, ou seja, ele deve transferir o sinal da entrada, amplificado, de forma fiel (sem qualquer distorção) para a carga, que é o sonofletor, segundo uma relação fixa de ganho, independente da carga.

Obviamente, a definição acima é a de um amplificador ideal.

Em outras palavras, a função de transferência do amplificador ideal deve ser linear:

$$\frac{V_o}{V_i} = G \text{ (Ganho constante)}$$

O amplificador, portanto, transfere, tensão elétrica e não potência.

Podemos imaginar o circuito de saída do amplificador como um divisor de tensão, onde a tensão se divide entre a impedância interna do circuito de saída e a da carga:

$$\frac{V_{oi}}{Z_{oi} + Z_o} = \frac{V_o}{Z_o}$$

Então, a tensão na carga será:

$$V_o = V_{oi} \cdot \frac{Z_o}{Z_{oi} + Z_o}$$

Costuma-se falar em resistência de saída e resistência da carga, mas é preciso ter em mente que isto representa um modelo simplificado. Por exemplo, um sonofletor de 8  $\Omega$  possui, verdade uma impedância reativa que varia com a frequência.

A eficiência na transferência da tensão depende da relação entre as impedâncias. Quanto maior a relação  $Z_o/Z_{oi}$ , maior a eficiência.

Conclui-se que a impedância de saída do amplificador deve ser bem pequena, digamos, pelo menos 20 vezes menor que a da carga.

Se a conexão entre o amplificador e a carga exigir um lance longo de cabo, a resistência do cabo se soma à da carga, reduzindo a eficiência total da transferência.

A potência na carga é dada por:

$$P = \frac{V_o^2}{Z_o}$$

O amplificador, pela definição inicial, deve fornecer uma tensão elétrica em sua saída, que seja independente da carga. Então, se a carga variar, o amplificador deve suportar isso, variando sua corrente de saída a fim de manter fixa a relação entre a tensão de entrada e a de saída (ganho do amplificador).

A figura 5.9 mostra que a impedância de um sonofletor de 8 ohms possui um pico em cerca de 50 Hz, cai para quase 12 ohms e depois cresce.

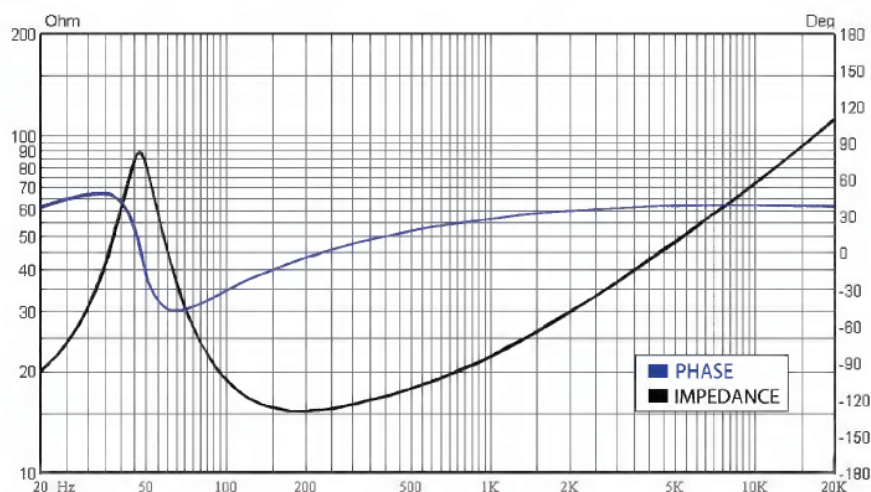


Fig. 5.9: impedância de um sonofletor de 16  $\Omega$

O ponto onde a impedância é mínima, é o ponto mais crítico para o amplificador, pois exige que ele forneça a maior corrente elétrica.

Importante lembrar que, para não haver saturação (clipping) do sinal, a potência assimilada pela carga cai quando o fator de pico (*crest fator*) do sinal sobe (capítulo 2) e que a especificação dos amplificadores comerciais se referem ao teste com uma senóide, ou seja, fator de pico igual a 3 dB, ou seja, um amplificador de 100 W deve conseguir fornecer 100 W, sem distorção com fator de pico igual a 3 dB, mas se o fator de pico subir, ele não conseguirá chegar a 100 W sem distorcer o sinal.

### 8.11.2 Potência IEC do alto-falante

A IEC (International Electrotechnical Commission) publicou a norma IEC-268-5, que estabelece um método de medida para definir a potência suportada por um alto-falante.

O método consiste em submeter o alto-falante a um sinal do tipo ruído rosa, com fator de pico igual a 6 dB, filtrado em 12 dB/oitava abaixo de 40 Hz e acima de 5 kHz, durante 8 horas;

Esse parâmetro do alto-falante é importante na especificação do amplificador.

### 8.11.3 Potência do amplificador

A JBL define três situações para escolher a potência do amplificador, a fim de resguardar os alto-falantes<sup>2</sup>:

- Em aplicações onde há um monitoramento constante e a estrutura de ganho prevê uma grande faixa de picos, pode-se utilizar amplificadores com até o dobro da potência IEC do alto-falante.

<sup>2</sup> JBL Speaker Power Requirements, revision 7-90

- Em aplicações de rotina onde também não se admite saturação mas não há monitoramento, deve-se usar amplificador de, no máximo, a potência IEC do alto-falante.
- Em aplicações onde admite-se saturação, como uma apresentação de rock, deve-se usar amplificador de, no máximo, a metade da potência IEC do alto-falante.

É importante preservar o alto-falante para garantir uma reprodução linear da intensidade do sinal em toda a sua dinâmica.

Quando a bobina do alto-falante aquece, sua resistência aumenta, reduzindo a corrente que nela circula, levando a uma relação não linear do sistema (compressão da potência). Em outras palavras, conforme o nível do sinal vai subindo, o alto-falante vai produzindo menos pressão sonora do que deveria.

Acontece que nem sempre os fabricantes de alto-falante colocam essa informação nos folhetos técnicos. Alguns informam a "potência musical" máxima, mas esse número não faz o menor sentido pois "potência musical" não é um parâmetro previsto em norma. Pode-se entender esse parâmetro como sendo a potência de pico suportada pelo alto-falante, mas isso também não acrescenta muito, já que o projeto vai definir a faixa de picos e o sistema vai trabalhar no valor médio (RMS).

Pode-se determinar em laboratório qual a máxima voltagem do alto-falante, executando um teste onde se injeta um sinal com nível cada vez maior, até a pressão sonora responder, em algum ponto da resposta em frequência, digamos, com 3 dB abaixo. Este seria o ponto máximo.

Quando se fala que um amplificador é de 100 W, por exemplo, estamos falando de sua potência RMS máxima, a maior potência RMS que ele pode fornecer.

A potência máxima de saída do amplificador, em dBW, é dada por:

$$P_0[dBW] = L_d + 20 \cdot \log(D_2) - L_s + H \quad [8.8]$$

$P_0$  = Potência de saída do amplificador

$L_d$  = Pressão sonora na posição do ouvinte

$D_2$  = Distância do ouvinte até o alto-falante

$L_s$  = sensibilidade do alto-falante

$H$  = faixa de pico definida para a aplicação

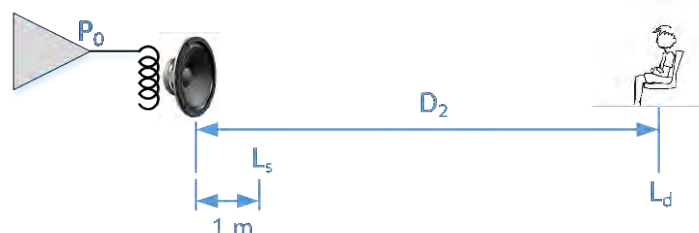


Fig. 5.9: Esquema e distâncias



A potência em watts é dada por:

$$P_0[W] = 10^{\frac{P_0[dBW]}{10}} \quad [8.9]$$

Exemplo:

Em uma apresentação musical, que potência deve ter um amplificador para que um ouvinte a 10 metros de distância do alto-falante (com sensibilidade de 85 dB SPL) perceba uma pressão de 90 dB SPL?

Solução:

Como a faixa de pico não foi especificada, vamos estabelecer 10 dB, que é o normal neste cenário:

$$P_0[dBW] = 90 + 20 \cdot \log(10) - 85 + 10 \quad [8.10]$$

$$P_0[dBW] = 35$$

$$P_0[W] = 10^{\frac{35}{10}} = 3162 \text{ Watts}$$

O controle de sensibilidade do amplificador, também chamado de "volume", regula o ganho do amplificador e não a potência de saída. A diferença é sutil, mas deve ser entendida. Se o amplificador é de 100 W ele sempre poderá fornecer 100 W, teoricamente independentemente da posição do controle de ganho, supondo, obviamente que o controle de ganho não esteja ajustado para "zero". A tensão de saída depende do ganho ( $A$ ) e também do nível do sinal de entrada ( $V_{in}$ ), conforme equação 8.11:

$$V_0[V] = A \cdot V_{in} \text{ volts} \quad [8.11]$$

Mesmo com um ganho baixo, mas com sinal de entrada alto, a saída pode atingir seu máximo.

#### 8.11.4 Teste do amplificador

Assim como o processador, o amplificador deve suportar o nível máximo do sinal em sua entrada, a fim de que seu pré não sature o sinal internamente.

A programação deve entrar no amplificador com +4 dBu (1,23 V) e devem ocorrer picos conforme a faixa de pico definida para o sistema.

Então, o caso ideal é que os três equipamentos (mixer, processador e amplificador) saturem exatamente no mesmo ponto, digamos + 20 dBu.

O nível de saída do amplificador será ajustado em seu botão de sensibilidade. Antes de iniciar testes ou ajustes do amplificador, deve-se tomar as seguintes precauções:

- Os sonofletores são apropriados e estão conectados corretamente?
- O processador de sinal está configurado adequadamente?
- Manter a pressão SPL em níveis adequados durante o ajuste

O ajuste da sensibilidade do amplificador ocorre em seu estágio de pré-amplificação. O ganho do estágio de potência é fixo. A sensibilidade determina a tensão de saída do pré-amplificador e, portanto, a pressão SPL.

- a. É pré-requisito que a estrutura de ganho esteja correta até o processador
- b. Injete ruído rosa na entrada do mixer e conectar um multímetro RMS na saída do amplificador
- c. Aumente a sensibilidade até atingir a meta de SPL
  - Se o amplificador saturar antes da meta, provavelmente será necessário trocar o amplificador por um que suporte uma faixa maior (maior potência)
  - Medir a tensão de saída do amplificador. Ela não pode ultrapassar o limite máximo especificado pelo sonofletor
  - Se o alto-falante possuir entradas separadas por faixa de frequência, o ajuste deve começar pela faixa de frequências médias, em seguida as baixas e finalmente as altas.
- d. Aumente lentamente a sensibilidade do amplificador até o sinal na saída dele saturar. Esta é a máxima potência que o amplificador pode fornecer.

#### 8.11.5 Procedimento de ajuste amplificador

- a. Certifique-se de que os alto-falantes conectados vão suportar o amplificador em plena carga (máxima potência)
- b. Prepare-se para fazer bastante barulho (qual é a potência do amplificador?)
- c. Atenção: o teste não deve demorar na situação do amplificador fornecendo sua máxima intensidade com padrões de teste, pois alguns equipamentos não suportam e podem ser danificados.
- d. Desligue o amplificador e reduza seu controle de sensibilidade a zero (volume).
- e. Conecte um gerador de teste na entrada do mixer. Conecte o mixer na entrada do amplificador. Pode haver um processador no meio, mas garanta que ele vai passar toda a dinâmica do sinal sem saturar.
- f. Use uma senóide, a 800 Hz, por exemplo.
- g. Reduza o ganho do mixer a zero para garantir que a carga será aplicada com segurança

- h. Ligue o amplificador.
- i. Aumente o ganho do mixer até a posição que vai gerar a máxima potência. Certifique-se de que não há saturação na saída do mixer.
  - Usando senóide, posicione o valor RMS da saída para o valor máximo (pico) estipulado pela estrutura de ganho menos 3 dB.
  - Usando outro sinal, posicione o valor RMS da saída para o valor máximo (pico) estipulado pela estrutura de ganho menos o fator de crista do sinal de teste.
- j. Se você garantir que o equipamento que fornecerá sinal para o amplificador durante o evento, não ultrapassará o ajuste de máxima potência (letra "h"), então é certo que o amplificador não vai saturar.
- k. Verifique se a pressão sonora na audiência está conforme planejado. Se estiver abaixo é sinal de que você precisa de um amplificador maior.
- l. Verifique se todos os alto-falantes estão operando normalmente, sem distorção

## 8.12 O limite do alto-falante

O alto-falante recebe sinal do amplificador e, portanto, é uma carga que dissipa energia, a maioria como calor e alguma (menos de 10%) como vibração sonora.

A potência nominal do alto-falante informada na especificação técnica é, na verdade, o limite no qual ele suporta dissipar calor. Se passar desse limite, o alto-falante sofre dano permanente.

Como o amplificador de potência é uma fonte de tensão, teoricamente a tensão elétrica em sua saída independe da carga (isso tem limite, claro, normalmente informado pelo fabricante como a faixa de impedância nominal que ele suporta).

Portanto, quanto menor a carga, maior a corrente e maior a transferência de potência.

Se um alto-falante é de alta potência isso significa primeiramente que ele tem boa capacidade de dissipar o calor (ou de se auto resfriar), mas não garante que a eficiência de transformação de energia elétrica em sonora também seja alta.

Conforme o alto-falante vai operando, ao longo do tempo a temperatura vai subindo e sua resistência DC vai aumentando. Com isso, a potência total vai sendo comprimida, ou seja, um aumento na tensão elétrica do amplificador não corresponderá a um acréscimo linear da potência SPL. O alto-falante deve operar longe desse limite. É uma boa prática operar o alto-falante no máximo com a metade da potência especificada em seus dados técnicos, o que corresponde a uma redução de 3 dB.

## 8.13 Norma AES-2: Teste de alto-falante

Esta norma define quais características devem constar na especificação técnica do fabricante de alto-falante profissional e descreve alguns métodos de medida.

A norma, em sua última revisão (2012) define a potência nominal do alto-falante como aquela em que o dispositivo opera por 2 horas recebendo ruído rosa, sem "mudança significativa" em suas características acústicas, mecânicas ou elétricas:

*The rated power of the device shall be that power the device can withstand for 2 h without significant permanent change in acoustical, mechanical, or electrical characteristics*

Como se vê, a norma não define o que seria "significante". Interessante é que a versão anterior (2003) dizia que era 10%. O teste prevê aumentos sucessivos da potência fornecida ao alto-falante, após ele alcançar o equilíbrio térmico (2 horas aproximadamente).

A figura 5.10 ilustra o comportamento típico de um alto-falante quando submetido ao teste de stress para determinar sua potência nominal. A potência elétrica aplicada vai subindo e a pressão acompanha linearmente. A partir de certo ponto a pressão sonora não acompanha mais o aumento da potência elétrica. Esse ponto corresponde à pressão nominal.

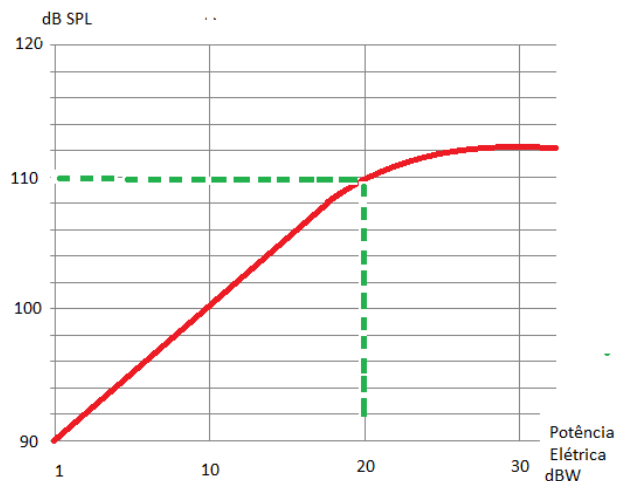


Fig. 5.10: Potência nominal de alto-falante

## 8.14 Ajuste da cadeia completa

O ideal é que todos os elementos da cadeia de áudio (mixer, DSP e estágio de entrada do amplificador) possuam a mesma faixa dinâmica (DR) para que o sinal passasse sem problemas de saturação, considerando que o mesmo valor nominal de linha foi ajustado em cada equipamento.

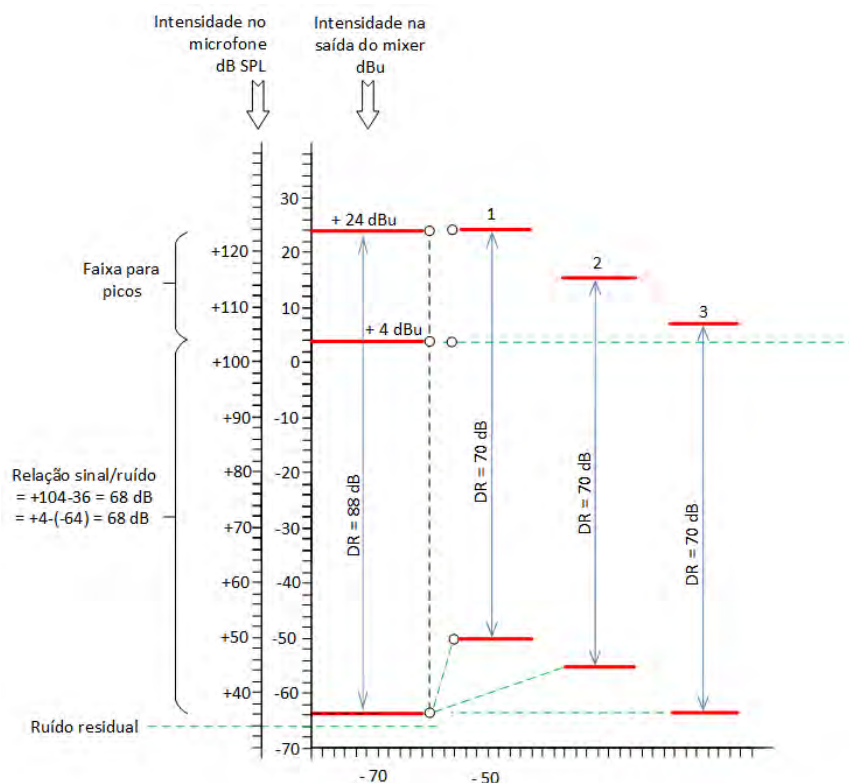


Fig. 5.11: Exemplos de conexão com equipamento que tem faixa dinâmica menor

A figura 5.11 apresenta, como exemplo, uma cadeia de áudio, com três equipamentos: um microfone, um mixer e um equipamento (que pode ser um processador), onde o mixer que tem DR = 88 dB está conectado ao equipamento que tem faixa dinâmica menor, DR = 70 dB. A figura apresenta três alternativas de alinhamento das escalas dinâmicas. A figura mostra duas réguas verticais:

- A primeira régua, à esquerda, visa mostrar o ambiente sonoro, antes do microfone, ou seja, a cenário de captação sonora do microfone, que é o início da cadeia. O microfone possui uma DR de 88 dB: suporta uma pressão máxima de 124 dB SPL e possui ruído residual de 36 dB SPL. O sinal sonoro médio é de 64 dB SPL (alguém falando ou cantando junto ao mic). Hipoteticamente, vamos supor que o local possui ruído ambiental de 36 dB SPL, igual ao limiar do microfone. Temos, portanto, no ambiente sonoro uma DR de 88 dB.
- A segunda régua, à direita, visa mostrar a saída do console mixer onde o microfone está acoplado. O mixer possui a mesma DR de 88 dB, um ruído residual abaixo de -64 dBu e uma saída ajustada para

+4 dBu RMS. A DR do mixer está perfeitamente alinhada com a do microfone, ou seja, as faixas destinadas aos picos são iguais e estão alinhadas, supondo que o ganho do pré tenha sido ajustado para isso ter ocorrido.

Em seguida a figura mostra três alternativas de alinhamento com um equipamento que possui DR de apenas 70 dB.

Qualquer que seja a escolha de alinhamento da escala dinâmica do terceiro equipamento, haverá uma perda de 18 dB na faixa dinâmica (88-70).

A primeira possibilidade é alinhar a escala com o pico da mesa, ou seja, em +24 dBu, se o equipamento suportar esse nível. Neste caso, a perda de dinâmica ficará toda em baixo, contaminando de ruído as passagens mais silenciosas do programa.

A segunda possibilidade é posicionar a escala de forma a perder um pouco em cima e um pouco em baixo. Neste caso, a faixa destinada aos picos (Crest Factor - CF) se reduz, podendo gerar saturação do sinal, portanto, distorções. No caso deste exemplo o CF foi reduzido de 20 dB para 12 dB. Ao mesmo tempo, há também uma perda na parte de baixo.

A terceira possibilidade é alinhar a escala com a parte de baixo. Neste caso não haverá perda de qualidade para as passagens mais quietas, porém haverá uma perda significativa do fator de pico, que cairá para 2 dB.

- Redução do CF pode provocar saturação do sinal
- Elevação do limite inferior da faixa pode enterrar os sinais mais baixos do programa
- A DR da cadeia ficará limitada à DR do pior equipamento, ou seja, à menor DR da cadeia.

Uma alternativa para evitar essa perda de qualidade é processar o sinal, aplicando controles dinâmicos, mais especificamente a compressão.

- O - O - O -