



Marcelo Mello



GUIA PRÁTICO DE

SONORIZAÇÃO



DE PALCO



PARA MÚSICOS



1992 - Revisão 2004



MARCELO MELLO WEB
MÚSICA
marcelomelloweb.net

PREFÁCIO

MELLO, Marcelo (1992). *Guia prático de Sonorização de Palco (para músicos)*. Documento online: <https://marcelomelloweb.net/mmsonorizacao.htm>.

Sonorização de palco (em inglês *sound reinforcement*) é o nome que se dá à amplificação, por aparelhos eletrônicos, dos sons que ocorrem em um palco. Nos dias de hoje ela torna-se cada vez mais imprescindível para qualquer evento musical, de qualquer gênero. Ocorre que, apesar dessa importância, a maioria dos músicos desconhece os princípios do uso desses aparelhos, às vezes completamente. Existem poucos textos em português sobre o assunto, e o contato com profissionais verdadeiros da área é difícil. Assim, ou o músico "se vira" de qualquer jeito com a aparelhagem que consegue, ou tem de se submeter aos falsos profissionais da área, que possuem equipamento em quantidade e ocasionalmente de qualidade, mas sabem lidar ainda menos com ele. Levando-se em conta que a qualidade da apresentação musical deve muito à qualidade da sonorização do palco, pode-se perceber os riscos a que o músico está sujeito.

Sendo assim, eis aqui um **Guia Prático de Sonorização de Palco** voltado para músicos, que tem o objetivo de fornecer todas as informações disponíveis sobre o assunto e melhorar a "relação" dos leitores com o equipamento de palco. Ele foi planejado em linguagem clara e simples, levando em conta um conhecimento ao nível escolar do ensino médio, e fornecendo todas as informações técnicas que não corresponderem a este nível. O **Guia** traz ainda uma abundante quantidade de ilustrações e diagramas, que, por "problemas editoriais" (!!!!!!!), se encontram no final de cada capítulo.

O **Guia** está organizado em verbetes numerados, de acordo com o assunto tratado. O verbete **1.1** é uma ramificação do assunto do verbete **1**, e assim por diante. Além disso, no decorrer do texto, os termos mais difíceis têm verbetes de referência indicados, para consulta. Assim o **Guia** pode ser lido tanto como um texto integral como em consultas ocasionais. Observe-se que as referências que aparecem num verbete não aparecem em suas ramificações. Se o verbete **1.3** foi citado no verbete **1**, por exemplo, ele não o será no verbete **1.1**. Portanto, caso algum termo não tenha seu verbete indicado, ele certamente foi indicado alguns parágrafos antes.

No final do **Guia** encontram-se ainda dois **Apêndices** com informações básicas sobre som e eletrônica, dando condições mínimas para que os que não conhecem essas áreas a fundo possam ler o texto sem problemas. Sugere-se, inclusive, começar a leitura pelos **Apêndices**, passando daí para o texto principal. O último capítulo, que trata da sonorização como um todo, integra as informações de todos os outros capítulos juntos, e por isso recomenda-se lê-lo apenas depois do resto do texto estar plenamente compreendido. Quanto à organização, o texto segue o próprio caminho do som dentro da aparelhagem, como se pode notar pelo índice.

Este documento está licenciado com uma Licença **Creative Commons**
Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 4.0 Internacional



SOBRE O AUTOR

Marcelo Mello é natural de São Paulo. Formou-se em Composição Musical pela Universidade de Campinas - UNICAMP, onde teve aulas com JOSÉ EDUARDO GRAMANI, JOSÉ AUGUSTO MANNIS, NIZA TANK, ALMEIDA PRADO, LÍVIO TRAGTENBERG entre outros. Em sua tese de mestrado em Neurolinguística, defendida em 2003 no Departamento de Linguística da UNICAMP (orientação da Prof.^a EDWIGES MORATO), realizou uma pesquisa sobre cognição musical e suas relações com a linguagem. Entre outras atuações, teve composições para violão erudito gravadas por GILSON ANTUNES (São Paulo) e pelo TRIO DE VIOLÕES DE SÃO PAULO, além de significativa experiência como professor, instrumentista e arranjador de grupos e gravações. Foi professor regular de várias disciplinas do curso de Música da UNIVERSIDADE DO SAGRADO CORAÇÃO (USC), em Bauru, e também professor e Coordenador do curso de TÉCNICO EM REGÊNCIA na Etec de Ourinhos (SP). marcelomelloweb.net@gmail.com



Foto: Alexandra Ayello

ÍNDICE

1 - MICROFONES 04 Parâmetros / Tipos de funcionamento / Tipos de direcionalidade / Microfonação / Voz / Bateria / Piano / Violão / Guitarra / Demais instrumentos / Equalização	
2 - EQUALIZADORES 26 Tipos de filtros / Termos / Eletrônica de filtros / Equalizadores	
3 - EFEITOS 36 Eco e reverberação / Tipos de processadores de eco / Compressores e limitadores	
4 - AMPLIFICADORES 43 Classificações / Pré-amplificadores / Amplificadores de potência / Mesas de som	
5 - ALTO-FALANTES 52 Funcionamento / Parâmetros / Caixas / Cornetas / Uso prático	
6 - SONORIZAÇÃO 70 Cabos / Impedâncias / Aterramento / Conexões / Distorções / Equalização / Amplificadores e alto-falantes / Monitores / Sistema / <i>Está alto o suficiente? / Todo mundo pode ouvir? / Todo mundo pode entender? / Vai dar microfonia?</i>	
Apêndice I - ELETRICIDADE 92	
Apêndice II - SOM 98	
BIBLIOGRAFIA 105	

1• - MICROFONES

1. Transdutores são dispositivos especializados em transformar energia elétrica em energia sonora, ou vice-versa. O microfone pode ser definido como um transdutor especializado no vice-versa, ou seja, em transformar energia acústica (som) em eletricidade. Esta seção trata sobre os microfones, dos vários tipos de funcionamento, das várias formas de classificação, das características mais importantes quando o assunto é sonorização e das melhores formas de usá-los.

◆ **1.1** Antes de estudarmos o funcionamento de cada tipo de microfone, é necessária uma explicação sobre os parâmetros principais para se saber a qualidade do microfone:

- **1.1.1** Resposta de frequência — mostra os limites graves e agudos que cada microfone capta, assim como as intensidades com que ele capta cada frequência (frequência — ver II.2). Ela pode vir especificada de duas formas básicas: uma, apenas com os valores captáveis mais graves e mais agudos. Algo do tipo “100 Hz — 3000 Hz”. Essa forma é pouco útil, porque não mostra como o microfone funciona entre esses dois limites. Geralmente os piores microfones têm essa especificação de resposta de frequência. Quanto aos melhores limites, uma resposta que vá de 80 Hz a 15000 Hz é excelente para a maioria dos instrumentos musicais. Os instrumentos mais graves precisam de uma resposta que vá de mais ou menos 40 Hz a 9000 Hz.

- **1.1.1.1** O outro tipo de indicação é um gráfico que mostra a resposta de frequência de Hz a Hz (fig. mi01). Algo como um espectro de frequências captado pelo microfone (ver II.4). Esse gráfico é muito útil, especialmente na equalização, quando os defeitos da resposta de frequência do microfone serão consertadas (ver 1.11). Quanto à qualidade é claro que quanto mais linear, mais “reto” for o gráfico da resposta, melhor. Deve-se levar sempre em conta que a captação do microfone influirá no som total. Assim, distorções (ver 6.1.5) nessa captação também vão mudar o som que sai pelos alto-falantes, geralmente para pior.

- **1.1.2** Há dois parâmetros ligados a intensidade. O primeiro é a sensibilidade. Ela mede o quanto de energia sonora será transformada em energia elétrica. Numa sensibilidade alta, portanto, um som de intensidade média será transformado num sinal de intensidade alta (sinal — ver I.4). A sensibilidade é um fator importante, especialmente na relação sinal-ruído, isto é, no quanto de ruído vai ser captado pelo microfone. Uma maior sensibilidade significa um sinal mais forte, e conseqüentemente, menos ruído. Mas deve-se tomar cuidado com a combinação de sensibilidade muito alta e instrumentos muito “barulhentos”, de intensidade também alta (como por exemplo uma bateria). O sinal gerado quando se juntam esses dois elementos pode se tornar tão alto que sobrecarregará o resto do sistema de som.

- **1.1.2.1** O segundo parâmetro de intensidade é chamado em inglês de sound pressure level (sigla SLP). Ele mede o nível máximo de intensidade que um microfone pode suportar. Um SLP de 120 dB é bom; um de 135 dB é muito bom; um acima de 150 dB é excelente (dB — ver II.3).

- **1.1.3** Impedância — é a resistência elétrica dada pelo microfone (sobre resistência — ver I.7, I.9). Os microfones dinâmicos (ver 1.2.4) têm em geral uma impedância entre 200Ω e 600Ω, feitos

geralmente para trabalhar em entradas de $2K\Omega$. Microfones de $50K\Omega$ são feitos para entradas de $1M\Omega$ a $10M\Omega$, impedâncias encontradas em estúdios de gravação ($1M = 1 \text{ mega} = 1000K$). A questão do tratamento adequado de impedâncias é vista com mais detalhes em 6.1.2.

◆ **1.2 TIPOS DE FUNCIONAMENTO** — Agora que estamos familiarizados com o desempenho básico dos microfones (estamos, não estamos?), continuemos explicando seu funcionamento. Todos os microfones funcionam mais ou menos do mesmo modo: o som faz vibrar uma membrana muito fina e sensível (o diafragma) que está ligada de alguma forma com um circuito elétrico (ver 1.6). As vibrações do diafragma mudam a corrente (ver 1.3) passando pelo circuito, transformando o som em um sinal elétrico (ver 1.4).

● **1.2.1** São as formas de ligação entre o diafragma e a parte elétrica que criam as diferenças de funcionamento entre os microfones. O tipo mais antigo, mais barato e de menor qualidade é o microfone a carvão (fig. mi02). O diafragma está ligado a uma câmara cheia de grãos de carvão, por onde passa uma corrente elétrica. A vibração do diafragma é passada para os grãos de carvão, que também vibram; a variação de contato entre os grãos (criada pela vibração) provoca mudança na resistência elétrica, criando um sinal. Este microfone é usado hoje, quase que exclusivamente, só em telefones. Não tem aplicação em sistemas de som, por apresentar muitas desvantagens:

- um chiado persistente provocado pelos grãos, que são muito sensíveis e por isso vibram sem parar;
- uma resposta de frequência limitada (ver 1.1.1). O microfone a carvão capta de aproximadamente 150 a 1000 Hz, espaço suficiente para o reconhecimento de uma voz ao telefone, mas que deixa a desejar musicalmente;
- um nível de distorção alto. Para saber mais sobre distorção, ver 6.1.5.

● **1.2.2** Outro tipo de microfone advém da propriedade de certos materiais de produzir eletricidade quando submetidos a pressão. Isto é, soltam uma descarga elétrica quando pressionados ou batidos em algum lugar. Estes materiais são chamados de piezelétricos, e o microfone que os usa também tem o nome então de microfone piezoelétrico (às vezes também é chamado de microfone de cristal ou de cerâmica (fig. mi03)). O diafragma deste microfone está ligado a um material piezelétrico. Vibrando, o diafragma faz o material vibrar também, e com a vibração, ele cria corrente elétrica, gerando um sinal. Este tipo de microfone avança bastante em relação ao de carvão: tem uma resposta de frequência (ver 1.1.1) que vai de 80 Hz a um limite agudo variável de modelo para modelo, indo de 6500 a 10000 Hz. Mas ele tem uma impedância muito grande (ver 1.9), da ordem de $100K\Omega$. Com essa impedância tão alta, a corrente que passa por ele é muito baixa, criando um sinal diminuto. E, se fosse usado um cabo para ligá-lo ao resto do sistema de som, a associação com este cabo aumentaria tanto esta impedância que o microfone seria inutilizável. Assim, ele é impróprio para palco, mas serve muito bem em casos onde fica próximo ou embutido no resto do circuito (onde um cabo não é necessário), como na maioria dos gravadores portáteis.

● **1.2.3** No microfone de capacitor (ou de condensador) o diafragma está carregado eletricamente, e fica paralelo a uma outra placa, também carregada, que está ligada ao circuito (fig. mi04). Entre eles cria-se um campo magnético (relação magnetismo-eletricidade: ver 1.5). O som faz vibrar o diafragma, e a vibração do diafragma provoca uma mudança nesse campo magnético, o que leva a uma mudança correspondente da corrente que passa na placa. Este tipo de microfone tem um alto

índice de qualidade, tanto em termos de frequência quanto em intensidade. É o microfone de estúdio de gravação por excelência.

Mas, em primeiro lugar, ele tem um problema parecido com o do microfone piezelétrico: ele precisa de um circuito pré-amplificador (ver [4.2](#)) em seu próprio corpo, por ter um sinal tão baixo que não conseguiria passar por um cabo. Isto torna o sistema muito frágil, sem falar da fragilidade do microfone em si, com um diafragma extremamente fino e num equilíbrio delicado com a placa paralela. Sua alta sensibilidade (ver [1.1.2](#)) faz com que ele também capte com mais intensidade todos os sons do palco, inclusive os indesejáveis (como o ruído da platéia), que geralmente são significativos num palco. Seu diagrama polar (ver [1.3](#)) também não é muito apropriado. Finalmente, a carga elétrica do diafragma é criada pelo circuito em que está ligada, e em certos modelos tem uma voltagem considerável (40 a 50V)(a alimentação desta carga é chamada de Phantom Power). Ou seja, a chance de levar um choque cantando num microfone de capacitor é alta. Por isso tudo ele em geral não é usado em palco.

Há uma variação deste microfone, o microfone de eletreto, cujo diafragma tem uma carga elétrica permanente, sem precisar de alimentação, diminuindo por isso a ameaça de choque. O microfone de eletreto pode às vezes, por causa disso, ser usado em condições críticas de microfonação, quando se precisa de um microfone de alta qualidade. Ele não dá espaço para performance, é bom que fique claro. Não dá para pegar um microfone de eletreto e sair dançando com ele na mão.

● **1.2.4** O tipo de microfone mais usado para sonorização de palco é sem dúvida o microfone dinâmico. Nele o diafragma está ligado a uma pequena bobina (ver [1.8](#)) que fica próxima a um ímã permanente. A passagem de corrente magnetiza a bobina. As vibrações do diafragma fazem a bobina vibrar também, mudando o campo magnético entre ela e o ímã. Resultado: sinal elétrico ([fig. mi05](#)) (Relação magnetismo-eletricidade — ver [1.5](#)). Ele apresenta várias vantagens em relação aos demais, para uso em palco: além de ter geralmente ótimas respostas de frequência e de intensidade, ele tem uma impedância baixa (permite o uso de cabos longos)(impedância — ver [1.9](#)) e é mais robusto, mais resistente a choques mecânicos como quedas, chutes ou coisas do gênero. Seu tamanho maior também o permite aguentar grandes SLPs (ver [1.1.2](#)), que são comuns em música popular.

As principais desvantagens em relação ao microfone dinâmico também vêm desta massa exagerada que lhe é própria. Em primeiro lugar, a frequência de ressonância do microfone (ver [11.7](#)) passa a ser audível, entre 300 e 350 Hz. Assim, nestas frequências um microfone dinâmico iria normalmente ter uma resposta muito alta; tudo que estivesse nesta faixa seria ouvido mais alto. Isto é, muita distorção (ver [6.1.5](#)). Este problema já está bastante controlado hoje, com o desenvolvimento de abafadores no diafragma que só atuam nesta região da frequência. Mas há um outro problema mais grave. A inércia que vem de sua massa faz com que o microfone dinâmico seja muito mais sensível a ruídos mecânicos de seu corpo. Isto é, ele é muito mais "barulhento". Ruídos da mão pegando no microfone ou de algum gesto mais brusco feito com ele serão muito audíveis. Os modelos feitos para performance vocal são projetados tendo em vista este problema. Eles possuem um sem-número de abafadores e isolantes acústicos; por isso costumam ser tão pesados. Todo esse material em excesso influi no desempenho do microfone. A resposta de frequência e de dinâmica é bastante diminuída. Para os níveis de frequência e dinâmica da voz, não há muita mudança, mas o microfone não

funciona bem em outras situações. Conclusão: nunca use um microfone de voz em outra coisa que não seja voz. Ele simplesmente não foi feito para isso (para maiores detalhes ver [1.4.4](#)).

- **1.2.4.1** Por problemas acústicos (comuns também aos alto-falantes), um microfone dinâmico não funciona tão bem em toda a extensão de sua resposta de frequência. Isso geralmente é um problema de pequena importância, facilmente compensado em qualquer modelo passável. Mas o seu desempenho é muito melhorado quando se usam dois diafragmas, um próprio para frequências graves e outro para agudas, que funcionam simultaneamente. Às vezes existem até mais de dois, mas tais microfones não têm aplicação no palco. Os microfones de sistema duplo têm duas aberturas no seu corpo, uma para os graves, mais longe da fonte sonora (voz), e outra para os agudos. Além de melhorar a resposta de frequência, pela simples divisão, ele também permite uma melhor captação dos agudos, mais próxima da fonte, sem serem encobertos pelos graves, que têm um volume naturalmente maior. Finalmente, a dissociação permite, nos microfones unidirecionais (ver [1.3.3](#)), um controle de ângulo melhorado, além de uma grande relação sinal/ruído (a diferença entre o som captado e o ruído provocado pelo microfone) e com isso uma melhora no controle de microfonia (ver [6.2.4.1](#)).

◆ **1.3 TIPOS DE DIRECIONALIDADE** — A direcionalidade é um parâmetro que mede a captação do microfone de acordo com a direção de onde vem o som. Ela é representada na maioria das vezes por gráficos chamados de diagramas polares ([fig. mi06](#)). Eles mostram a área na qual cada tipo de microfone atua em torno de si. Além dele a [fig. mi06](#) dá indicações dos ângulos que podem ser considerados limites, quer em termos de captação, quer em termos de controle de microfonia (ver [6.2.4.1](#)).

- **1.3.1** O tipo mais simples é o microfone omnidirecional, isto é, que capta som vindo de todas as direções, da frente de trás e dos lados. Ele é chamado de microfone de pressão, por considerar apenas a força com que cada som chega ao diafragma. Estes microfones costumam ser mais sensíveis a ruídos mecânicos que os unidirecionais. Deve-se lembrar que os sons agudos são mais direcionais que os sons graves. Por isso, a probabilidade de um som agudo se desviar antes de chegar ao diafragma do microfone é grande. Conclusão: estes microfones tem a tendência de captar um som mais grave que o original.
- **1.3.2** O tipo bidirecional é típico dos microfones de capacitor. Isso porque ele capta sons da frente e de trás, e não dos lados. O microfone de capacitor capta sons dos dois lados do diafragma. Os sons que chegam de lado atingem a frente e atrás do microfone com diferenças de fase (ver [II.6](#)) e se anulam. É por isso que este tipo de microfone também é chamado de microfone de velocidade; por considerar diferenças de velocidade (fase) com que o som chega ao diafragma.
- **1.3.3** O microfone unidirecional capta apenas os sons que estão à sua frente. Isto significa que, numa situação de palco, ele separa lugares onde predomina o som a ser captado (o cantor) de lugares onde predomina ruído (a platéia). Isso aumenta a relação sinal/ruído (diferença entre som desejado e ruído indesejável) e aumenta o ganho antes de microfonia, por desconsiderar uma fonte importante de som que vem detrás de si, ou seja, dos alto-falantes do retorno (ver [6.2.4.1](#)). Outra característica interessante advém da forma como se consegue um microfone unidirecional. Ele geralmente é um omnidirecional associado a algum anulador de fase acústico, ou seja, um buraco atrás do diafragma estrategicamente colocado. Os sons que chegam da frente não se anulam, mas os

de trás sim (**fig. mi07**). Isso dá ao microfone unidirecional (também chamado de cardióide pela forma do seu diagrama polar lembrar um coração) uma diferença de captação grande entre sons próximos e sons distantes. Quanto mais longe se está, mais o som como um todo se espalha pelo ambiente, atinge o microfone por trás e é anulado, isto é, menos som é amplificado. O cardióide assim pode dar uma grande sensação de profundidade. Este dispositivo também faz com que as frequências graves sumam com a distância. Sendo o agudo mais direcional, ele atinge apenas a frente. Os graves entram pela frente e por trás e se anulam.

◆ **1.4 MICROFONAÇÃO** — um microfone não é um objeto imaginário. É um objeto real. Esta não é uma frase idiota; permita uma explicação. Repetindo: o microfone é um objeto real. Ele não funciona como nos sonhos dourados do operador de som, como um amuleto mágico que capta tudo que você quiser apenas apontando-o para o lugar certo. Muito pelo contrário. Ele age de forma muito ampla no som. Mude o tipo de microfone, o número de microfones, a forma e a distância para onde ele está apontado, e um milagre pode acontecer. Ou o inferno. Há assim diversas formas de se usar um microfone em relação ao que vai ser captado. Existem várias técnicas, específicas para várias finalidades. Mas estas técnicas ficam bastante reduzidas em sonorização de palco, por entrarem outros problemas, como excessivo ruído e necessidade de controle de microfonia.

- **1.4.1** Na microfonação num palco fica quase automaticamente descartada, por exemplo, a captação do som reverberante. Toda a captação leva em conta dois tipos de som: o direto, vindo do instrumento, e o reverberante, resultado das reflexões do som no ambiente. Esta interação é discutida com detalhes em **3.1.1** e **6.2.3.2**, mas aqui o que importa é que em palco se pega quase só o som direto. O som reverberante, quando captado, é um sério estimulador de microfonia (ver **6.2.4.2**). Dizer que o microfone deve ficar o mais próximo possível da fonte é arriscado, pelo número de exceções que essa regra pode abarcar (ex. bateria — ver **1.6**), mas de qualquer forma é bom evitar posicionamentos onde o microfone capte tanto o som direto quanto o reverberante, ou seja, capte tanto o instrumento quanto o som das caixas. Por outro lado, captando perto demais o som, o timbre do instrumento é “falsificado”. O que se escuta de um violão é normalmente o som distante um metro ou mais; o som na boca do violão é completamente diferente.

Deve-se procurar um meio termo entre distância e proximidade, de acordo com os vários valores em jogo. De uma forma geral, quanto maior for o nível geral de intensidade (quanto maior for o volume sonoro) do sistema de som, mais próxima deve ser a captação. Da mesma forma, quanto menor o nível sonoro do instrumento a ser captado, mais próxima a captação. Por último, nunca é bom usar-se muitos microfones; quanto mais se usam, maior é a possibilidade de cancelamentos por ondas fora de fase (ver **II.6**), causados pelas fases diferentes do mesmo som captado por microfones diferentes. Se não houver muito barulho (como em conjuntos de jazz, por exemplo), uma bateria por exemplo pode ser captada com apenas dois microfones, pegando, a uma certa distância, o som geral saindo dela. No momento de posicionar o microfone, esteja atento portanto a microfonia e ruídos que possam ser criados, ao timbre que está sendo criado em cada posição, e à relação com os outros microfones.

- **1.4.2** Uma característica importante a se levar em conta é a relação dobro/6dB (ver **II.3.2**). Se uma fonte dobra sua distância em relação ao microfone, ela perde 6dB em intensidade de sinal (sinal — ver **I.4**). Se ela diminui pela metade, ganha 6dB. O ganho sobre microfonia (ver **6.2.4.1**) também varia

em 6dB sobre o dobro de distância. E 6dB é uma quantia considerável para um processo tão simples quanto variar uma distância, seja qual for, desde que a relação fique a mesma: de meio metro para 25 cm, de 30cm para 15cm, de 5cm para 2,5cm, de 1 cm para 5 mm! A colocação perto de uma superfície larga também aumenta em 6dB o ganho. Perto da junção de duas superfícies aumenta 12dB, e, perto da junção de 3 superfícies (quina), aumenta nada mais que 18 dB! (ver 5.6).

- **1.4.3** Deve-se lembrar também da direcionalidade dos agudos. Apontando um microfone de lado para uma fonte, haverá perda de agudos. Os graves se espalham pelo ambiente, mas os agudos são extremamente direcionados para algum ponto. A fig. mi08 ilustra bem isto, dando um exemplo de como os vários harmônicos de um violino se espalham no ar.

- **1.4.4** A escolha do microfone depende de muitos aspectos. O tipo mais apropriado é o dinâmico, mas muitas coisas entram em jogo. É necessária uma captação extremamente precisa? Seria melhor usar um microfone de condensador? E a distância até o instrumento? Seria adequado um Lavalier, um daqueles microfoneszinhos usados pelos locutores nos telejornais? Por outro lado, é possível colocar microfones frágeis como o condensador ou Lavalier próximos de um músico mais "exaltado" ou "desastrado"? Tudo isso deve ser levado em conta. Os fabricantes de microfones costumam fornecer vários modelos, especificando o instrumento e o uso adequados. Mas o padrão usual em companhias de sonorização profissional é usar um modelo para voz e um outro, de boa resposta, para o resto dos instrumentos a serem microfonados. É o caso dos Shures SM58 e SM57, um usado para voz, outro usado (de forma geral, sem levar em conta exceções sempre presentes) para todos os outros instrumentos. É claro que nem sempre pode-se escolher exatamente o microfone a ser usado. O "sevirômetro" é uma constante em muitos sistemas de som. Nesses casos, escolha onde vai cada microfone de acordo com os parâmetros já vistos (ver 1.1): resposta de frequência (um baixo acústico, por exemplo, deve ter um microfone com boa resposta nos graves), sensibilidade (certos instrumentos de percussão, por exemplo, têm um som pouco intenso, que precisa ser muito bem captado), SLP (cuidado com instrumentos de níveis muito altos, como por exemplo bateria ou guitarra).

E, em todo caso, procure ter sempre seu próprio material, sem depender de microfones desconhecidos. Esse aspecto da microfonação é muito delicado, e só com a experiência que vem de vários desastres e acertos sucessivos é que se pode adquirir um julgamento eficaz. Então vamos lá! Não tenha medo dos sucessos e fracassos, e, principalmente, de experimentar.

- **1.4.5** Outro aspecto importante é o ruído que pode chegar ao microfone não através do ar, mas através do chão, pelo pedestal e pelo corpo do microfone. Pisos ressonantes, como a madeira, o nível total de intensidade do sistema e até mesmo "eufóricos" músicos pulando sobre o palco podem contribuir para um alto nível de ruído passando pelo pedestal. O uso de bases de pedestal de material isolante acústico (ex. borracha) pode melhorar esta situação, mas a melhor solução é o uso de chock mounts, garras especiais destinadas a isolar o microfone do lugar onde está colocado. Pode-se conseguir uma diminuição de até 20dB (dB — ver II.3.2) do ruído de contato com o uso de chock mounts. A fig. mi09 mostra dois modelos da Shure. O AM 53M (esquerda) é um modelo particularmente novo.

◆ **1.5 VOZ** — começemos portanto a falar dos vários tipos de instrumentos. A voz será provavelmente o parágrafo mais longo por ser necessário falar também de microfones sem fio. Para começar, convém lembrar

da já dita necessidade de um microfone dinâmico especial para performance (ver **1.2.4**). A distância entre a boca e o microfone varia de alguns centímetros a zero. Mas cuidado! com um microfone unidirecional muito próximo da boca, há uma grande tendência a cancelar o som do nariz, e o resultado provavelmente será um som "anasalado", como o de um fanho. Procure direcionar o microfone de forma a não acontecer isso. Deve-se levar em conta também a posição do microfone em relação ao alto-falante apontado diretamente para ele, ou seja, o retorno. O melhor é deixar a parte de trás do microfone apontada exatamente para o retorno, o que aumenta o ganho com microfonia (ver **6.2.4.1**). Para algumas dicas sobre equalização, ver 1.11.

- **1.5.1** Um problema importante com os microfones de uma forma geral é o cabo. No caso do microfone de um cantor a coisa fica pior ainda, pois além de ser necessário se considerar as particularidades elétricas do cabo (como impedância — ver **1.9**), ainda tem de se pensar no uso performático pelo cantor. Ele pode querer pegar o microfone e sair cantando pelo palco. Ele tem este direito. O problema do cabo é tratado com mais detalhes em **6.1.1**, mas aqui falaremos de um modo de contorná-lo: o microfone sem fio.

O microfone sem fio usa um microtransmissor que gera sinais de rádio, captados por um receptor e depois mandados para os alto-falantes. Como o nome mesmo já diz, ele tem uma grande vantagem, não tem aquela incômoda amarra que segue quem canta. Dá uma grande liberdade de movimentos.

- **1.5.1.1** Consideremos então alguns aspectos técnicos do microfone sem fio. Ele deve vir equipado com uma bateria para o transmissor. Esta bateria deve poder aguentar uma transmissão ininterrupta por no mínimo 5 horas; um valor menor que esse cria o risco do microfone ficar sem carga e pifar no meio da apresentação. A transmissão pode ser feita dentro de várias faixas de rádio. A mais barata é a que vai de 25 a 50 MHz ou 72 a 769 MHz. Mas, por ser frequência da faixa do cidadão, é também a mais barulhenta, e pode-se esperar um bocado de interferência. Além disso, é necessário usar antenas de até dois metros de comprimento, o que não é muito prático.

A faixa de FM pode ser usada também, com um custo baixo (o receptor pode ser qualquer rádio comum), mas numa cidade como São Paulo, por exemplo, com emissoras em quase todas as frequências possíveis, esta opção é um pouco impraticável — a captação do microfone viria com interferência de alguma emissora, em qualquer que fosse a frequência. Em sistemas profissionais o mais usado é o VHF, menos barulhenta, com grande poder de penetração entre sólidos (como paredes) e sem a necessidade de uma antena grande. É claro que nem tudo é perfeito: além de ser mais caro um transmissor em VHF, o maior poder de penetração pode acarretar uma perda de privacidade, pois a transmissão vai ser acessível a todos. Pode acontecer também da banda de FM criar harmônicos que interfiram na banda de VHF (já que a transmissão não passa de uma onda no espaço — ver **II.4**). Por isso se recomenda o uso de antenas receptoras helicoidais ou de cristal. A banda de UHF tem uma amplitude de sinal mais reduzida, e precisa de uma antena pequena demais. É melhor ficar com VHF mesmo.

- **1.5.1.2** Passemos aos parâmetros do microfone em si. A maioria dos fabricantes produz microfones sem fio com uma resposta de frequência (ver **1.1.1**) de 40 a 15000 Hz, o que é ótimo para voz, ainda mais se considerarmos as limitações impostas por lei à potência de transmissão (não pode ser um transmissor muito potente). Mas esta limitação de potência cria

um problema grave: a intensidade reduzida. A maioria dos microfones sem fio são fabricados para transmitir um sinal de até 80 a 85 dB (dB — ver [II.3.2](#)), o que é bom em termos vocais.

Supondo que o circuito não trabalhe no máximo, um nível de sinal de 70 dB é razoável. Abaixo disso a recepção precisa ser aumentada muito para se escutar alguma coisa. Abaixo de 50 dB a recepção precisa ser aumentada tanto para se ter um nível decente que fica impossível um sinal sem distorção. É bom portanto ficar de olho nas especificações do fabricante. Pode se ligar um compressor no sistema antes da transmissão, dentro do microfone (ver [3.3](#)), o que pode aumentar a relação sinal/ruído (entre o som captado e as interferências da captação) entre 15 e 30 dB. O ruído diminuindo o som aumenta, e portanto há um aumento do volume do sinal.

- **1.5.1.3** Na recepção o problema mais comum é o cancelamento de ondas fora de fase ([fig. mi10](#)). A onda direta e refletida chegam fora de fase na antena, e se anulam (anulação por ondas fora de fase — ver [II.6](#)). A melhor solução para este problema é o uso de duas antenas, o que remedia de vez. Há varias maneiras de se ligar estas duas antenas (ligar duas e usar a mais forte, usar dois receptores separados) mas a melhor, pelo custo e pelo resultado, é ligar duas antenas simultâneas ao receptor. Quando as ondas de uma estiverem fora de fase, não estarão na outra. As duas se somam e o sinal não sofre alterações. No caso é bom usar uma perto da fonte, apontando para o microfone, e outra mais no alto, evitando reflexões.

◆ **1.6 BATERIA** — A microfonação de uma bateria é um dos pontos mais variáveis dentro da sonorização. Isso porque deve-se levar em conta uma grande quantidade de fatores. Hoje geralmente se vê um microfone para cada peça, com talvez um só para captar ao mesmo tempo a caixa e o chimbau. Mas é possível encontrar sistemas com apenas três microfones, um pro bumbo e um de cada lado do conjunto de tambores, no alto, captando todo o som.

Esse autor que vos fala já viu até captações sem microfone no bumbo. Isso depende no nível de intensidade usado pelo baterista (um baterista de jazz faz muito menos "barulho" que um de rock, e portanto precisa de uma captação mais eficaz), do nível de ruído do ambiente (um nível alto impossibilita uma captação mais geral, limitando a distância do microfone até a peça), problemas de isolamento entre os microfones (com muitos microfones a tendência a cancelamento por ondas fora de fase é maior — ver [II.6](#)), do quanto se quer arriscar a colocação dum equipamento caro e frágil numa posição de virtual destruição por um baterista mais "entusiasmado" etc. (ver [1.4.1](#), [1.4.4](#)) As [fig. mi11](#) e [fig. mi12](#) ilustram alguns modelos mais comuns na microfonação de uma bateria. Na microfonação aberta, o som fica mais "aéreo", mais aberto, com mais reverberação natural. Na fechada, o ataque (o momento em que a peça da bateria é percutida) fica muito mais evidenciado, criando um som mais agressivo. Para algumas dicas sobre equalização, ver [1.11](#).

- **1.6.1** Na [fig. mi13](#), a posição dentro do tom-tom pode garantir um maior isolamento entre microfones e um nível sonoro mais elevado, mas o interior do corpo pode ter reflexões do som ambiente, que entram pela boca e ficam reverberando, o que traz uma grande ameaça de microfonia (ver [6.2.4.2](#)). O microfone dentro do tom-tom deixa o som com menos ataque (menos "pegada" no momento da batida) e um som mais sustentado, mais longo. Na captação sobre o tom-tom ocorre o contrário. Pode-se escolher o uso de um microfone para cada tom-tom, mas o melhor, por motivos já discutidos (ver [1.4.1](#)), é o número mínimo de microfones possível; para dois tom-tons, por exemplo, usa-se um microfone entre eles. Se for usado um microfone para mais de uma peça, deve-

se cuidar para que ele fique a uma distância igual de cada um, ou para que cheguem intensidades iguais das duas peças nele.

Finalmente, o microfone dos tom-tons pode ser o mesmo que o dos pratos. Mas caso não seja, convém usar-se microfones unidirecionais (ver 1.3.3), com a parte de trás apontada para os pratos. Isso porque, quando mal- captados, eles criam ruídos de baixa frequência, graves (frequência — II.2).

- **1.6.2** Para os pratos, há um melhor resultado com a captação por cima. A captação muito próxima pega o tal ruído grave do verbete anterior. Pode-se deixar que os microfones das outras peças (geralmente do surdo e dos tom-tons) captem os pratos; nesse caso, a escolha (resposta de frequência, sensibilidade [ver 1.4.4]) e as posições (em relação ao som a ser captado) desses microfones devem levar em conta isso.

- **1.6.3** O surdo leva em conta as mesmas considerações dos tom-tons, em termos de captação por dentro/por fora. Lembre-se de que ele é um instrumento mais grave, sendo necessária então uma resposta de frequência adequada (ver 1.4.4). Às vezes, um microfone muito próximo pode captar a vibração da pele de retorno, embaixo do instrumento. Nesses casos, a melhor solução é retirar a pele.

- **1.6.4** A caixa e o chimbau geralmente são captados pelo mesmo microfone. A captação do som debaixo da caixa produz um sinal “rasgado”, a captação por cima, um som mais cheio. Com o chimbau sendo captado lateralmente, deve-se ter cuidado. Quando fecha, o chimbau provoca um deslocamento de ar, que, se entra no microfone, é captado como um “puff” muito feio. Se captado separadamente, o melhor é colocar o microfone sobre ele, a uma distância de 18 cm, apontado para as bordas do prato, não para o centro.

- **1.6.5** Para o bumbo deve-se usar um microfone com resposta de frequência boa nos graves, pelo menos até 40 Hz (ver II.2). A melhor captação é com o microfone dentro do instrumento. Um posicionamento perto do lugar onde o pedal bate na pele vai reforçar o ataque, e vice-versa.

- **1.6.6** A captação de percussão leva em conta os mesmos fatores. Também leve-se em conta a posição do percussionista, e o teor dos diversos instrumentos. Há alguns instrumentos de percussão de captação difícil, por não terem um grande volume de som e ao mesmo tempo não permitirem uma proximidade suficiente com o percussionista.

- **1.6.7** Finalmente, um lembrete. A bateria e principalmente algumas peças de percussão têm um ataque (intensidade de som no início desse som) até 10dB (dB — ver II.3.2) maior que o resto do som. Isso quer dizer que no instante em que o instrumento é percutido há um tempo imperceptivelmente curto no qual o som é muito mais alto que o normal. Isso deve ser levado em conta na definição do volume dos vários instrumentos, porque embora imperceptível para o ouvido esse pico passa para o circuito elétrico (ver I.6) e pode a longo prazo danificá-lo e causar distorções (ver 6.1.5). É recomendável usar-se compressores em todas as peças da bateria (ver 3.3).

◆ **1.7 PIANO** — O piano apresenta várias dificuldades para microfonação, especialmente num palco. Para começar, onde colocar um microfone num monstro desse? Apesar de não parecer, o uso de mais de um microfone é altamente impróprio, pois em nenhum outro instrumento o cancelamento por ondas fora de fase (ver II.6) é tão nítido. Para uma captação em estéreo, e até passável o uso de dois microfones (um balanceado para o esquerdo, outro para o direito), mas no mono esta captação gera um som artificial e

distante. O posicionamento do microfone também influi no resultado, pelos cancelamentos de fase a qual cada ponto está sujeito. A **fig. mi14** mostra os resultados de vários posicionamentos, junto de opiniões subjetivas. Os melhores resultados foram conseguidos nas **fig. mi14a** e **fig. mi14h**. Procure não aproximar o microfone mais do que 30cm de distância das cordas, para não enfatizar as cordas mais próximas. Para um piano de armário, a melhor posição é embaixo, sem o tampo, sobre as cordas agudas.

- **1.7.1** Outro problema é o isolamento quanto ao som ambiente. Em sistemas que não requerem muita amplificação o som ambiente não interfere muito. Mas em lugares barulhentos a possibilidade do microfone captar o que não devia é grande, principalmente com o tampo muito aberto (o som ambiente bate no tampo e entra na caixa do piano). Um resultado bom tem sido conseguido com o tampo fechado ou muito pouco aberto, e um tapete por cima (o microfone, é claro, fica dentro do piano). Se isso não for possível, pelo menos é bom evitar abrir muito o tampo. O uso de captadores (ver **1.9**) na tábua de ressonância também soluciona este problema, mas perde-se muito do ataque da corda, do som no momento em que a corda é percutida.

- **1.7.2** Finalmente, o piano tem um ataque de um nível ainda maior que o da bateria (ver **1.6.7**), da ordem de até 20 dB maior do que o resto do som (dB — ver **II.3**). É preciso levar em conta isso na hora do ajuste de volume, e do uso ou não de compressores (ver **3.3**).

◆ **1.8 VIOLÃO** — Um violão tem diferentes frequências de ressonância (ver **II.7**) ao longo de seu corpo. A boca ressoa entre 80 e 100 Hz (isto é, perto dela estas frequências vão soar mais intensas; frequência — **II.2**); o cavalete ressoa na frequência de 200 Hz; perto da junção do braço com o corpo há uma anulação das frequências médias. Deve-se levar isto em conta para o posicionamento de um microfone. As **fig. mi15a-d** e **fig. mi16a-d** dão o resultado de diversos posicionamentos diferentes para o mesmo instrumento. Repare que é necessário um microfone com uma resposta de frequência (ver **1.1.1**) boa nos graves, já que a nota mais grave (a 6ª corda) pode, dependendo da afinação, dar notas mais graves que 80 Hz.

◆ **1.9 GUITARRA** — O sistema de captação da guitarra elétrica é diferente do microfone. Ela usa um captador, uma bobina ligada a uma corrente (ver **1.8**) que cria um campo magnético em volta dessa bobina. A vibração das cordas da guitarra, de aço, interferem no campo, mudando a corrente (ligação magnetismo-eletricidade — ver **1.5**). A guitarra não funciona sem uma caixa com amplificação; é como uma continuação natural dela. Por isso ela quase nunca é ligada diretamente a mesa de som, sendo ligada numa caixa no palco que é controlada pelo músico e serve como seu retorno. Outro motivo para isso é que os captadores geralmente não têm uma impedância compatível nem com a dos microfones (baixa), nem com a de linha, ficando num meio termo entre elas. Isto é, ela não funciona bem nem em uma nem em outra impedância. Por isso não é recomendável ligá-la direto na mesa de som (para maiores detalhes sobre impedâncias, ver **6.1.2**)

- **1.9.1** Pode-se usar duas formas de conexão entre a caixa de som e a mesa. Uma é uma ligação direta, a chamada linha "direct box" (direto da caixa). É a preferível, por evitar um monte de problemas. Mas alguns instrumentistas preferem (ou não conseguem sair dele, dependendo do fato da caixa ter ou não *direct box*) o uso de um microfone para captar o som da caixa. O som gerado pelo direct box é limpo e claro, sendo preferido pelos músicos de jazz. A captação por microfones, por outro lado, é bruta, áspera, própria para rock. Nesse caso, é importante saber quantos alto-falantes têm a caixa. Se tiver mais de um, ou o microfone é

colocado bem perto de um deles, ou é colocado no mínimo a 30 cm da caixa, senão haverá cancelamento por diferença de fase (ver II.6).

Isso também acontece se usar-se as duas posições ao mesmo tempo (longe e perto) ou o microfone e o direct box. Quanto mais perto da fonte, mais graves um microfone unidirecional capta, como já foi dito (ver 1.3.3), como se vê nas fig. m17a-d (o “ruído rosa” da figura é um ruído com todas as frequências possíveis — ver 6.2.3.1). Leve isso em conta. As frequências agudas saem do centro e são altamente direcionais, isto é, deve-se colocar o microfone na altura do centro do alto falante, e apontá-lo diretamente para este centro (salvo caixas com mais de um alto-falante). Por último, a colocação da caixa perto da parede reforça os graves, atenuando os agudos (ver 5.6.1).

◆ **1.10 OUTROS INSTRUMENTOS** — De uma forma geral, para se conseguir uma boa captação basta apenas seguir o bom-senso. Em geral cada instrumento tem uma região para onde aponta a maior parte do som. É só segui-la. Nas madeiras (clarinete, saxofone, etc.) o som sai principalmente dos orifícios, não da campana. Nos metais (trompete, trombone, etc.) o contrário acontece; o som sai tão direcionado que, se o microfone é colocado diretamente na frente da campana, capta muitos harmônicos e com isso um som diferente do natural (harmônicos — ver II.4; distorções — ver 1.11). Instrumentos de grande volume sonoro, como metais, podem sobrecarregar o sistema, podendo ser considerada a hipótese de um limitador (ver 3.3). Quanto ao resto, é só prestar-se atenção no que foi falado entre as seções 1.4 e 1.4.5.

◆ **1.11 EQUALIZAÇÃO** — O uso da equalização não deve ser feito sem discriminação. Pelo contrário. Há alguns pontos em que ele tem primazia e outros em que nada pode fazer. Na microfonação ele deve compensar:

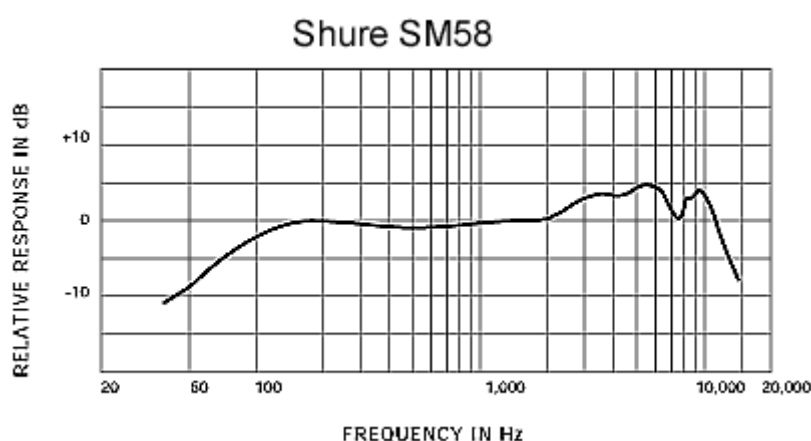
- distorções (ver 6.1.5) criadas pelo microfone, não só em relação à sua resposta de frequência (um microfone que não capte agudos vai criar sons com a parte aguda defeituosa — ver 1.1.1) mas também por distorções relacionadas ao seu posicionamento (o melhor exemplo é o aumento do grave quando a distância é pequena, nos unidirecionais — ver 1.2.4);
- “mascaramento” de um instrumento por outros. A equalização pode evitar que um instrumento encubra outro de timbre parecido. O melhor exemplo é a mudança de equalização do bumbo da bateria para não ser encoberto pelo baixo.
- psicoacústica, isto é, efeitos que não são reais mas são percebidos pelo nosso ouvido como reais.

Exemplo: instrumentos de muita intensidade (guitarra, bateria) soam muito “planos”, muito sem vida quando reproduzidos. Isso porque o espectro desses instrumentos (ver II.4.1) tem frequências médias muito altas. Um aumento de graves e agudos (compensando o excesso de médios que nós escutamos) resolve a situação.

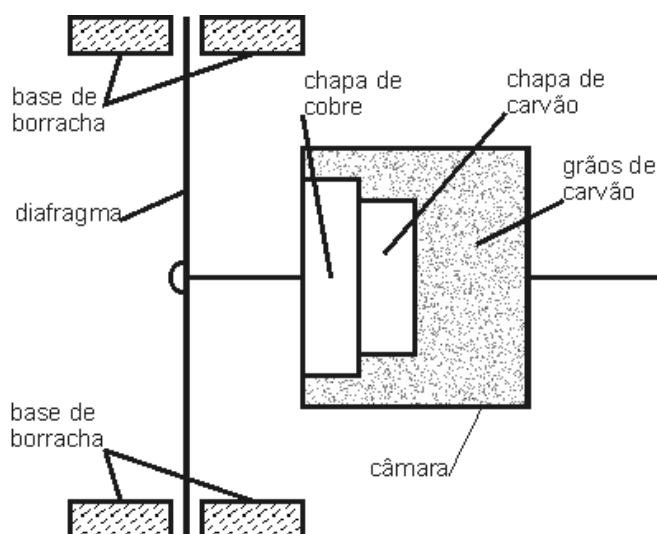
● **1.11.1** A descrição dos equalizadores é vista com detalhes no capítulo 2, e seu uso, em 6.1.6. Aqui só vão algumas dicas práticas para cada um dos principais instrumentos:

- o som de sibilância da voz (a ênfase ao “esses”) ocorre principalmente na região de frequência de 5 Khz (Hz — ver II.2). Diminuindo essa frequência na equalização diminui-se a sibilância. Um aumento na região de 100 Hz produz um som mais cheio, mais “ másculo”. Evite mudar muito as distâncias entre a boca e o microfone também;

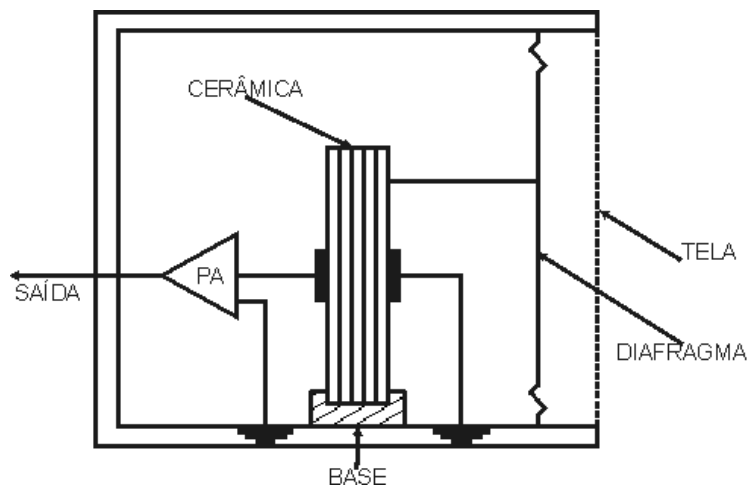
- pode-se falar muito da bateria. Para aumentar o grave da caixa e dos tom-tons, conseguindo um som mais cheio, tente aumentar a região de 200 Hz. Para o surdo, o mesmo efeito é conseguido aumentando a região de 100 Hz. No bumbo, corte um pouco as frequências de 300 a 600 Hz, para compensar a resposta mais grave do microfone unidirecional. Aumente nos pratos a frequência de 10 KHz (aumentando o ataque, a “pegada” no momento da percussão) e diminua as frequências abaixo de 500 Hz (a baixa frequência indesejável dos pratos — ver **1.6.1**). Nos chimbaus, o som chiado é reforçado entre as frequência 10 a 12 KHz; - no caso típico de mascaramento dito acima, procure aumentar 100 Hz no baixo e 50 Hz no bumbo, para marcar a diferença entre si. Aliás, uma boa regra geral é procurar sempre diferenciar instrumentos situados na mesma faixa de frequência, por exemplo, voz e guitarra, ou voz e teclado.



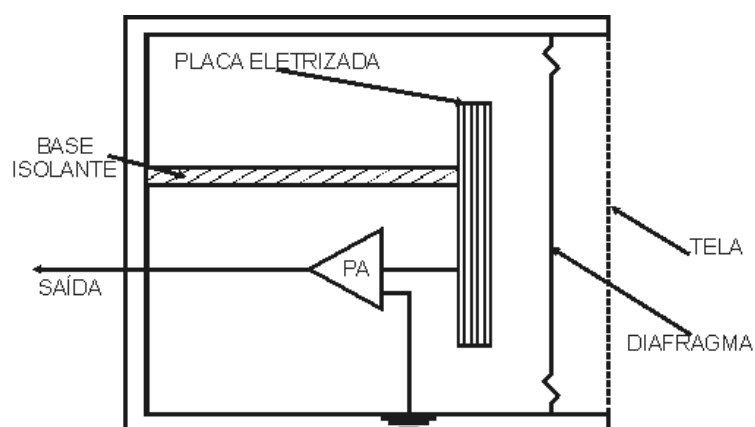
mi01: exemplo de gráfico de resposta de frequência em microfones.



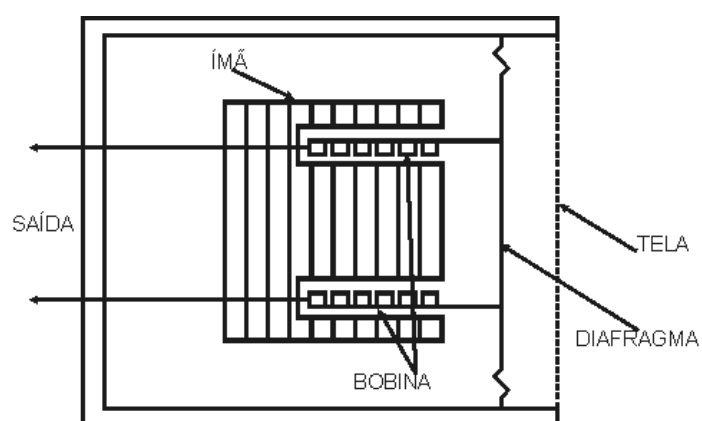
mi02: esquema de microfone a carvão.



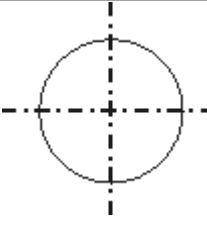
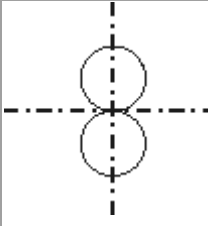
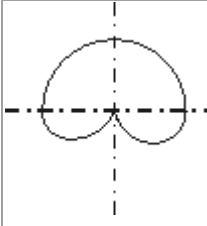
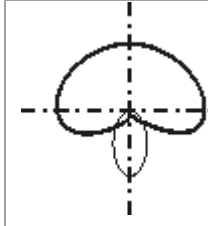
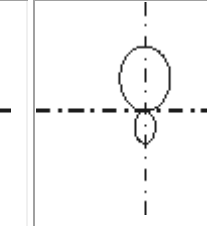
mi03: esquema de microfone de cerâmica.



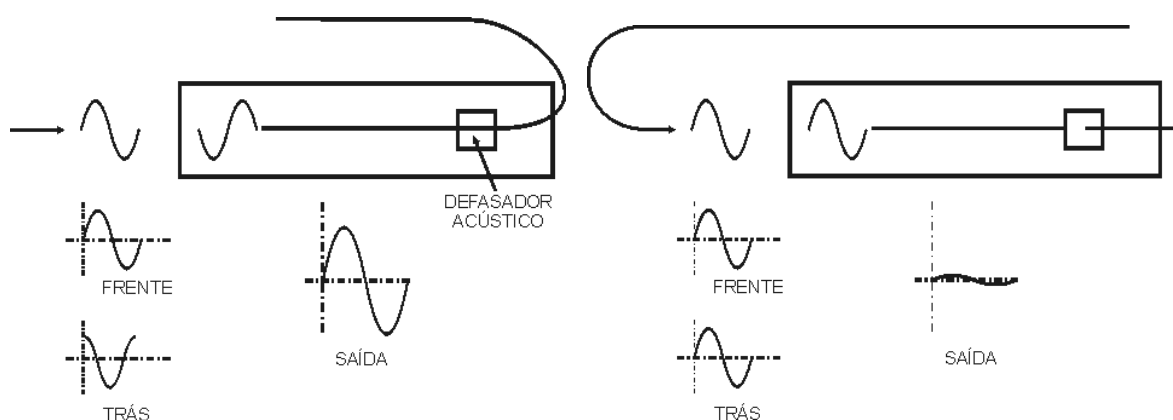
mi04: esquema de microfone de capacitor.



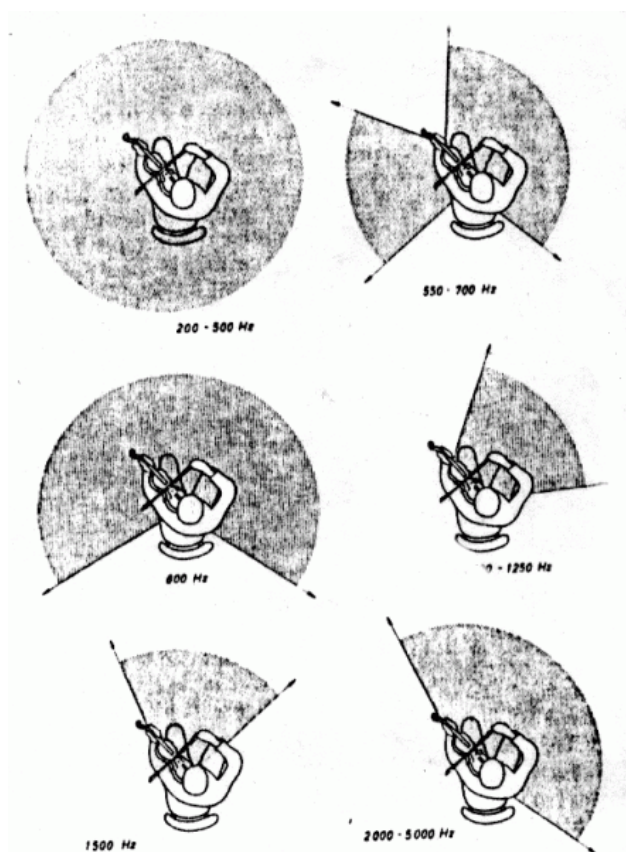
mi05: esquema de microfone dinâmico.

Microfone	Omnidirecional	Bidirecional	Unidirecional	"Super-cardióide"	"Hiper-cardióide"
Diagrama polar					
-3dB		90°	130°	116°	100°
-6dB		120°	180°	156°	140°

mi06: exemplo de diagramas polares, para vários tipos de direcionalidades.
 Os ângulos indicam a partir de onde a captação cai.



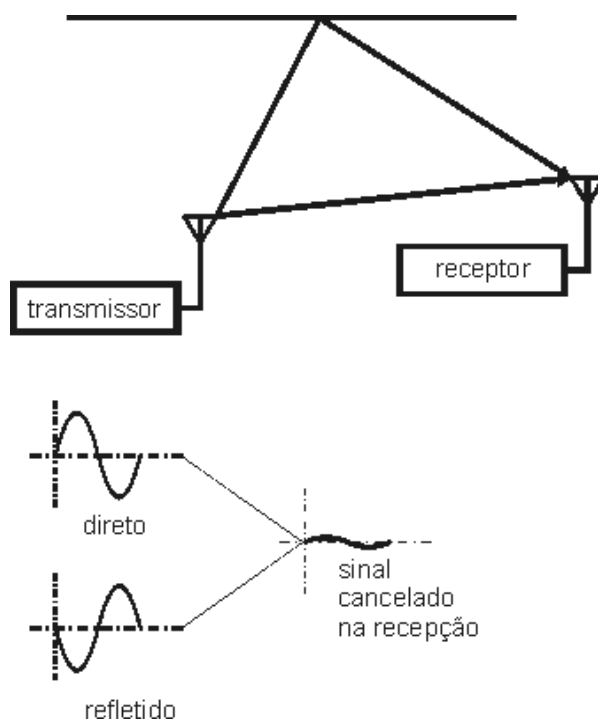
mi07: como funciona o anulador acústico em microfones unidirecionais.



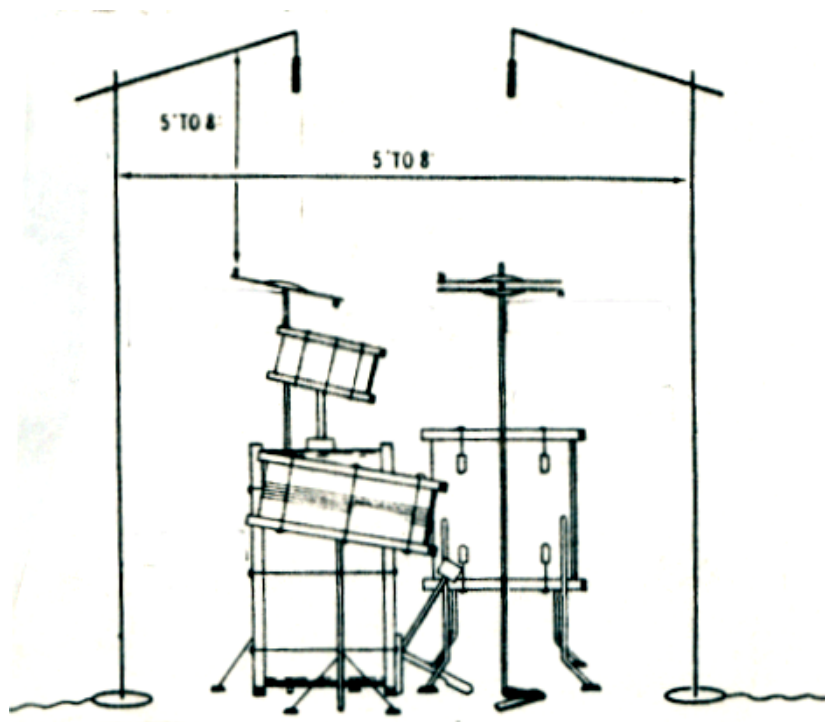
mi08: como as diferentes frequências do espectro de um violino se direcionam no espaço.



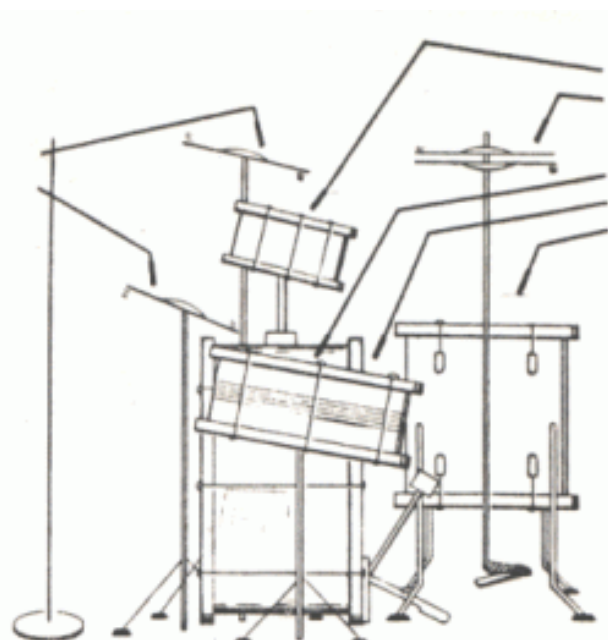
mi09: exemplos de shock mounts.



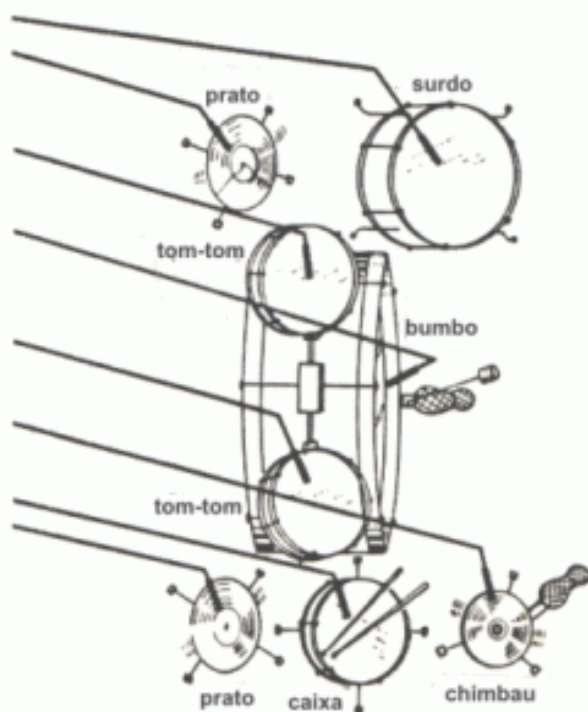
mi10: problemas de cancelamento de fase na recepção de microfones sem fio.



mi11: microfonação aberta de bateria.

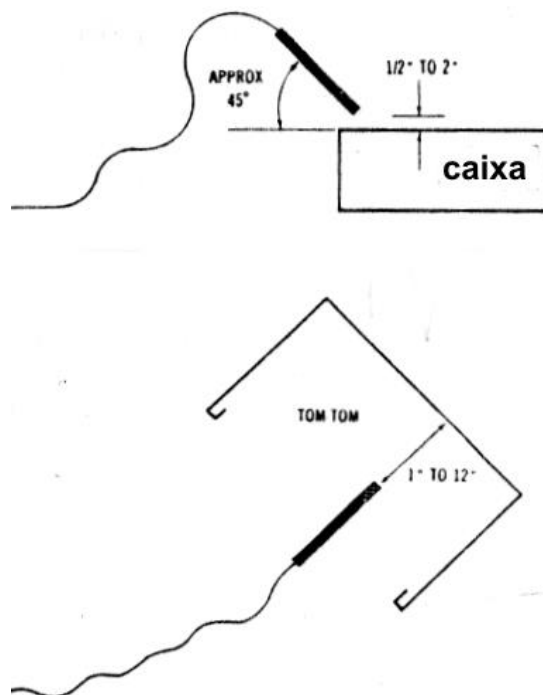


vista de lado

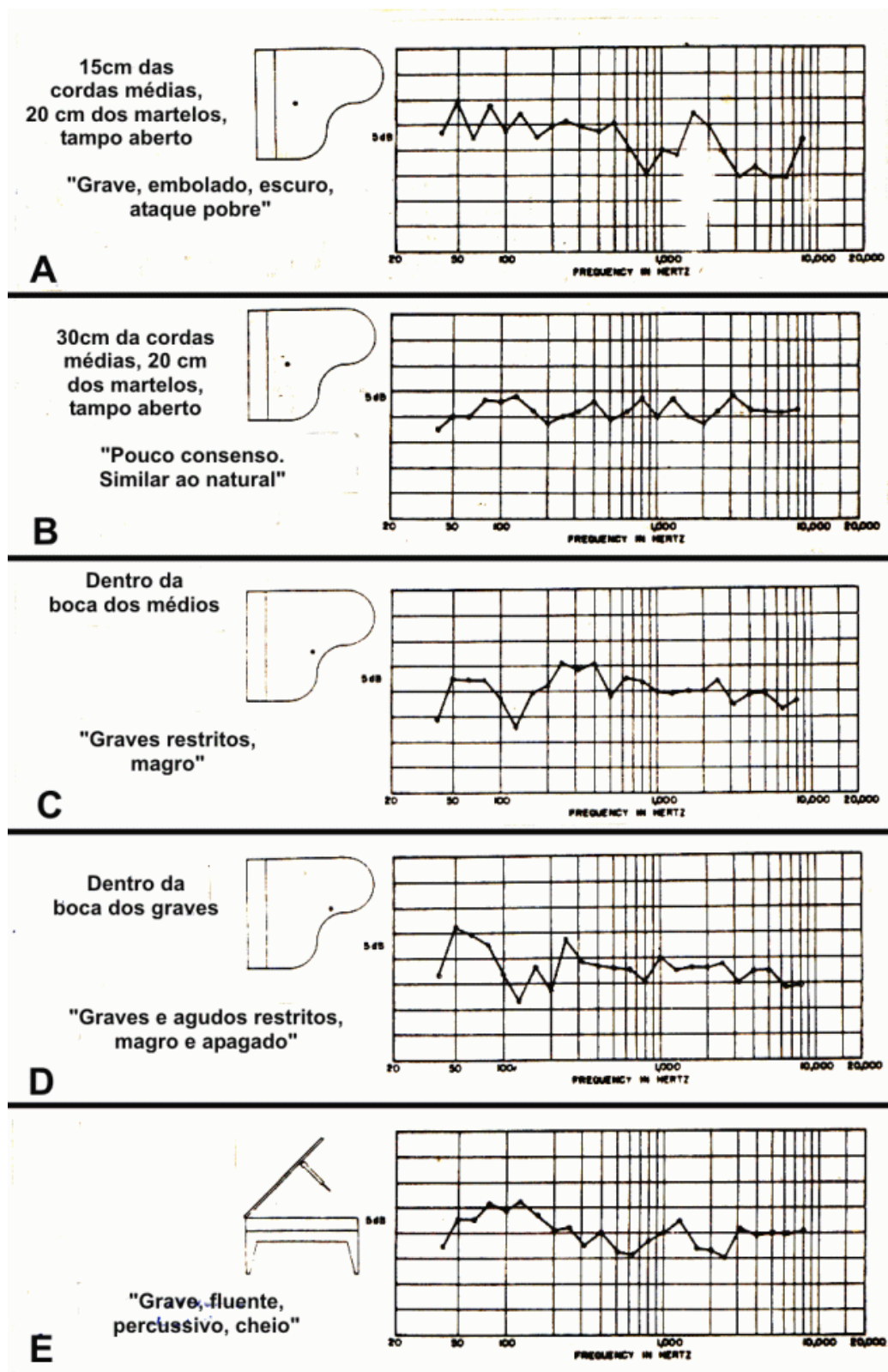


vista de cima

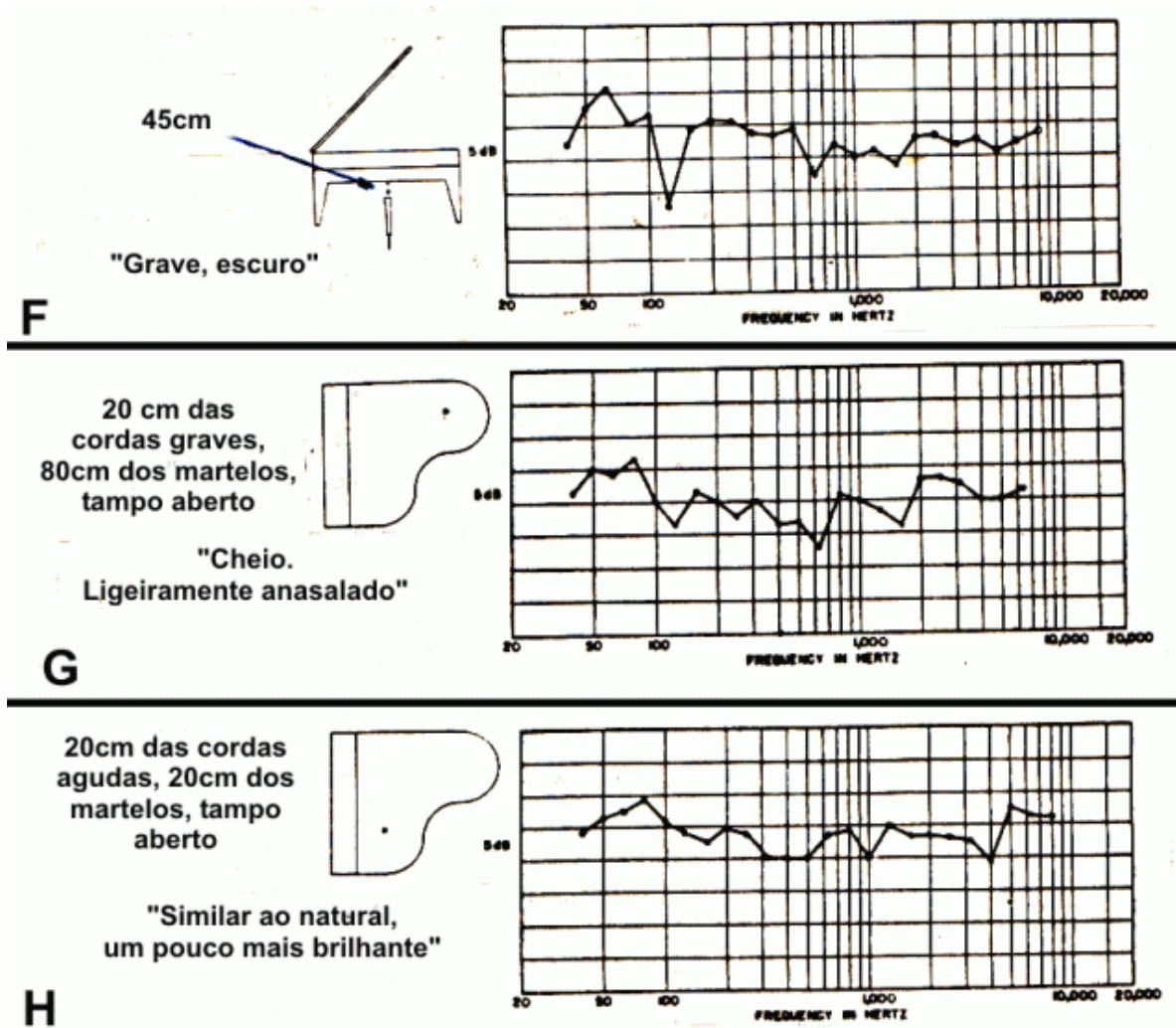
mi12: microfonação fechada de bateria.



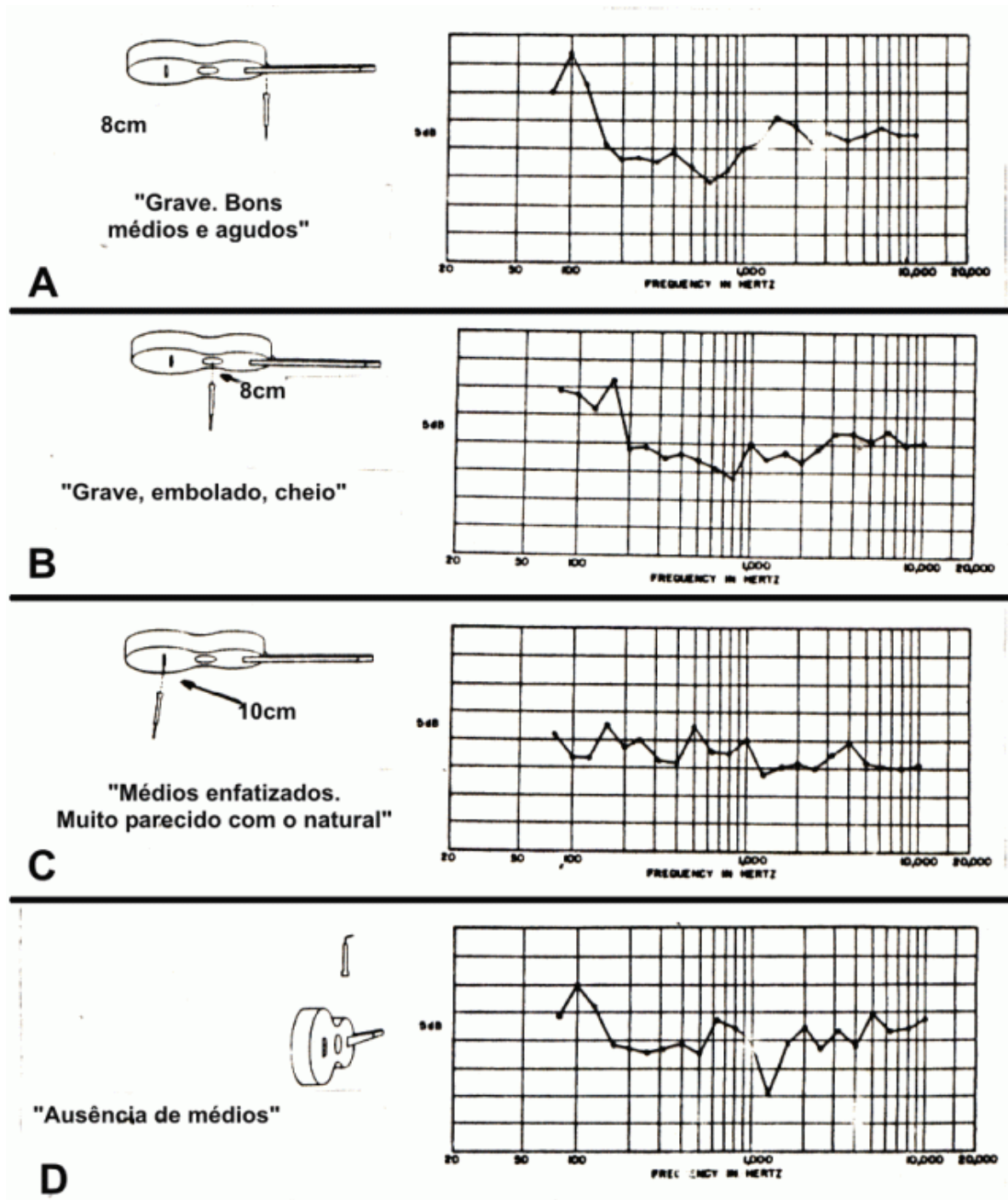
mi13: detalhe de microfonação fechada de bateria



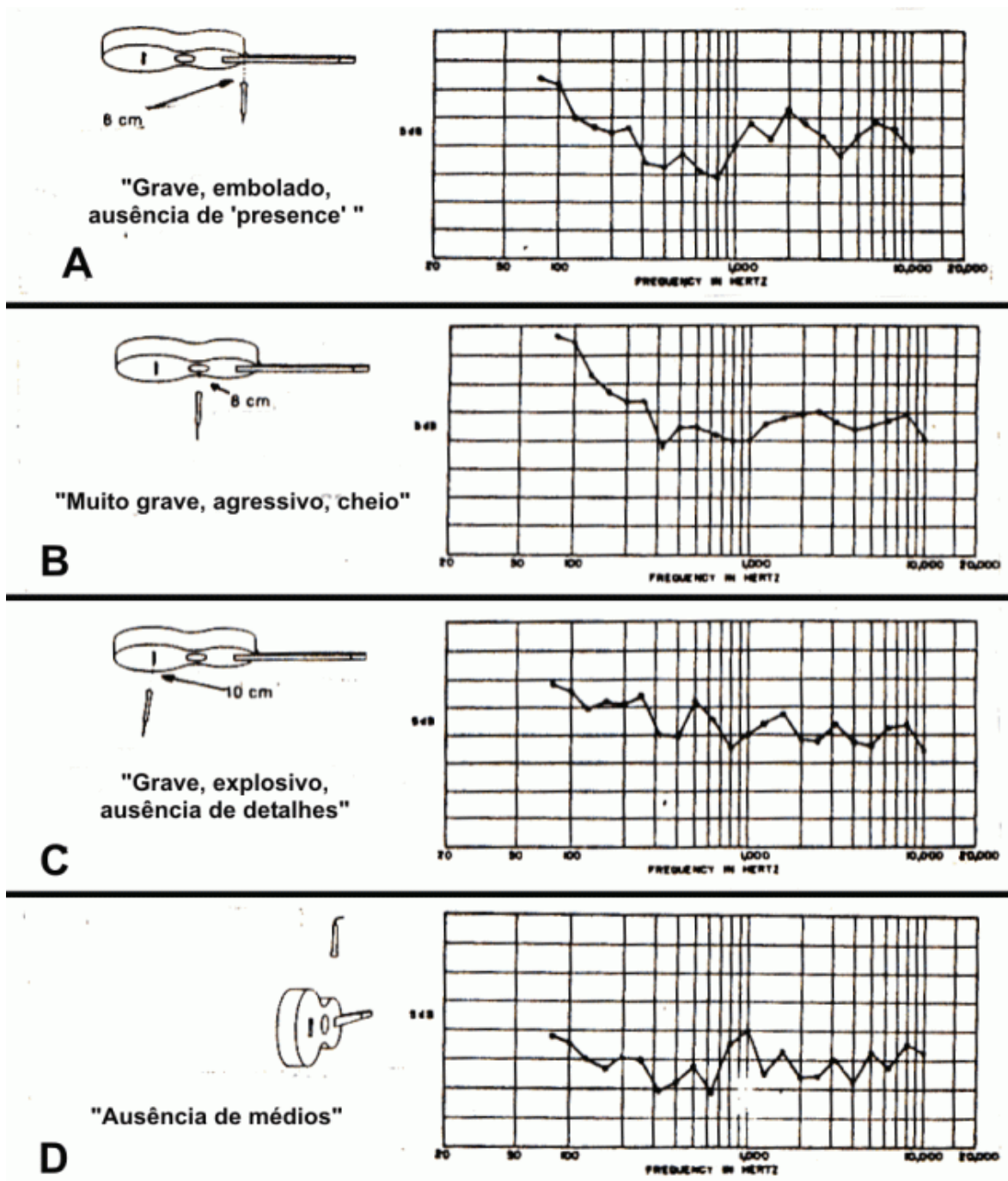
mi14: resultado de diferentes microfonações do piano. Quase todas as teclas pressionadas simultaneamente.



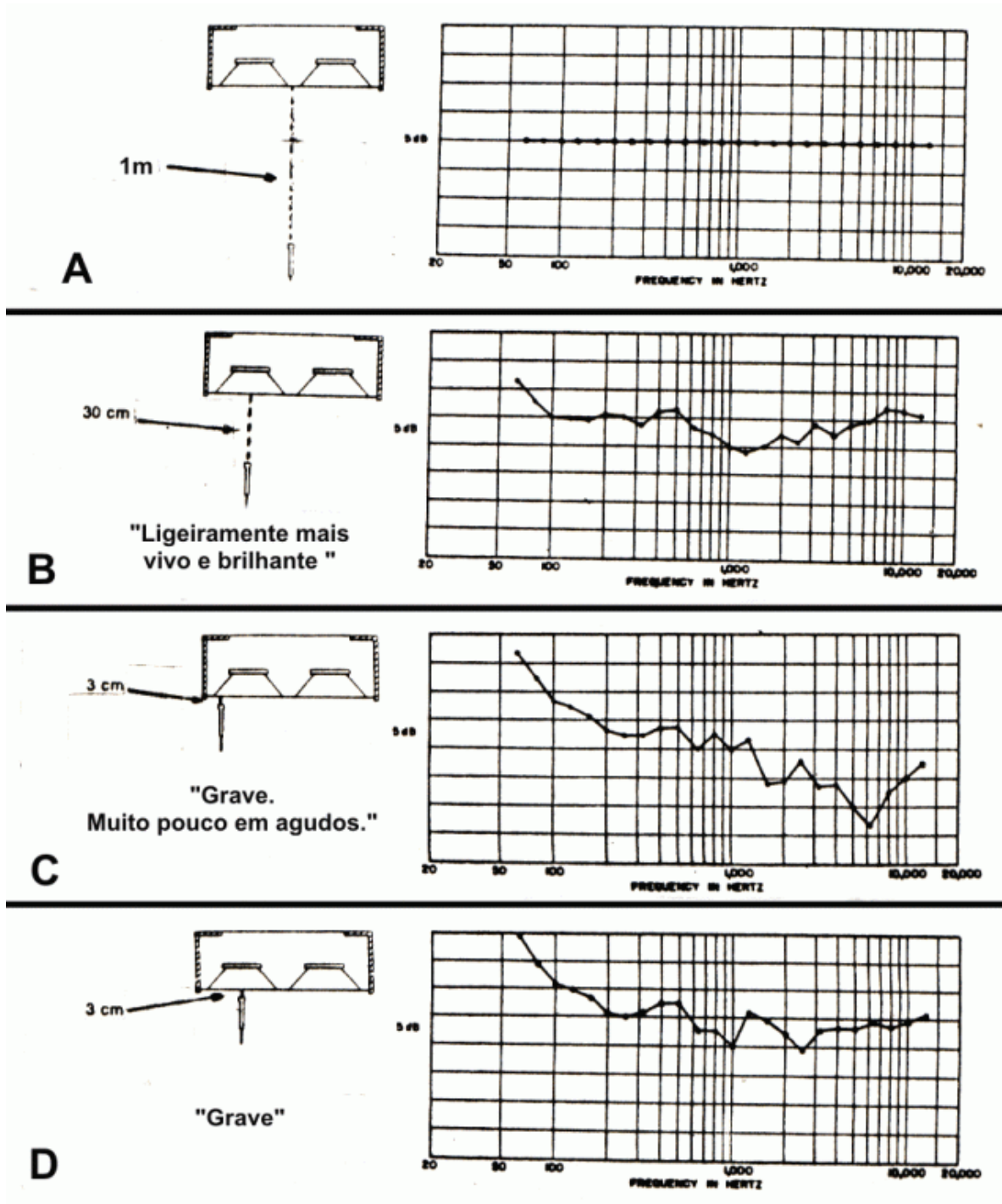
mi14 (continuação).



mi15: resultado de diferentes microfonações de violão de cordas de nylon. Acordes E e A.



mi16: resultado de diferentes microfonações de violão de cordas de aço. Acordes E e A.



mi17: resultado de diferentes microfonações de caixa. Ruído rosa.

2 - EQUALIZADORES

2. Filtro é o nome que se dá a um circuito elétrico que deixa passar certas frequências e bloqueia outras. Equalizador é um aparelho que altera as características de frequência de um sinal (sinal — ver I.4; frequência — ver II.2). Esse capítulo trata de suas características físicas (seu uso apropriado é visto em 6.1.6).

A fig. eq01 mostra um exemplo do que faz um filtro e um equalizador. O espectro de frequências de um som (ver II.4.1) é modificado de maneiras diferentes: em a), um filtro passa baixa (ver 2.1) atenua as frequências agudas; em b), um equalizador muda as intensidades das frequências de acordo com a sua regulagem. Cada uma dessas mudanças vai mudar o espectro do som, isto é vai mudar seu timbre.

◆ **2.1** Da definição de filtro pode se deduzir que ele funciona como uma resistência elétrica que só atua em determinadas frequências, sem fazê-lo em outras (isto é, como um elemento reativo — ver I.7 e I.8). Há quatro tipos de filtro básicos: o filtro passa baixa (que deixa passar as frequências baixas, bloqueando as altas), o filtro passa alta (que deixa passar as frequências altas, bloqueando as baixas), o passa faixa (que deixa passar frequências entre dois limites, um grave e outro agudo, rejeitando as frequências fora deles) e o rejeita faixa (que rejeita frequências entre dois limites, um grave e um agudo, deixando passar as frequências fora deles). A fig. eq02 mostra as representações gráficas do que passa e do que não passa em cada um dos tipos (isto é, de suas respostas).

◆ **2.2** Existem alguns parâmetros que são importantes no estudo de filtros. Eles estão representados na fig. eq03.

- **2.2.1** Frequências de corte — são as frequências onde os filtros começam a funcionar. Em filtros passa baixa a frequência de corte grave é, logicamente, zero; em filtros passa alta, a frequência de corte aguda é infinita. Pelo gráfico da fig. eq03 pode-se ver que um filtro não tem uma frequência de corte absoluta. Ele não corta a corrente de uma vez. Há uma região de frequências onde ele começa a funcionar. Qual destas é considerada a frequência de corte? A frequência de corte é, por convenção, a frequência onde o nível de sinal que sai do filtro é 3 dB mais baixo que o nível máximo (dB — ver II.3.2).

- **2.2.2** Frequência média — é a frequência que fica exatamente no meio entre as duas frequências de corte.

- **2.2.3** Banda de passagem — é a região de frequências na qual o filtro deixa passar o sinal (ou não deixa, se tratando de um filtro rejeita faixa). Ela determina não só a diferença entre as duas frequências de corte (isto é, a "grossura" da resposta) como também a região na qual o filtro trabalha (grave, média ou aguda).

- **2.2.4** Queda — é o ângulo no qual o filtro corta o sinal. Como já foi dito em 2.2.1, o filtro tem uma certa região de frequências na qual ele começa a trabalhar. A queda determina se essa região será grande ou pequena.

A queda pode ser determinada por dois termos diferentes, cada um com seu uso específico. Um deles é o dB/8ª. Assim, suponhamos que eu tenha dois filtros passa baixa com uma frequência de corte de 500 Hz, só que um tem uma queda de 24 dB/8ª enquanto que o outro tem 6 dB/8ª. No primeiro filtro, a frequência de 800 Hz dificilmente será audível. No outro, 800 Hz soará um pouco mais baixo que 500 Hz, mas ainda assim audível (fig. eq04).

O outro termo é representado pela sigla Q. Ambos são equivalentes, mas o Q é mais usado para as quedas de equalizadores, enquanto que o dB/8a é usado para filtros simples. Convém lembrar que quanto menor o Q, mais acentuada é a queda. A **fig. eq05** mostra variações de Q para um mesmo filtro passa faixa.

◆ **2.3** Agora que estamos inteirados na terminologia básica de filtros (estamos, não estamos?), passemos à eletrônica por trás deles. Há dois tipos de filtros, eletronicamente falando: o passivo e o ativo.

- **2.3.1** O filtro passivo usa só elementos passivos (ver **I.10**). Isto significa que o sinal que sair do filtro será sempre menor que o que entrou. Um pouco da energia sempre vai ser perdida enquanto passa pelo filtro. Eles geralmente têm uma impedância (ver **I.8**, **I.9**) muito variável, muito influenciada pela impedância do circuito ao qual está ligado.

- **2.3.1.1** Se você leu o **Apêndice I** (ver), sabe que os capacitores e as bobinas são em essência elementos que permitem a passagem de corrente de acordo com a frequência. Por isso são os elementos básicos na arquitetura de um filtro passivo. São as associações entre capacitores e bobinas que determinarão as características de um filtro.

- **2.3.1.2** O tipo mais simples de filtro passivo é o que usa apenas um capacitor ou um indutor. Esse tipo de filtro, por usar um elemento que só corta frequências de uma região (ou um capacitor ou um indutor), só pode ser passa alta ou passa baixa (ver **2.1**).

Começamos pelo passa alta com um só elemento. Ele pode ter ou um capacitor em série com o resto do circuito (bloqueando as frequências graves) ou uma bobina em paralelo com ele (curto-circuitando as frequências graves; no caso as frequências graves passam todas pela bobina, sem chegar ao resto do circuito). (ligações em série e em paralelo — ver **I.12**; curto-circuito — ver **I.7.1**).

Este guia evita categoricamente o uso de equações e termos matemáticos de qualquer espécie. Mas no caso destes filtros é bom abrir uma exceção, pelas inúmeras aplicações práticas que eles podem ter (corte de interferências de rádio, proteção de alto-falantes etc). Nos filtros passa alta que usam um capacitor em série, o valor deste capacitor será dado por:

$$C = 10^6 / 2\pi f Z,$$

onde

C = valor do capacitor em microfaradays;

f = frequência de corte do filtro;

Z = impedância do circuito aonde está ligado o filtro (**fig. eq06**).

- **2.3.1.3** Nos filtros passa baixa com uso de uma bobina em série com o circuito, a equação do valor desta bobina será de:

$$L \pi f Z,$$

onde

L = indutância em henrys;

f = frequência de corte do filtro;

Z = impedância do circuito (*fig. eq07*).

- **2.3.1.4** Os filtros passa faixa são o resultado de um determinado tipo de associação entre capacitor e bobina, que faz com que em determinadas frequências não sejam cortadas nem por um, nem por outro.

Suponhamos um filtro passa alta com uma frequência de corte de 550 Hz, e um filtro passa baixa com uma frequência de corte de 500 Hz. Se eles forem associados, as frequências abaixo de 500 Hz serão cortadas por um, enquanto que as acima de 550 Hz serão cortadas por outro. Isto é, o resultado é um filtro passa faixa. Há varias formas de associar capacitores e bobinas de forma a construir um filtro passa faixa, das quais uma das mais simples é a mostrada abaixo (*fig. eq08*):

$$L_1 = Z / 2\pi (f_1 - f_2)$$

$$L_2 = (f_2 - f_1) Z / 2\pi f_1 f_2$$

$$C_1 = (f_2 - f_1) / 2\pi f_1 f_2 Z$$

$$C_2 = 1 / 2\pi (f_2 - f_1)Z,$$

onde

f₁ = frequência de corte grave;

f₂ = frequência de corte aguda;

Z = impedância do circuito.

- **2.3.1.5** Os filtros rejeita faixa seguem mais ou menos o mesmo raciocínio dos filtro passa faixa, mas vão pelo caminho contrário. Eles funcionam como dois filtros, um passa baixa, outro passa alta, que só conseguiriam barrar uma região de frequências quando ambos estivessem funcionando. Quando um só estivesse funcionando, o outro funcionaria como um curto-circuito (ver *L.7.1*), ou seja, quando as frequências fossem barradas por um filtro elas passariam pelo outro. O esquema abaixo representa um filtro rejeita faixa (*fig. eq09*):

$$L_1 = (f_2 - f_1) Z / 2\pi f_2 f_1 ;$$

$$C_1 = 1 / 2 \pi Z (f_2 - f_1);$$

$$L_2 = Z / 2 \pi (f_2 - f_1);$$

$$C_2 = (f_2 - f_1) / 2 \pi f_1 f_2 Z.$$

(os termos seguem os mesmos do verbete 2.3.1.4).

● **2.3.2** O filtro ativo tem várias vantagens em relação ao passivo. Em primeiro lugar, como o nome indica, ele age ativamente sobre as frequências. Isto é, pode não só bloquear frequências, mas também amplificá-las (ver 1.10). O uso de elementos ativos também diminui a necessidade de vários capacitores ou bobinas, que são necessários em filtros passivos de alta precisão para controlar várias irregularidades próprias de seu funcionamento (como, por exemplo, a impedância variável com a frequência [ver 1.8]). Isto é, os filtros ativos de qualidade ocupam menos espaço que os passivos, e podem eventualmente custar mais barato.

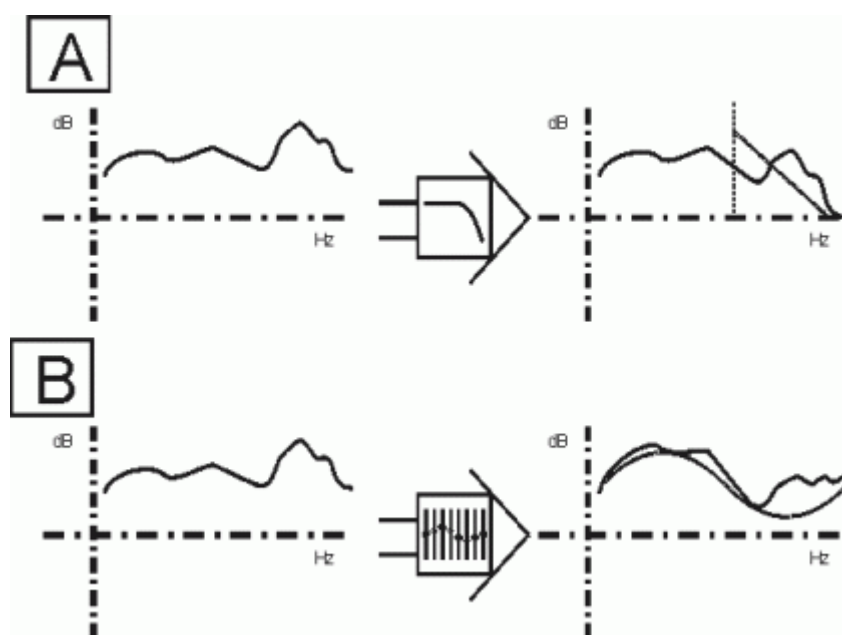
A impedância também é muito menos atingida pelo circuito ao qual é ligada; geralmente é alta na entrada e baixa na saída (ver 6.1.2). Mas também tem lá seus defeitos. O mais evidente é a necessidade de uma alimentação, de uma fonte de energia elétrica para o componente ativo. Isto é, colocar um filtro ativo como proteção de um alto-falante faz com que ele tenha que ter uma bateria ou uma tomada para funcionar. Essa necessidade de alimentação também faz com que entre um novo elemento elétrico no circuito (circuito — ver 1.6), que pode não ser exatamente como devia. Ou seja, os filtros ativos são mais propensos a causarem "barulhos", como chiados ou coisas do gênero. Além disso, os componentes deste tipo de filtro tendem a ter uma resposta de dinâmica menor (diminuem a faixa de intensidade aceitável de sinal, ou seja, ignoram sons fracos ou distorcem sons fortes), e terem uma menor durabilidade.

- **2.3.2.1** Um tipo particular de filtro ativo é o chamado crossover. Ele é um aparelho usado especialmente para dividir as frequências apropriadamente dentro de um sistema de vários tamanhos de alto-falantes. Geralmente os crossovers são vendidos para sistemas de três ou quatro frequências, e funcionam como vários filtros passa faixa, onde cada faixa representa a região onde determinado tamanho de alto-falante trabalha. O sinal entra todo por uma entrada só, é dividido em vários, cada um ocupando uma faixa de frequência, e sai por várias saídas, uma para cada tamanho de alto-falantes. Um bom crossover tem controles para determinar as frequências de corte e às vezes um controle de volume para cada saída (para maior detalhes, ver 5.5 e 6.1.7).

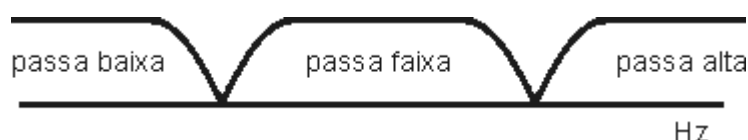
◆ **2.4** Um equalizador é um aparelho formado por um conjunto de filtros, usado para mudar as frequências de um sinal. Ele geralmente é equipado com vários controladores de intensidade, um para cada frequência. A variação destes controles variara a intensidade de determinadas frequências dentro do sinal (ver 2).

- **2.4.1** Há dois tipos básicos de equalizador (*fig. eq10*). Um é o paramétrico, com vários potenciômetros (aqueles controles redondos de volume), um para cada filtro de frequência, e botões aonde você escolhe a frequência e o Q (ver 2.2.4) onde cada um irá trabalhar. Isto é, a frequência onde cada controle atua é variável. É geralmente o tipo de equalização encontrada em mesas de som. O outro tipo é o equalizador gráfico, onde vários controles retilíneos (*faders*) são dispostos um ao lado do outro, cada um responsável pelo filtro de uma determinada frequência fixa (não variável como no paramétrico). Neste equalizador a posição dos vários *faders* forma uma linha que será igual ao gráfico do espectro de da onda do sinal de saída em relação às frequências (espectro - ver II.4.1). Assim, o equalizador gráfico permite "visualizar" o resultado da equalização, o espectro resultante.
- **2.4.2** Outro detalhe importante é o parâmetro referente ao espaço que separa a frequência de um controle da outra. Há equalizadores de uma oitava (se um controle qualquer trabalha na frequência de 400 Hz, o imediatamente mais agudo trabalhará na frequência de 800 Hz. Isto é, um controle será sempre o dobro de frequência mais agudo do que o imediatamente mais grave), equalizadores de 2/3 de oitava etc. É recomendável para um equalizador de palco, pelo controle rigoroso exigido em assuntos como o controle de microfonia, o uso da maior precisão possível. Geralmente são usados equalizadores de 1/3 de oitava na sonorização de palco.
- **2.4.3** Ainda há um terceiro aspecto importante no qual um equalizador pode variar. Ele pode ser um equalizador passivo, capaz apenas de cortar frequências (do tipo "*cut*"), ou ser ativo, podendo não só cortar frequências mas também amplificá-las (do tipo "*boost and cut*") (ver I.10). Estes dois tipos têm cada um uma legião de defensores que não cansam de apontar defeitos no tipo oposto. Os defensores do equalizador *cut* afirmam que as vantagens de uma possível amplificação de frequência são ilusórias, e tendem a piorar o funcionamento de um sistema mais do que melhorá-lo. Essa amplificação pode, por exemplo, reforçar frequências que irão sobrecarregar os amplificadores, ou tentar corrigir defeitos dos alto-falantes, resultando numa resposta menos linear e perda de qualidade. Os defensores do *boost and cut* rebatem dizendo que um equalizador *cut* ligado a um pós-amplificador de seu sinal (ver 4) pode levar aos mesmos resultados, sem ter as vantagens do b-c. Mas a característica que mais prevalece geralmente é que os equalizadores b-c usam componentes ativos, e por isso têm a tendência de serem mais barulhentos (ver 2.3.2). Esse fator em especial tem favorecido a escolha de equalizadores passivos para palco. Além disso a maioria dos analisadores de frequência usados para a correção de frequências em ambientes (ver 6.2.3.1) levam em conta o uso deste tipo de equalizador.
- **2.4.4** Um equalizador funciona como a "cereja do bolo" de um sistema. É o aparelho que possibilita ter o maior número de nuances dentro de si, aumentando o grau de delicadeza de seu ajuste. Por isso a escolha de um equalizador deve recair num aparelho de alta qualidade, com baixo nível de ruído, baixo nível de distorção e impedâncias próprias para o circuito ao qual ele vai ser ligado (para maiores informações sobre impedâncias apropriadas ver 6.1.2). Procure usar também, para sonorização, equalizadores com controles bem precisos, de 1/3 de oitava e um bom nível de queda (ver 2.2.4, 2.4.2).
- **2.4.5** Finalmente, convém lembrar que um equalizador não passa de uma série de filtros ligados entre si. A resposta de cada um dos *faders* (ver 2.4.1) portanto é igual a de um filtro comum. Uma característica básica dessa resposta é a forma como se comporta a variação da banda de passagem, exemplificada na *fig. eq11b*. Como se pode ver, a variação na intensidade do corte no filtro não varia

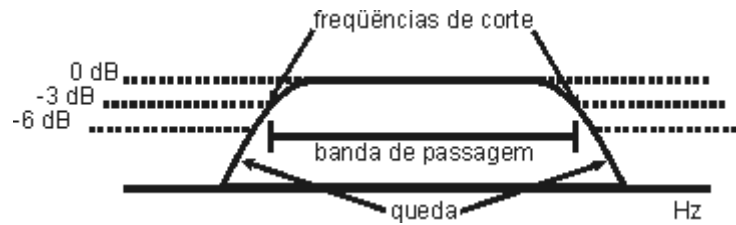
a queda (ver [2.2.4](#)). Deve-se levar isso em conta na equalização, pois um corte em uma frequência pode interferir desagradavelmente nas vizinhas. A [fig. eq11d](#) mostra um corte errado da frequência de 550 Hz. A atenuação máxima nas frequências 500 Hz e 630 Hz fez com que suas bandas de passagem (determinadas na figura eq11a) se cruzassem imprópriamente, causando um sinal distorcido (ver [6.1.5](#)) e não cortando a frequência de 550 Hz. Essa forma de onda não será visível na curva dos controles de um equalizador gráfico, mas será o resultado real. Por isso é bom levar isso em conta numa equalização. Geralmente os equalizadores têm desenhadas no painel as formas da banda de passagem de cada frequência (como na [fig. eq11a](#)). Elas dão uma idéia do resultado de cada variação nos controles; por eles, pode-se saber até onde vai a queda de cada *fader*, e assim até onde cada *fader* influi nos demais. O resultado de uma atenuação correta é mostrado na [fig. eq11e](#), com o filtro de 500 Hz no mínimo e os de 400 Hz e 630 Hz mais ou menos diminuídos.



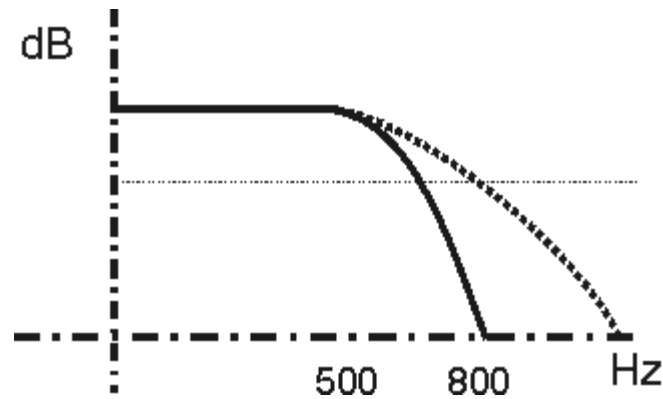
eq01: como um filtro (A) e um equalizador (B) mudam o timbre de um som.



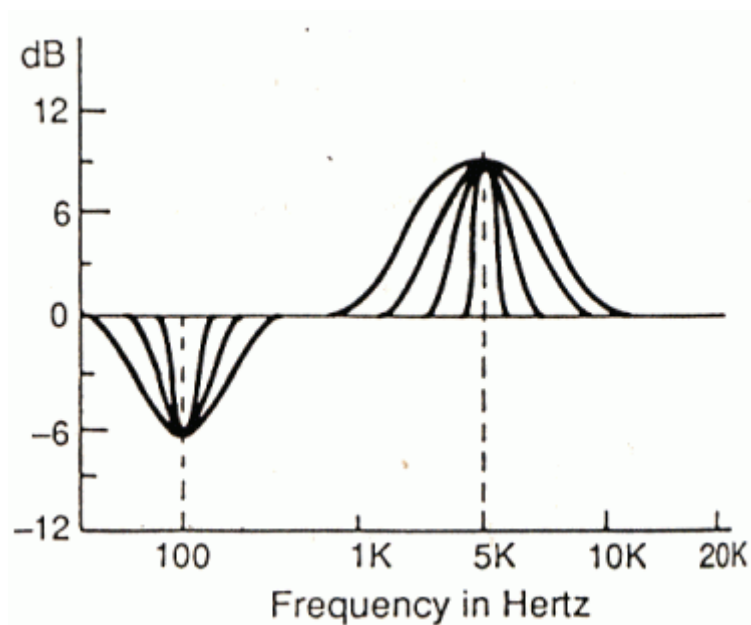
eq02: gráficos de resposta (em termos de amplitude por frequência) para os vários tipos de filtros.



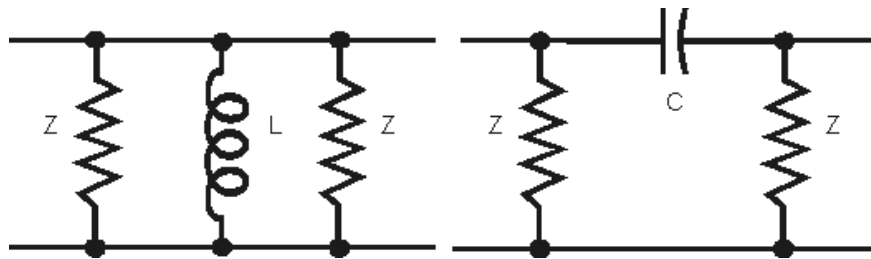
eq03: termos para filtros.



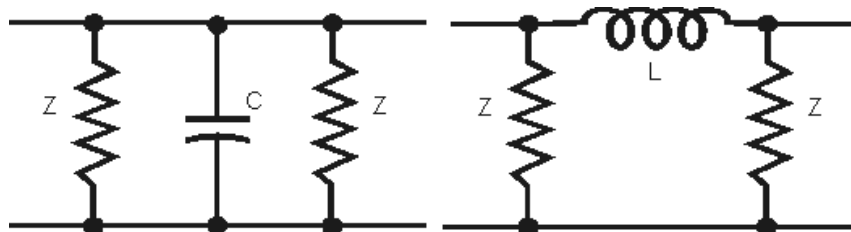
eq04: gráfico comparativo de dois filtros com quedas diferentes. A linha cheia representa o filtro de 24dB/8ª; a pontilhada, o de 6 dB/ 8ª.



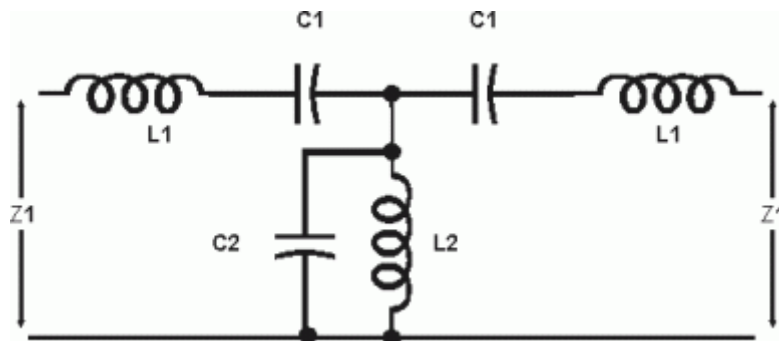
eq05: gráfico de vários valores de Q para dois filtros, um aumentando as frequências, outro as diminuindo.



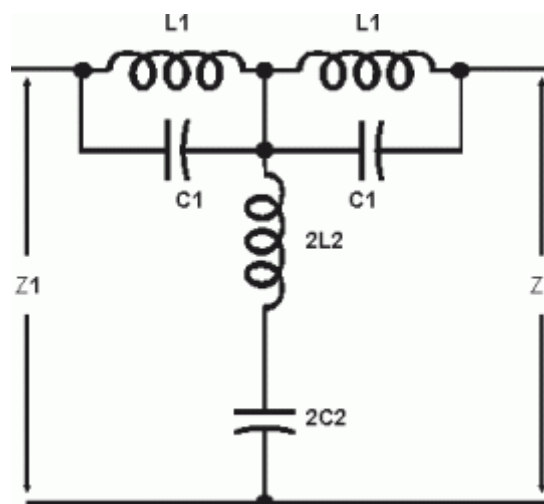
eq06: diagrama de filtro passa alta simples.



eq07: diagrama de filtro passa baixa simples.



eq08: diagrama de filtro passa faixa simples.



eq09: diagrama de filtro rejeita faixa simples.



(a) e'qualizador passivo de alta qualidade

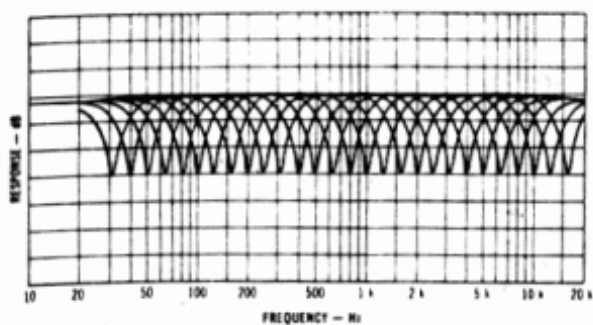


(b) equalizador gráfico de 1/3 de oitava (estéreo)

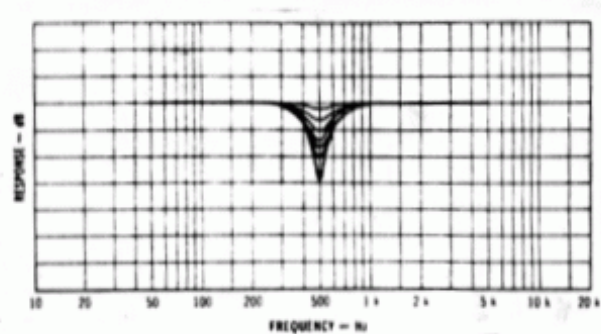


(c) equalizador ativo paramétrico.

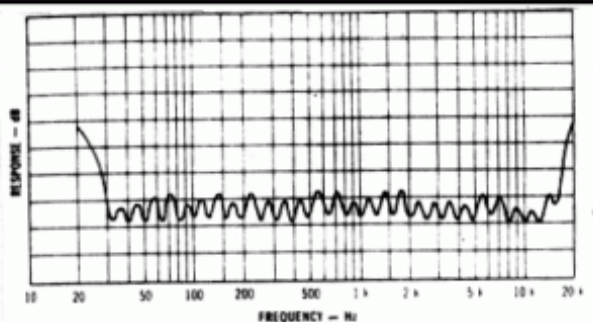
eq10: exemplos de equalizadores.



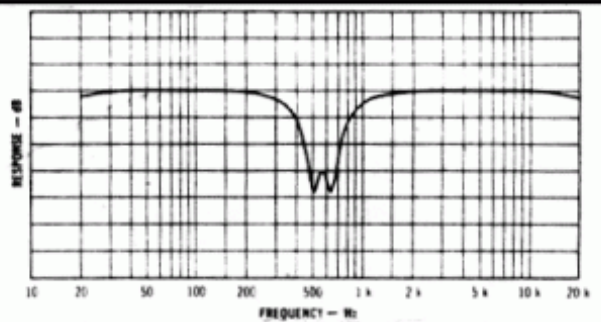
(A) gráfico de resposta de cada um dos 28 filtros de um equalizador de 1/3 de oitava



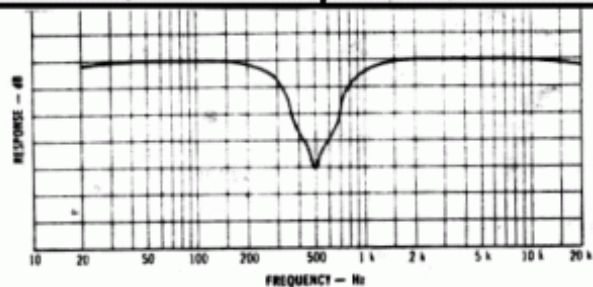
(B) filtro 500 Hz, com a resposta de cada nível possível de atenuação



(C) resposta para todos os filtros com máxima atenuação



(D) filtros 500 Hz e 630 Hz com máxima atenuação



(E) 500 Hz com máxima atenuação, 400 Hz e 630 Hz com atenuação parcial

eq11: equalização.

3 – EFEITOS

3. A eletrônica moderna permite um número infindável de transformações artificiais possíveis de um sinal (ver **I.4**) de áudio. O exemplo mais banal, visto no capítulo 2 (ver), é a equalização, que muda o espectro de frequências (ver **II.4**) característico de um som. Mas além de equalizadores há muitos outros tipos de aparelhos cuja função é mudar o som que sai pelos alto-falantes. A estes aparelhos, e às mudanças que eles introduzem, dá-se o nome genérico de efeitos.

Há vários tipos de efeitos eletrônicos de áudio disponíveis no mercado: phasers (que criam sinais com diferença de fase em relação ao original — ver **II.6**), distorções (que criam um sinal saturado — ver **6.1.5**), flangers etc. Todos eles são geralmente usados para algum ou alguns instrumentos específicos. O efeito de distorção, por exemplo, é quase sempre associado à guitarra elétrica. Difícilmente se acha uma voz com distorção proposital. Por isso eles não serão tratados aqui com profundidade. Mas alguns efeitos costumam ser usados para todos os tipos de sinal, indefinidamente, e inclusive em lugares onde não vão mudar especificamente o som que sai pelos alto-falantes (ver **3.3**). É destes efeitos que trataremos neste capítulo, pela sua utilidade geral. Dentro desse grupo de efeitos, dois merecem ser destacados: o eco (delay, reverber) e o compressor (limitador, expansor).

◆ **3.1 ECO** — Eco é um nome genérico dado a uma série de efeitos (*delay, reverber, ambience, etc.*) cuja função é imitar o som produzido pelas reflexões dentro de um ambiente. Para entendê-los, é necessário primeiro uma introdução à acústica de um ambiente.

- **3.1.1** A base da acústica de ambientes vem do conceito de reflexão do som (ver **II.5**). Dentro de uma sala fechada com paredes de material mais ou menos refletor, quando um som é emitido ele se espalha por todo o ambiente (acompanhe a **fig. ef01**). Para uma pessoa em um ponto qualquer desta sala, o primeiro som a ser ouvido por ela é o som vindo diretamente da fonte sonora (o no 1 na figura). Enquanto isso o som continua se espalhando pela sala, reflete-se nas paredes e vai de encontro ao ouvinte. Algumas poucas reflexões seguem o menor caminho entre a parede e o ouvinte (no 2), enquanto muitas se refletem várias vezes antes de alcançá-lo (no 3). É o conjunto dessas várias ondas que irá formar o som escutado pelo ouvinte: uma soma do som direto (que vem diretamente da fonte sonora) com o som reverberante (refletido). Essa soma dá ao som uma característica única de "vivo", "cheio", própria de ambientes fechados. Para entendê-lo melhor, veja o gráfico da **fig. ef02** e acompanhe a explicação dos vários parâmetros:

- **3.1.2 Som direto** — é som que atinge o ouvinte vindo diretamente da fonte sonora, sem ter sido refletida. É claro que, apesar de muito rápido, o som não chega no ouvinte no mesmo tempo em que foi criado. Ele precisa de um tempo para atravessar o ar. Esse tempo pode ser muito curto; considerando a velocidade do ar como 340 m/s, uma onda sonora levará apenas cerca de 50 milissegundos (ms) para atravessar 20 m.

- **3.1.3 Primeiras reflexões** — é a chegada das primeiras ondas refletidas, que já foram indicadas como o no 2 da **fig. ef01**. São em número de quatro ou cinco e variam de tempo de acordo com a sala, a posição do ouvinte etc.

Nas últimas destas reflexões o campo reverberante geral começa a chegar no ouvinte, e por isso elas já não são escutadas tão separadamente quanto as primeiras. Esta fase da reverberação também é chamada de pré-delay.

- **3.1.4 Reverb** — é a chegada de todas as reflexões dos diversos pontos da sala. Elas chegam em um número muito maior que as primeiras reflexões, e tem um tempo muito menor entre si, quase que infinitamente pequeno, criando um som difuso e "embrulhado".
- **3.1.5 Decay** — é o tempo que leva todo o processo, às vezes também chamado de R60 (o tempo que a intensidade da reverberação leva para diminuir em 60 dB [ver II.3]). É o tempo de decay que determina se uma sala terá pouco nível de reverberação (na gíria da engenharia de som, uma sala "viva") ou muita reverberação (uma sala "seca").
- **3.1.6** É claro que quase sempre o processo é tão rápido que a diferença entre estes passos se torna pouco perceptível. O tempo considerado bom para conversação entre um som direto e a primeira reverberação é geralmente de 40 ms. Para música esse tempo aumenta um pouco mais, ficando em 70 ms. Quanto ao decay, é a finalidade da sala que determina o tempo apropriado. A maioria das salas de concerto tem um tempo de decay ideal em torno de 1.8 segundos.
- **3.1.7** O parágrafo anterior acrescentou um novo fator: a qualidade. De fato, a reverberação pode ser benéfica ou maléfica ao som de uma sala. Pouca reverberação deixa o som muito pobre e sem vida (a gíria da engenharia de som é bem apropriada). Muita reverberação (como a encontrada em ambientes muito grandes, como igrejas) deixa o som muito embrulhado, diminuindo a inteligibilidade (ou seja, não se consegue entender o que o padre está falando). Um nível adequado de reverberação ajuda a inteligibilidade e melhora a qualidade do som, dando-lhe um certo "charme".
- **3.1.8** Um parâmetro importante é a diferença de intensidade entre o som direto e o reverberante. Se o som direto é muito mais alto, quase não se escuta a reverberação. Se não, há o perigo do eco "embolar" completamente o som.
- **3.1.9** Além disso, há ainda o timbre da reverberação. Essa reverberação vai fortalecer determinadas frequências e enfraquecer outras, criando um timbre que pode não ter nada a ver com o do som direto (ver II.4).

(A forma como cada um desses parâmetros deve ser vista é tratada com mais detalhes em 6.2.3.2.)

◆ **3.2 PROCESSADORES DE ECO** — No decorrer do surgimento e do desenvolvimento do áudio surgiram várias formas de simular uma reverberação. Vejamos as principais:

- **3.2.1 A câmara de eco** era a de funcionamento mais simples. Era uma sala fechada com um alto-falante de um lado e um microfone de outro. O microfone captava o som que saía do alto-falante e, junto, a reverberação da sala. Havia uma espécie de biombo móvel atrás do microfone, que absorvia o som. A distância desse biombo ao microfone regulava o tamanho do espaço que reverberava, e consequentemente o tempo de reverberação. A falta de maleabilidade deste sistema é muito clara: além de ser só possível em estúdios de gravação (a não ser que se fizesse uma "sala portátil", o que soa meio impossível), ela podia variar muito pouco os parâmetros de decay, tempo de primeiras reverberações ou o que fosse.
- **3.2.2 O tubo de eco** era um cano especialmente construído com vários microfones dispostos ao longo dele. O som entrava por uma boca do tubo e levava um certo tempo para atravessá-lo. Os

microfones captavam esse som "demorado", e o resultado era um eco. A grande vantagem do tubo de eco era o fato de ser portátil. Mas o som sofria muitas diminuições de intensidade (principalmente nas frequências mais altas) ao longo do tubo, o que requeria grande quantidade de microfones e equalização. Além disso, não havia nenhum controle sobre qualquer parâmetro do som criado.

- **3.2.3** O eco de mola usa uma mola como uma espécie de transdutor (ver 1) mecânico. Há uma bobina envolta em um campo magnético, que funciona com os mesmos princípios do alto-falante (ver 5.1). Mas, ao invés de um cone se movendo e produzindo som, há uma mola que vibra. Ela recebe o sinal numa ponta e transmite-o por vibração até a outra. Mas, como a mola é elástica, a vibração ao chegar na ponta da saída bate e volta em sentido contrário, e fica indo e voltando pela extensão da mola. Cada vez que essa vibração corre a mola e atinge a saída ela manda de novo o mesmo sinal elétrico. Resultado: vários sinais defasados — uma simulação de eco. O eco de mola é extremamente prático e simples. Algumas mesas de som ainda contam com sistemas de eco de mola embutido. As maiores desvantagens desse simulador são a impossibilidade de controle dos parâmetros do eco (que dependem só do tamanho e elasticidade da mola) e a alta sensibilidade da mola, que faz com que o aparelho na qual ela esteja também se torne sensível. Numa mesa de som com um eco de mola ligado, por exemplo, qualquer mínimo toque na mesa faz com que a mola em seu interior vibre e provoque ruído.

- **3.2.4** A caixa de eco era um dispositivo contendo um tape magnético de um só rolo (tape contínuo, cujo fim e o começo são emendados e que corre sem parada), uma cabeça de gravação e várias cabeças reprodutoras. O som era gravado em uma cabeça e a fita levava um certo tempo até passar pelas cabeças reprodutoras e ser lida. Ou seja, o sinal que entrava podia sair com um pouco de atraso. A caixa de eco já dava controle sobre número de vezes de eco (determinado pelo número de cabeças) ou tempo entre cada um (determinado pela velocidade da fita).

- **3.2.5** O primeiro tipo de processador sem partes mecânicas foi um dispositivo eletrônico chamado de Buck Brigade. Nele o sinal era separado em dois. Um deles ia diretamente para a saída (simulando o som direto) e o outro passava por uma série de dispositivos que o atrasavam. Esse tipo de aparelho, também conhecido como *Analog Time Delay*, não tinha mais os problemas comuns a todos os sistemas mecânicos de eco: tamanho obrigatoriamente grande, perda de som, impossibilidade de controle. Ocorre que, quanto mais reverberação é desejada, mais componentes são necessários. E, com isso, maior é a possibilidade de ruídos e distorções causadas por eles (ver 6.1.5), além de aumentar consideravelmente seu preço.

- **3.2.6** O eco digital veio superar em muito todos os outros sistemas de reverberação artificial, pela grande maleabilidade e versatilidade assim como pelo controle extremamente preciso que permitia a cada um dos parâmetros. Nele todo o processo é digitalizado, não há (como nos outros) qualquer sistema análogo. Praticamente todos os aparelhos digitais de eco funcionam do mesmo modo: coletam um sinal, o armazenam digitalmente por um determinado tempo e depois o reproduzem quantas vezes forem necessárias. Os vários processos digitais diferentes pelos quais um eco digital faz isso não nos interessam tanto, por isso não serão discutidos aqui.

- **3.2.6.1** Há alguns títulos básicos no mercado pelos quais se pode ter um eco digital. O reverb, como o nome já diz, cria não repetições nitidamente separadas entre si, mas um campo reverberante difuso. Ele geralmente permite a escolha entre reverberações típicas de vários ambientes (você pode escolher entre o som de uma sala pequena, um teatro de concertos

ou uma catedral, todos esses com subdivisões entre si) e a intensidade do efeito em relação ao som direto. Alguns parâmetros especiais são o *plate* (que cria uma reverberação mais penetrante, como se a sala onde se criasse essa reverberação fosse revestida de metal), o *ambience* (que cria um sinal igual ao de um microfone colocado distante da fonte, um procedimento comum em estúdios de gravação). A diferença sonora entre um reverber e um ambience é sutil, mas perceptível), o *gate reverb* (um reverber que corta bruscamente o efeito depois de um certo tempo como na *fig. ef03*) etc.

O *delay* é parecido com o reverber, mas cria reflexões nítidas (ecos), não reverberações. Ele tem controles para determinar o tempo entre uma reflexão e outra, assim como a quantidade de reflexões (às vezes esse controle tem o nome de feedback). Os melhores delays permitem uma regulação de tempo entre reflexões que vai de 50 ms até quase 3 s, numa quantidade de vezes que vai de uma a infinitas.

- **3.2.7** Considerações sobre o uso prático de ecos digitais serão dadas em **6.2.3.2**, por ser necessário levar em conta outros fatores. Mas alguns valores estéticos básicos já foram indiretamente apontados aqui, e convém serem lembrados. A criação de reverberações artificiais tem como finalidade principal simular um ambiente natural de reverberação. Para isso deve-se seguir aproximadamente a natureza dessa reverberação, que tem uma forma bem definida (*fig. ef02*) e valores de tempo considerados bons (ver **3.1.6**). O uso indiscriminado de eco pode levar a ininteligibilidade e a perda de qualidade do som.

◆ **3.3 COMPRESSORES** são dispositivos que fazem com que um sinal, ao entrar nele, saia com menor força. Limitadores são dispositivos que fazem com que o sinal que entra saia sempre com o mesmo nível, não importa quão alta seja a entrada.

- **3.3.1** O gráfico da *fig. ef04* mostra duas relações de entrada e saída de sinal (ver **I.4**) típicas, uma para os compressores, outra para os limitadores. Note que, na linha típica de compressão, enquanto a entrada aumenta 10 dB a saída aumenta apenas 5 dB, ou seja, o sinal diminuiu de intensidade (dB — ver **II.3**). No gráfico do limitador, para qualquer que seja a entrada a saída permanece constante.
- **3.3.2** Vejamos agora quais são os principais parâmetros de um limitador. *Threshold* é o nível de intensidade a partir do qual o compressor passa a funcionar. Antes dele ser atingido pelo sinal (antes do som ficar suficientemente intenso, em outras palavras), o aparelho não interfere em nada no sinal. Na *fig. ef04* o *threshold* do compressor está apontado como T_C , e o do limitador, como T_L .
- **3.3.3** *Relação de compressão* — é a relação entre o que entra no compressor e o que sai dele, em termos de dB. Uma relação de 2:1 significa que, para um aumento de 2 dB no sinal, a saída vai aumentar só 1 dB (dB — ver **II.3**). A *fig. ef05* mostra o resultado dado por várias relações diferentes. Os valores do gráfico são os valores geralmente dados pelos fabricantes em compressores. Na prática, um aparelho com uma relação maior que 10:1 tem uma saída tão pequena comparada com a entrada que é considerado um limitador.
- **3.3.4** *Ganho antes de threshold* — muitos compressores podem funcionar como amplificadores antes do *threshold* ser atingido. Isto é, amplificam o sinal (ver **I.10**) até um certo limite, depois o comprimem. Advindo desse parâmetro é o conceito chamado de "*rotation point*". Esse é o nível onde a relação entre a entrada e a saída tornam-se invertidas. Antes dele a entrada era menor que a saída. Depois dele a saída é menor que a entrada. A *fig. ef06* mostra o gráfico de resposta de um compressor

com ganho de 10 dB antes do *threshold* (T_C). A partir dele começa a haver uma compressão de 2:1, e a saída é cada vez menos alta em relação à entrada, até o ponto em que esta fica maior (o rotation point).

- **3.3.5** Compressores e limitadores são usados para basicamente duas coisas. A primeira e mais importante é fazer com que o sinal não atinja picos elevados de intensidade que possam causar distorção (ver 6.1.5).

Suponhamos um aparelho que suporte um nível máximo antes de distorcer de 90 dB, e que uma bateria que pode dar até 110 dB vai ser microfonada (dB — ver II.3). Se ela for ligada diretamente no aparelho, nos momentos de maior dinâmica (de maior volume sonoro) ela vai distorcer tanto que será inaudível. Das duas uma: ou o baterista controla por si só seu nível de intensidade (difícil, considerando que isso algumas vezes faz com que todo o jeito de tocar o instrumento tenha de ser mudado), ou é ligado um limitador entre o aparelho e os microfones, com *threshold* de 90 dB, ou menos, o que é melhor por dar uma margem de segurança. O nível de saída não passará de 90 dB, esmurre o baterista o quanto quiser seu instrumento. O som continua o mesmo, convém lembrar. Apenas o volume total mudou.

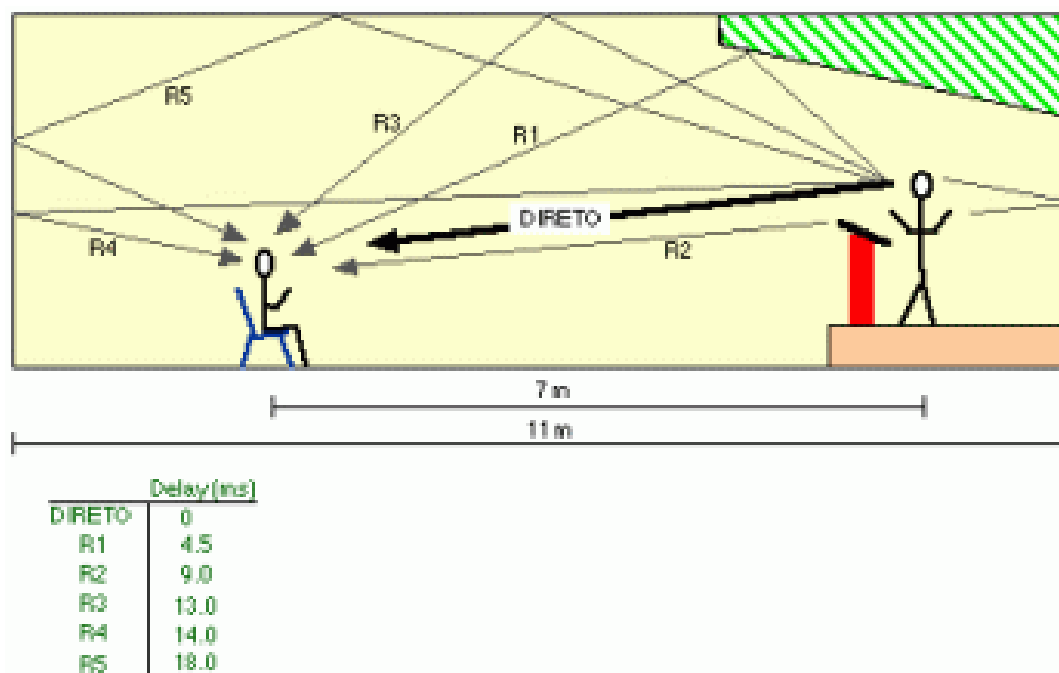
- **3.3.6** Compressores e limitadores também podem fazer com que instrumentos de diferenças de intensidade muito acentuadas possam ser mais controláveis. Suponhamos um instrumento que possa ter níveis de intensidade tanto muito altos, como muito baixos, como, por exemplo, um kit completo de percussão, onde podem conviver instrumentos de níveis tão diferentes quanto atabaques e guizos. Se ajustarmos o volume para valores altos, não escutaremos os instrumentos de valores baixos. Se ao contrário regularmos o volume para valores baixos, os altos vão ficar insuportavelmente altos. O uso de um compressor é uma boa solução. Um modo possível de usá-lo é determinar um valor baixo de T_C e regular o volume para valores baixos. Quando forem tocados guizos, eles serão captados sem problemas. Quando forem tocados atabaques, o compressor fará com que o nível de intensidade total permaneça baixo, apropriado para a regulagem usada. Esse uso é válido não só para uniões de diversos tipos de instrumentos, mas também para instrumentos que tenham diferenças de intensidade muito diferentes, como o piano (ver 1.7.2) ou o baixo, principalmente o elétrico.

- **3.3.7** Em suma, pode-se definir compressores e limitadores como aparelhos que fazem os sons mais fracos ficarem num nível mais próximo dos mais fortes. Qualquer tipo de aplicação que se enquadre nessa tarefa pode contar com a ajuda deles: melhoria de níveis de um microfone sem fio, controle do "peso" de uma guitarra etc.

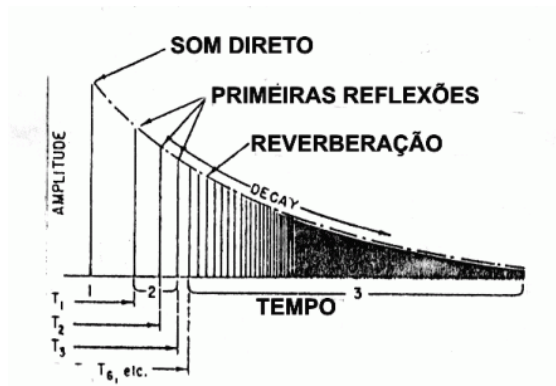
- **3.3.8** Expansores (em inglês *expanders*) são aparelhos que fazem o contrário dos compressores, isto é, ele dá altas variações de saída para poucas variações de entrada. Tudo nele funciona como no compressor, só que invertido. O *threshold* é o limiar a partir do qual o expensor trabalha, mas são os valores abaixo desse limiar que mudam. A relação de expansão também é trocada; agora é o primeiro número que é menor que o segundo. Como é o inverso de um compressor, um expensor também tem como função básica também o inverso: ele faz com que sons fracos fiquem num nível mais distante dos fortes. Por isso a principal função de um expensor é trabalhar como *noise gate*, isto é como controlador dos sons muito fracos que são captados pelo sistema — os ruídos (ver 6.1.5). A fig. ef07 mostra como um expensor pode ser usado como um *noise gate* (ponte de ruído, em tradução literal do inglês): abaixo do nível do som desejado (no caso, o do instrumento) o expensor faz com

que pequenas quedas de nível tornem-se grandes. Assim, um ruído qualquer que antes era 5 dB mais baixo que o instrumento passa a ficar depois da expansão com 20 dB a menos, e dificilmente será audível.

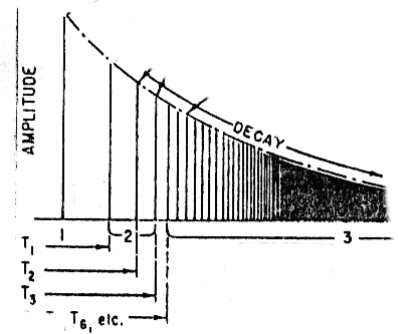
- **3.3.8.1** Outro uso possível do expansor é melhorar o sinal de alguns instrumentos, como por exemplo uma bateria. Os tom-tons de uma bateria, quando não abafados convenientemente, podem ficar soando desagradavelmente depois de percutidos, embora o único som importante seja o do ataque, isto é, o som ouvido no instante da percussão. O uso de um expander de threshold alto faz com que só o nível de ataque seja escutado, e o som ressonante que vem posteriormente seja cortado.
- **3.3.9** Para terminar, um aviso: alguns compressores, limitadores e expansores (os piores) comprimem de forma errada. Quando mais de um instrumento é ligado à mesma compressão, os sons mais fracos podem ser comprimidos junto dos sons mais fortes. Mesmo num único instrumento, quando as frequências graves (que são naturalmente mais intensas que as mais agudas) são comprimidas, elas podem comprimir junto as mais agudas.



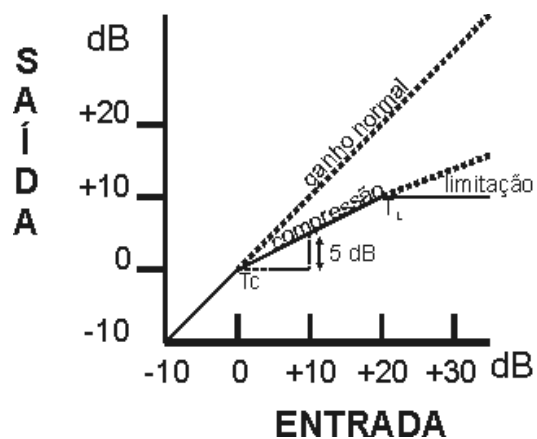
ef01: esquema de acústica de ambientes.



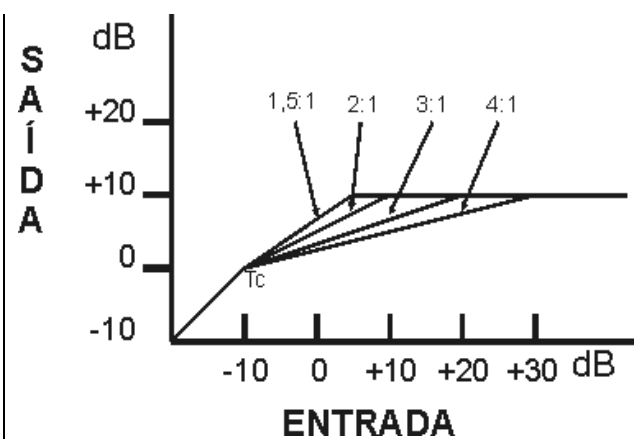
ef02: gráfico típico de reverberação.



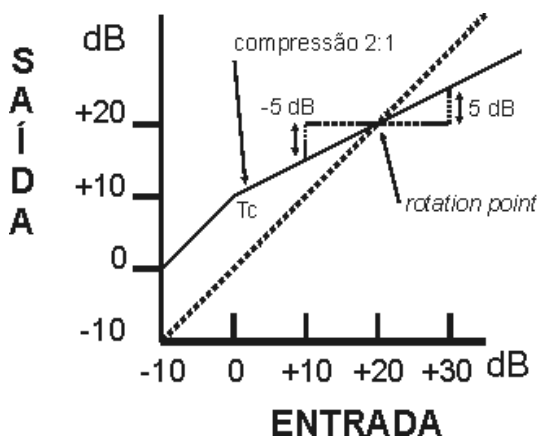
ef03: gráfico típico de *gate reverber*.



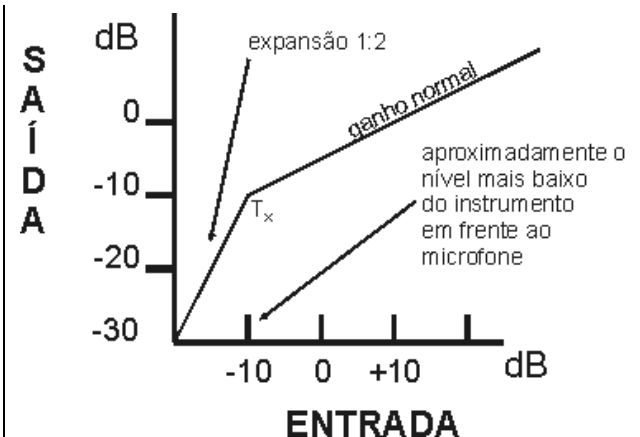
ef04: gráficos de entrada e saída típicos de compressores e limitadores.



ef05: gráficos de entrada e saída para várias relações de compressão diferentes.



ef06: gráfico de entrada e saída para ganho antes de *threshold*



ef07: gráfico típico de *noise gate*.

4 - AMPLIFICADORES

4. Um amplificador é basicamente um aparelho ou circuito que liga uma parte do sistema a outra que é inicialmente incompatível, seja por causa da impedância (dois aparelhos que não casam convenientemente as impedâncias — ver I.9, 6.1.2), seja em termos de energia elétrica (aumentando sinais de um aparelho que seriam muito pequenos para serem usados por outro, como é o caso típico do microfone ligado diretamente a um alto-falante, uma situação inconcebível pela intensidade diminuta que sai do microfone).

◆ **4.1** Na verdade o termo amplificador abrange um número enorme de aparelhos e circuitos, que diferem muito entre si sob qualquer ângulo, seja no modo como funcionam, em características básicas, seja na função que tem cada tipo etc. Este capítulo tratará basicamente destas diferenças. Sendo assim há várias formas pelas quais se podem classificar amplificadores:

- **4.1.1** Quanto à forma de construção — sendo em essência aparelhos que aumentam a intensidade de um sinal (ver I.4), todos os amplificadores usam um componente ativo (ver I.10). Os amplificadores assim podem ser classificados de acordo com o tipo de componentes que usam: amps a válvula, de transistor etc.

- **4.1.2** Quanto à quantidade elétrica sendo amplificada — os amplificadores podem aumentar a tensão (ver I.2) do sinal, a corrente elétrica (ver I.3) que este sinal representa etc. Se for um amp de tensão, ele deve ter uma impedância de entrada alta e uma impedância de saída baixa. Os amplificadores de corrente, pelo contrário, têm uma impedância de entrada baixa e uma impedância de saída alta. Os chamados amplificadores de trans-condutância captam uma tensão na entrada e amplificam uma corrente correspondente na saída. Eles têm impedâncias de entrada e saída altas. Os amplificadores de trans-resistência captam uma corrente na entrada e amplificam uma tensão correspondente na saída. Eles têm impedâncias de entrada e saída baixas.

Na verdade, nesses termos todos não interessa muito que valor está sendo amplificado. O valor que importa mais são as impedâncias de entrada e saída, porque são elas que determinam as impedâncias dos aparelhos que devem ser ligadas na entrada e na saída do amplificador, ou seja, aonde este amplificador deve ser usado.

- **4.1.3** Quanto à relação funcional entrada/saída — os amplificadores podem variar a saída numa relação linear com a entrada (se a entrada aumenta duas unidades, por exemplo, a saída aumenta também duas unidades) ou numa relação exponencial (se a entrada aumenta duas unidades, a saída aumenta quatro). Os amplificadores lineares são a maioria, embora sejam relativamente comuns amplificadores exponenciais.

- **4.1.4** Quanto à função — há amplificadores que mandam o sinal para os alto-falantes, amplificadores que fazem a ligação entre o microfone e o resto do sistema, amplificadores que conectam vários aparelhos entre si etc. Nesse aspecto o termo amplificador pode inclusive mudar o que significa; geralmente dizer "amplificador" é referir-se àqueles em geral enormes aparelhos que ligam uma mesa de som aos alto-falantes, mas mesmo dentro desta mesa há circuitos (ver I.6) que fazem o papel de amplificadores, ainda que não sejam aparelhos separados.

- **4.1.5** Quanto ao ganho — o ganho mede a relação entre o sinal (ver I.4) que entra no amplificador e o que sai, isto é, o quanto esse sinal foi aumentado com a amplificação. Pode ser considerado como o principal parâmetro de um amp; se sua função básica é amplificar, a coisa mais importante é saber o quanto ele consegue fazê-lo.

- **4.1.6** Quanto à forma de balanceamento — o "balanceamento" diz respeito ao pólo negativo do sinal (sinal — ver I.4; pólo — ver I.3). Quando o pólo negativo do aparelho é o mesmo que o negativo do sinal de áudio, o sistema é não-balanceado. Se o contrário acontece, isto é, se o negativo do amplificador e o do sinal são independentes, o sistema é balanceado. Há amplificadores com entrada balanceada, com saída balanceada ou com ambos.

Em geral é extremamente preferível um amplificador balanceado; com negativos diferentes o aparelho não vai misturar o sinal de áudio com as várias correntes que correm por dentro dele, o que causa ruído. Além disso há outro detalhe importante: em sistemas não-balanceados o negativo do sinal e o do aparelho são os mesmos. Isto é, os elementos que mandam o sinal estão indiretamente (ou seja, no pólo negativo, que é neutro) ligados à rede elétrica. A possibilidade de um desses elementos (como um microfone) entrar em contato direto com a corrente ou a tensão da rede elétrica (da tomada) é maior, o que diminui a segurança (para maiores detalhes sobre balanceamento e terra ver 6.1.3).

◆ **4.2** Pré amplificadores — o pré-amplificador aumenta um sinal de tamanho pequeno de forma que ele atinja um nível suficiente para ser trabalhado nos padrões normais do sistema de som. Sua principal aplicação é obviamente a ligação de microfones (que têm uma intensidade de sinal bem baixa) com os outros aparelhos do sistema (mesa de som, equalizador, etc.) (sinal — ver I.4).

- **4.2.1** Um microfone pode ser considerado em muitos aspectos como um gerador de tensão (ver I.11). Em outras palavras, o que importa na saída do microfone não é tanto a corrente do sinal, mas sua tensão (ver I.2, I.3). Portanto o pré-amplificador deve ser um amplificador de tensão, com impedância de entrada alta e impedância de saída baixa. Essa impedância de entrada é mais ou menos dez vezes maior que a do microfone, que é geralmente de 200Ω . Assim, a impedância média da entrada de um pré-amplificador de microfones é de $2K\Omega$. Os pré-amplificadores também são em geral balanceados na entrada, como na fig. am01. Os vários riscos paralelos formando um triângulo representam o terra. Para maiores detalhes sobre balanceamento e terra em entradas de microfone ver 6.1.3.

- **4.2.2** Há vários tipos de pré-amplificadores quanto ao tipo de construção. Os dois principais são os de transformador e o ativo (fig. am02 e fig. am03). A figura em forma de triângulo é por convenção usada para representar amplificadores. Não convém aqui entrar em detalhes sobre seu funcionamento, mas é bom falar das características de cada um:

- ambos são balanceados, e têm melhor sensibilidade (ver 1.1.2) que os modelos não-balanceados;
- o ativo tem uma melhor rejeição a sinais *commom mode* (sinais que aparecem nos dois pólos ao mesmo tempo, isto é, distorção [pólo — ver I.3; distorção — ver 6.1.5]). O pré ativo tem uma rejeição de 100 dB, isto é, o sinal principal (ver I.4) tem que ter mais de 100 dB para o *commom mode* ser maior que o dB. O de transformador tem 60 dB de rejeição;

- os prés de transformador têm um limite de resposta de frequência (ver 1.1.1) de aproximadamente 20.000 Hz. Isso pode ser uma vantagem por cortar interferências de ondas de rádio;
- os prés de transformador têm um nível de ruído na saída menor que os ativos. Apesar disso, seu nível de distorção (ver 6.1.5) é mais alto que o destes últimos.

◆ **4.3 Amplificadores de potência** — são os amplificadores que recebem o sinal (ver 1.4) já captado e trabalhado (passado por mesas de som, equalizadores etc), o amplificam e o mandam para os alto-falantes. São geralmente amplificadores de corrente, com impedância de entrada baixa e de saída alta.

- **4.3.1** Os amplificadores de potência são um exemplo de aparelhos que funcionam melhor quando não aterrados. Isso porque eles trabalham com grandes intensidades elétricas. Assim, se houvesse um fio terra (ver 6.1.3), a quantidade de corrente que atravessaria este fio criaria um nível de interferência de altas frequências (como as de rádio [frequências — ver II.2]) tão grande que elas entrariam no aparelho e provocariam ruído. Na verdade, essa interferência pode ocorrer mesmo sem o terra (embora a existência dele ajude). Para evitá-la pode-se usar filtros passa baixa (ver 2.1) com frequência de corte de mais ou menos 20.000 Hz na entrada e na saída.
- **4.3.2** Os amplificadores de potência trabalham com grandes intensidades de corrente (corrente — ver 1.3). Por isso são bastante suscetíveis a sobrecargas e queimas. O modo mais comum de protegê-los é usando fusíveis, componentes ligados à corrente principal do aparelho. Quando a corrente começa a ficar alta demais, eles se rompem antes dela fazer algum mal ao aparelho, desligando o circuito (ver 1.6). A fig. am04 tem uma tabela para determinar o valor da corrente de rompimento do fusível usado. É só saber o valor da impedância total dos alto-falantes ligados na saída do amplificador e a potência máxima usada (geralmente dada pelo fabricante. Para este cálculo, procure usar um valor um pouco menor que o máximo, para se ter uma margem de segurança), e ligar os pontos.
- **4.3.3** Por último, é interessante estipular a relação entre a potência do aparelho e a quantidade de som que ele irá produzir. Mas isso já mexe com outros valores, além dos ligados a este capítulo. Consulte 6.2.1 para maiores informações.

MESAS DE SOM

◆ **4.4** A função das mesas de som (ou mixers) num sistema de sonorização está ligada ao número de elementos que esse sistema vai sonorizar. Se é só um instrumento que vai ser amplificado basta ligá-lo a um pré-amplificador, depois equalizá-lo, usar alguns efeitos, amplificá-lo e mandar o sinal (ver 1.4) para alto-falantes. Mas num conjunto de música popular, por exemplo, dificilmente se terá apenas um instrumento a ser amplificado. Daí pode-se fazer duas coisas: ou é montado um sistema como o descrito acima para cada um dos microfones (altamente inviável, dependendo das circunstâncias. É só imaginar a quantidade de aparelhos necessária para amplificar uma bateria, que pode usar até oito ou dez microfones), ou junta-se todos os sinais em um único, que será trabalhado e amplificado. É aí que entra a mesa de som. Ela é responsável pela somatória de todos os sinais (mixagem), pelo igualamento das intensidades desses sinais, pelo adição de efeitos comuns a todos os instrumentos etc. Ou seja, ela toma vários sinais diferentes e junta-os em um só.

- **4.4.1** O funcionamento de uma mesa de som é razoavelmente simples. Ela pode ser dividida em três seções básicas, mostradas num esquema simples na **fig. am05**. A entrada é a seção onde as várias fontes são captadas e trabalhadas; cada fonte de sinal (cada microfone) é tratada separadamente. A seção de saída trata do som resultante da mixagem de todos os sinais. Ela tem controles gerais desse som e conexões para a saída do som para o resto do sistema. Às vezes pode haver uma segunda saída, a saída auxiliar, a ser usada em alguma função secundária ou com alguma diferença em relação à principal (por exemplo, um efeito a mais). Essa saída auxiliar pode ter também controles independentes da principal. A seção de monitor controla a forma como ele está sendo usado (monitor — ver **6.1.8**).

- **4.4.2** A seção de entrada de um mixer consta geralmente de muitos recursos para se trabalhar com o som de cada entrada. Cada entrada separada é chamada de canal. Cada canal tem para começar uma conexão, na frente da mesa, onde se liga a fonte de som (conexões — ver **6.1.4**). Ligado a esta conexão está um pré-amplificador (ver **4.2**, **4.1.4**). O ganho (ver **4.1.5**) deste pré pode ter um controle, feito por um potenciômetro (ou *pot*), geralmente no alto da mesa. Esse controle serve para igualar as intensidades na entrada das diversas fontes. Microfones de condensador (ver **1.2.3**), por exemplo, têm sinais mais intensos que microfones dinâmicos (ver **1.2.4**). Após o ganho, uma boa mesa de som tem uma quantidade variável de filtros de frequência, geralmente paramétricos (ver **2.4.1**), que permitem a equalização de cada canal. Também pode estar ligado à mesa um ou mais efeitos (ver **3**). Se isto acontecer, cada canal terá um *pot* que controlará a intensidade destes efeitos no sinal. Esses efeitos podem variar o lugar onde são ligados. Algumas mesas de som ligam os efeitos em um canal depois da seção de equalização (o mais comum), enquanto outras ligam antes. Essa diferença é importante sobretudo porque o efeito pode ou não ser equalizado junto do sinal. Caso o efeito mude com a equalização para melhor, uma equalização antes é boa, e vice-versa.

A maioria das mesas hoje em dia é estéreo, isto é, permite a separação de saídas em direita e esquerda, o que pode ser usado para dar um sentido de profundidade próprio do som estéreo. O "panoramic" (*pan pot*) serve para que cada canal tenha um direcionamento apropriado entre os canais da direita e da esquerda. Com o pan pot regulado para a direita, o som do canal sairá mais do lado direito que para o esquerdo, e vice-versa.

Por último vem um controle maior, mais visível, geralmente na parte de baixo da mesa de som, que controla a intensidade de saída de cada sinal que vai ser mixado. É o fader.

- **4.4.3** A seção de saída pode mixar os sinais de várias formas: os canais (ver **4.4.2**) podem se juntar diretamente num amplificador geral, ou passar por vários pequenos amplificadores responsáveis por um número pequeno de canais. Esses amplificadores por sua vez se juntam em amplificadores maiores, numa sucessão, até chegar ao som de todos os canais mixados. Por isso, é comum que ocorram mixagens erradas ao não se levarem essas diferenças em conta. Esse som mixado tem *faders* para o volume de saída (um para o lado direito, um para o esquerdo) e, às vezes, filtros, para equalização do som mixado. A já falada saída auxiliar também pode ter estas funções.

- **4.4.3.1** A **fig. am06** mostra os níveis de intensidade do sinal e dos ruídos dos componentes eletrônicos em cada passo dentro da mesa de som. No exemplo a), o arranjo está feito de forma a se conseguir níveis máximos para o sinal médio e o de pico, assim como um nível mínimo para ruído. No exemplo b), uma relação errada entre os controles do ganho e do *fader* final faz com que o nível máximo possível caia em 10 dB, um bocado (dB — ver **II.3.2**). Isso porque o

sinal fica excessivamente alto dentro do circuito; o amplificador (ver [4.1.4](#)) não consegue manter a diferença de 20 dB entre o som médio e o limite, e essa queda é mantida até a saída do sinal. No exemplo C, uma mesa mal projetada (com um amplificador que aumenta 60 dB ao invés de 2 de 30 dB) faz com que se perca muito do sinal nas resistências (ver [1.7](#)) dos componentes antes de se reamplificá-lo, e o resultado é uma queda na relação sinal/ruído (a diferença de intensidade entre o som desejado e o ruído criado pelo aparelho). Essa situação poderia ser muito pior com pouco ganho no início. Erros como esses são comuns com mesas de som mal projetadas e operadores sem experiência. Procure saber exatamente como sua mesa reage a diferentes regulagens.

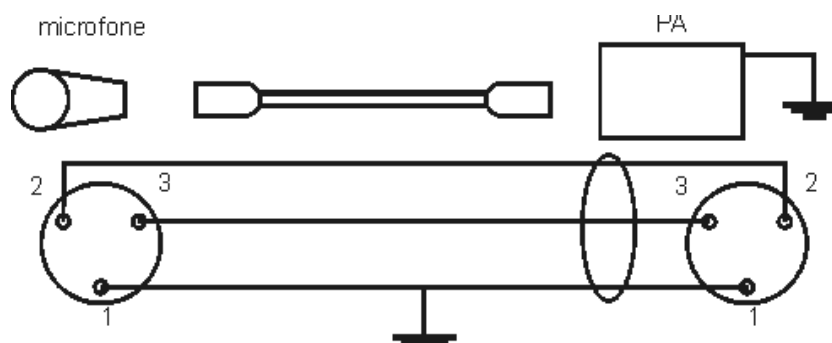
- **4.4.3.2** A seção de saída geralmente também vem equipada com indicadores eletrônicos que medem a intensidade de saída da mesa. Esse indicadores tem a finalidade principal de mostrar se a saída tem um nível apropriado (nem muito alto, nem muito baixo). Há vários tipos de indicadores no mercado, agrupados em algumas "famílias" principais. Os VUs são painéis brancos com um ponteiro apontando o nível de saída de cada instante. São relativamente lentos (cerca de 300 ms, isto é, o indicador mostra o sinal só 300 ms depois do sinal ter passado) e medem não os picos do sinal, mas seu valor médio. Algumas frequências (ver [11.2](#)) alcançam picos muito maiores que o valor médio do sinal, picos esses que, embora não apontados pelo VU, passam para o resto do sistema e podem sobrecarregá-lo. Por isso os VUs são usados apenas para medições subjetivas do nível de saída, não como medida de segurança.

Os indicadores PPM são parecidos com os VU, só que com painéis pretos e com escala logarítmica (variações de mesmo valor - por exemplo, de 2 para 4 e de 4 para 6 - ocupam espaços diferentes na escala). Os indicadores de diodos luminosos (LEDs) formam linhas coloridas representando as diferentes intensidades; quanto mais alta é intensidade, mais diodos se acendem. Ambos são mais rápidos que os VUs e medem os valores de pico, o que os torna mais confiáveis. Deve-se tomar cuidado ao interpretar os valores marcados nas escalas desse medidores. Os "dBs" não indicam propriamente valores sonoros, mas de tensão dentro do circuito. Zero dB, por exemplo, geralmente é o nível de uma tensão de 0.707 V. O valor que essa tensão representa em termos sonoros depende da impedância (tensão — ver [1.2](#); impedância — ver [1.9](#)).

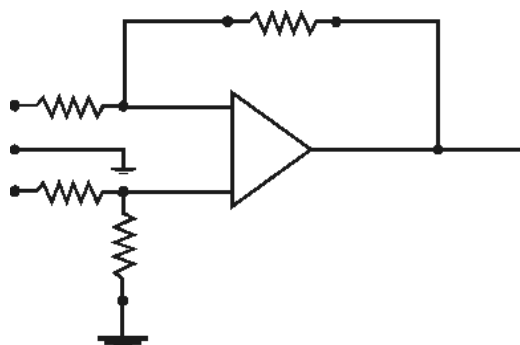
- **4.4.4** A seção de monitor fornece um meio de se escutar o sinal mixado independentemente da saída principal. Ela é importante sobretudo em estúdios de gravação, onde há uma grande quantidade de tipos de sinais que precisam ser ouvidos. É preciso um monitor para que os músicos escutem o que está saindo da mesa de som (*foldback*) e para que o engenheiro de som na cabine também o faça. Na cabine deve-se poder escolher entre os vários sinais que precisam ser escutados: o sinal saindo da mesa, os vários sinais que estão entrando (*pre-fade*, isto é, o sinal de entrada puro, sem as modificações dadas pela mesa) não só em conjunto mas cada um isoladamente, o resultado gravado no tape etc. Por isso a seção responsável pelo monitor, numa mesa de estúdio, é bem larga, com vários pots e chaves liga/desliga. O controle de monitor numa mesa de palco é bem mais simples. Ele pode ser tratado simplesmente como uma saída auxiliar. Para maiores detalhes sobre monitoração ver [6.1.8](#).

- **4.4.5** Para terminar, é preciso citar um tipo relativamente novo de mesa de som, de bastante aplicação em sonorização: o *automatic mixer*. Esse tipo de mesa de som analisa a intensidade do som entrando no microfone de um determinado canal (canal — ver **4.4.2**). Se esse som é menor que um certo limiar, a mesa simplesmente corta o canal em que está ligado o microfone. Quando o som volta a ter um nível razoável, o canal é aberto novamente. Assim, quando um cantor pára de falar no microfone, o sinal é cortado, e no momento em que ele volta a cantar, o sinal volta. São cortados assim sons inapropriados (por exemplo, quando o cantor vira do lado para conversar com a banda), ruídos (como o som da platéia), e fica impossibilitado o início de microfonia (por não haver microfones onde ela possa passar — ver **6.2.4**). Por isso os *automatic mixers* são uma ferramenta útil. Com eles, não é mais imprescindível a presença de um operador. Há *automatic mixers* com limiares fixos ou ajustáveis, direcionais ou não (que usam microfones unidirecionais especiais) etc.

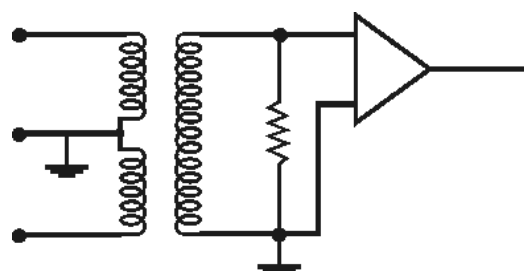
Nos últimos tempos tem-se evitado usar os *automatic mixers* como substitutos de operadores. Isso porque automatic mixers são máquinas; só podem analisar o todo a partir de conceitos rígidos, que são maleáveis no mundo real. Ruídos altos podem fazer o canal ligar-se, e a reverberação de frequências (ver **II.2**) específicas podem criar sinais coerentes (sinais que estão em fase e se somam — ver **II.7**), dando início a um processo de microfonia. Por isso os *automatic mixers* são uma ajuda, mas não podem ser considerados uma solução.



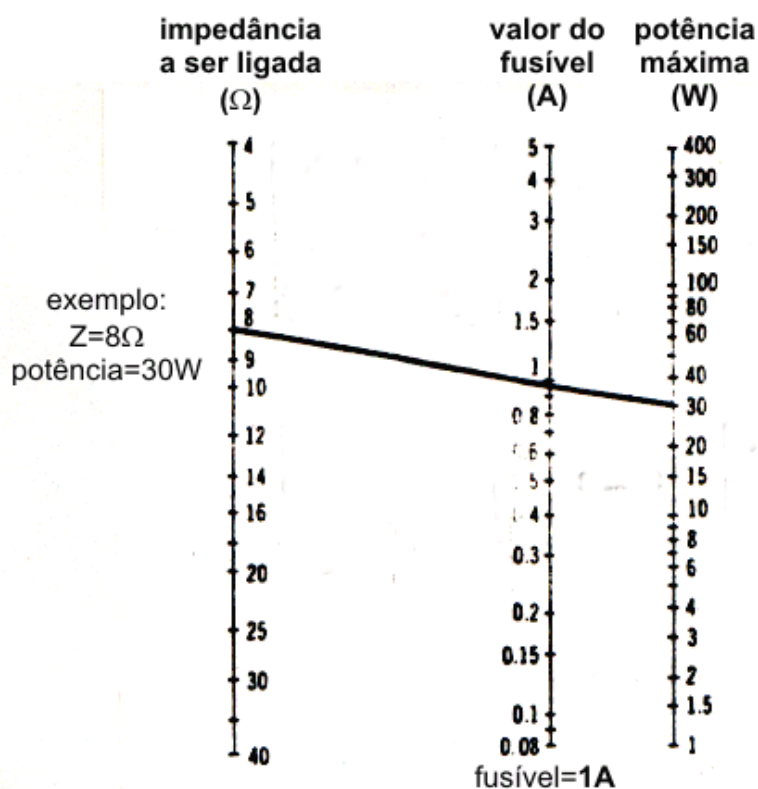
am01: esquema de balanceamento de entradas de pré-amplificadores.



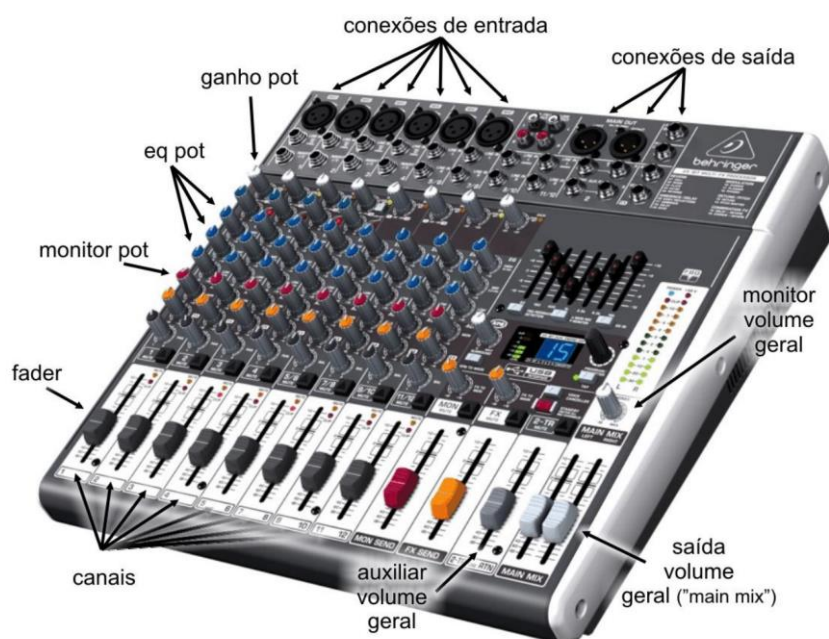
am02: diagrama de pré-amplificador ativo.



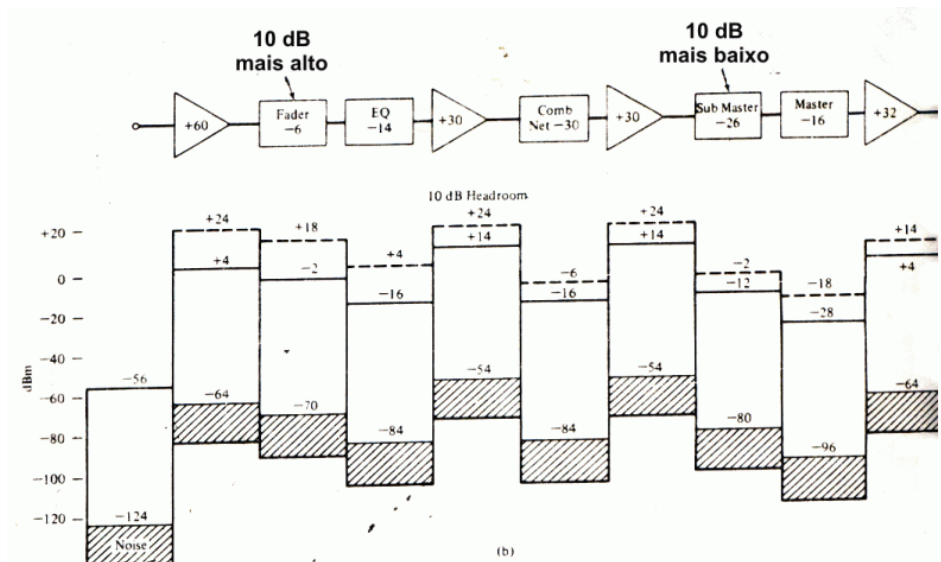
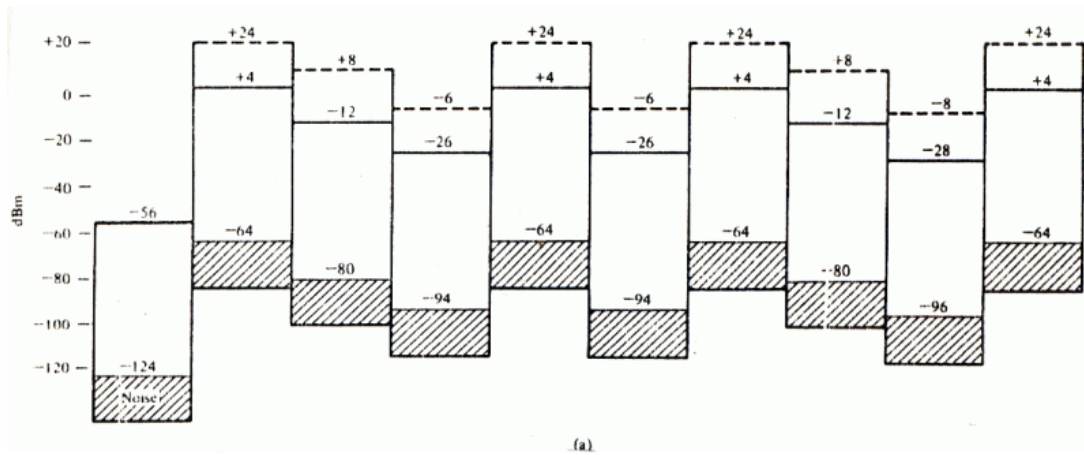
am03: diagrama de pré-amplificador de transformador.



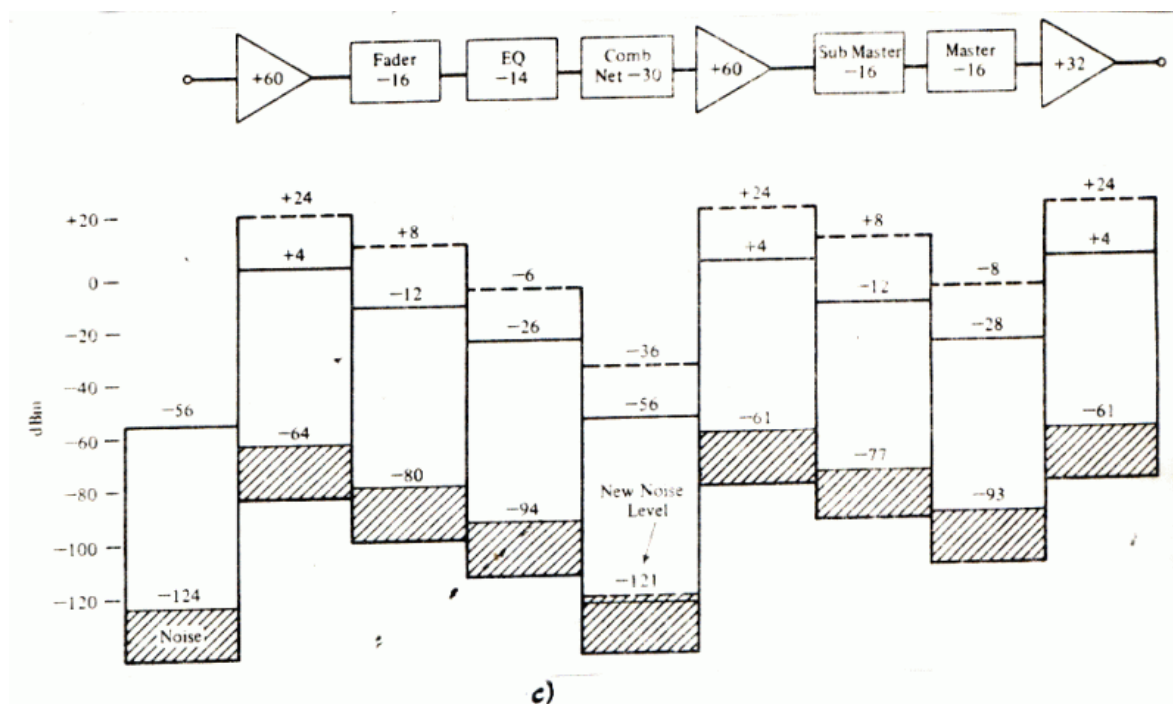
am04: tabela para escolha de fusíveis.



am05: esquema de uma mesa de som.



am06 (ver abaixo).



am06: níveis de intensidade em cada passo dentro da mesa de som. A linha pontilhada marca o nível máximo possível, a linha cheia, o nível normal. O espaço hachurado mostra o ruído. Os números dentro dos símbolos mostram como os circuitos interferem na intensidade do sinal.

a) níveis corretos;

b) o nível máximo está 10 dB mais baixo;

c) o nível de ruído está mais alto.

(as medidas em dB se referem a valores elétricos – ver [4.4.3.2](#))

5 – ALTO-FALANTES

5. Alto-falantes, assim como os microfones, são transdutores. Isto é, transformam energia elétrica em energia sonora. Este capítulo trata dos diversos tipos de alto-falantes, de suas características, das formas como montá-los e de algumas dicas úteis para seu uso.

◆ **5.1** Os alto-falantes têm um sistema de funcionamento idêntico ao dos microfones (ver 1.2), só que invertido. O diafragma agora é responsável pela transmissão do som ao ar, não por sua captação (como no microfone). Da mesma forma, as formas de funcionamento de alto-falantes são correspondentes às dos microfones; há alto-falantes eletrostáticos (com funcionamento semelhante ao dos microfones de condensador), alto-falantes piezoelétricos etc.

Mas ao contrário dos microfones, os alto-falantes dinâmicos são hoje praticamente os únicos usados, pelo preço da construção, pelo espaço requerido e pela resposta de frequência (ver 1.1.1). O modo de funcionamento desses alto-falantes é análogo ao dos microfones dinâmicos (fig. af01): há uma bobina (ver 1.8) no meio de um campo magnético de um poderoso ímã. A passagem de corrente por esta bobina criará também um campo magnético (relação eletricidade-magnetismo — ver 1.5). Dessa forma o ímã exercerá uma força magnética na bobina. Mudanças nessa corrente (o sinal — ver 1.4) farão o campo magnético mudar, mudando a força que o ímã exerce sobre a bobina e fazendo esta vibrar. A vibração é transmitida ao ar pelo diafragma (cone), que termina numa suspensão que é de grande importância na qualidade do alto-falante. Há ainda uma peça, o *spider* (fig. af02), que impede que a bobina vibre verticalmente, fazendo-o só paralelamente ao ímã. Se ela pudesse vibrar perpendicularmente, poderia roçar no ímã, causando distorção e danificando-o.

◆ **5.2** Parâmetros — Há várias medidas associadas aos alto-falantes cuja mudança influi em seu desempenho. Algumas são dispensáveis para o uso prático (como, por exemplo, a maioria das informações referentes à associação ímã-bobina: materiais usados, força magnética etc). Outros, entretanto, são importantes para um bom uso do alto-falante:

● **5.2.1** Potência mínima e potência máxima — A potência mínima é o mínimo de energia, em watts, que ao sair do amplificador produz algum som decente no alto-falante. Abaixo dela não sai nada de inteligível. A potência máxima, pelo contrário, é o máximo valor que o amplificador pode mandar sem destruir o alto-falante. Ambos são importantes não só em termos de segurança (um amplificador de valor inadequado pode destruir literalmente o alto-falante, não só com valores mais altos que o permitido, mas também mais baixos — ver 6.1.7.2), mas também para se ter uma idéia da qualidade do alto-falante. Uma potência mínima baixa, por exemplo, é desejável, já que o alto-falante será mais sensível a sons fracos.

Uma vez que, sendo o sinal de áudio (ver 1.4) um valor variável, a potência também o é, há por isso vários valores que podem ser apontados como parâmetros de potência. Pode-se falar de potência máxima de pico (associada aos picos do sinal), em amplitude máxima (a diferença entre os picos e as depressões mais acentuadas), mas o valor mais confiável é a potência média, ou RMS, que mede o valor médio sendo fornecido pelo sinal.

Suponhamos por exemplo dois alto-falantes, um com potência máxima de 100 W de pico, outro com 100 W RMS. Um aguenta 100 W só em rápidos picos que aparecem vez por outra no sinal, e quando

ligado a uma potência média de 100 W, quebraria. O outro é feito para potências médias de 100 W, e por isso aguentaria tranquilamente esse valor. Para maiores detalhes sobre ligações entre alto-falantes e amplificadores, ver [6.1.7](#).

- **5.2.2** Frequências de corte e resposta de frequência — Alto-falantes têm frequências (ver [II.2](#)) de corte graves e agudas, mais ou menos como um filtro (ver [2.1](#)). Após um certo limite agudo a bobina passa a ter uma impedância (ver [I.9](#)) tão grande que o sinal não consegue mais passar por ela. Abaixo da frequência de ressonância (ver [II.7](#)), por outro lado, o tamanho das ondas sonoras da frequência precisa ser tão grande que o alto-falante não consegue mais produzi-las. Nessa situação pode ocorrer um problema interessante: a oscilação ou sobre-excursão por ressonância. O alto-falante não consegue produzir a frequência, mas tenta. O resultado é uma violenta vibração do cone, que acaba por destruir o alto-falante quando contínua. É um dos principais problemas do uso de alto-falantes, principalmente os para frequências graves.

- **5.2.2.1** Além disso, cada alto-falante, por causa de sua estrutura, reforça algumas frequências e atenua outras. A resposta de frequência é a variação de quais frequências são atenuadas e quais são reforçadas, da mesma forma que a resposta de frequência dos microfones (ver [I.1.1](#)). As frequências de corte e a resposta de frequência são dadas por qualquer fabricante decente. A mais comum (e melhor) forma da resposta ser mostrada é através de um gráfico. Esse gráfico mostra bem claramente quais são as frequências com maior e com menor intensidade. Às vezes a variação de dB (ver [II.3.2](#)) não tem nenhuma unidade especificada; nesses casos pode-se considerar cada quadrado como valendo 10 dB ([fig. af03](#)). Especificações escritas, como "30 a 700 Hz $\pm$ 4dB" (a variação entre as frequências de valor mais alto e as de valor mais baixo são de no máximo 4 dB, com frequências de corte de 30 e 700 Hz) servem para pouca coisa, por serem muito vagas. Alguns gráficos podem dar curvas "suavizadas", que consideram apenas variações de oitava para oitava ([fig. af03](#)). O argumento para seu uso é que o ouvido humano não discerne as variações estreitas de um gráfico real. Mas geralmente essas curvas suavizadas servem apenas para disfarçar picos e cortes acentuados de algumas frequências, que prejudicam a qualidade do alto-falante. Isto é servem só para disfarçar alto-falantes ruins.

Os microfones têm valores análogos a estes. Entretanto, o sistema de um alto-falante é muito maior que o de um microfone e conseqüentemente muito mais bruto, mais tosco. Por isso, enquanto um microfone tem frequências de corte bem separadas e curvas de resposta bem lineares (isto é, trabalha bem tanto nos muito graves quanto nos muito agudos, com um funcionamento linear entre esses dois), é quase impossível produzir um alto-falante dinâmico que produza com a mesma qualidade sons em todas as frequências. Há alto-falantes que são feitos para frequências graves e alto-falantes para frequências agudas, com gradações entre esses dois extremos. Isso nos leva a um terceiro parâmetro:

- **5.2.3** Tamanho — Há várias medidas de tamanho importantes em um alto-falante. O diâmetro do diafragma (dado em polegadas) é o parâmetro básico para determinar em que frequências (ver [II.2](#)) o alto-falante será usado. Alto-falantes de cones grandes (12, 15, 18 polegadas) são próprios para frequências graves, que precisam movimentar grandes volumes de ar; são chamados em inglês de "woofers". Alto-falantes de cones pequenos (3 polegadas ou menos) são chamados de "tweeters", próprios para frequências agudas. Tamanhos situados entre essas duas medidas são "midranges",

feitos para frequências médias. Um sistema de alto-falantes que pretenda produzir sons em todas as frequências deve possuir alto-falantes nesses três tamanhos. As formas de associação entre diferentes tamanhos é vista em [5.5.1](#). Alguns alto-falantes usam dois cones de tamanhos diferentes, um para frequências graves e outro para frequências agudas ([fig. af04](#)). Esse procedimento melhora um pouco a resposta aguda, mas não é considerado hoje em dia a melhor solução.

- **5.2.3.1** Mas há outros tamanhos que também determinam aspectos importantes num alto-falante. Tomemos dois alto-falantes de mesmo diâmetro, sendo um de 300 W e outro de 150 W. Eles terão tamanhos de núcleo diferentes. O maior, de 300 W, será mais pesado, tendo maior inércia. A resposta de frequência deste alto-falante será por isso mais voltada para o grave, com pouco volume no agudo. O outro alto-falante será menor, e terá uma resposta de frequência com mais agudos que o de 300 W. Assim, pode-se dizer que quanto maior o núcleo de um alto-falante, maior poder sonoro e menor resposta para agudos ele terá.

- **5.2.4 Q** — Na definição do verbete [2.2.4](#), Q é o termo usado para determinar a grossura da banda de passagem (ver [2.2.3](#)) de um filtro. Valores altos de Q darão como resultado bandas que abrangem muitas frequências (ver [II.2](#)), com quedas suaves, e vice-versa. Ora, os alto-falantes, quanto à frequência, podem ser considerados filtros passa faixa (ver [2.1](#)), com frequências de corte e com uma região onde ele permite a passagem de som. Sendo assim Q determina a região de frequências onde o alto-falante irá trabalhar. Qual seria então a diferença entre Q e resposta de frequência?

A resposta de frequência é um valor dado pelo fabricante que mede a resposta do alto-falante em condições ideais. O Q relaciona o meio acústico onde o alto-falante está com sua resposta de frequência. Depende, portanto, não só do alto-falante em si, mas também da caixa onde está montado (ver [5.3](#)). Uma caixa com bastante abafamento acústico, por exemplo, terá um Q baixo. Isso fará o alto-falante funcionar como se estivesse abafado, com respostas baixas para muitas frequências. Uma caixa sem abafamento, por outro lado, terá um Q alto: o risco de oscilação em baixas frequências (ver [5.2.2](#)) é alto. Alto-falantes agudos tendem a ter um Q baixo. Alto-falantes graves tendem a ter um Q alto. Pelas desvantagens de valores de Q muito altos ou muito baixos, é usado como convenção hoje um valor considerado ideal, de 0.707.

- **5.2.5 Sensibilidade** — Mede a quantidade de som que o alto-falante consegue produzir para uma determinada potência. É medida em dB/W/m. Assim, um alto-falante de 90 dB/W/m irá produzir um som de 90 dB a um metro de distância dele, com uma entrada de 1 W. Alto-falantes maiores têm uma sensibilidade maior (os bons modelos têm entre 90 e 100 dB/W/m). Alto-falantes menores têm menor sensibilidade (entre 80 e 90 dB/W/m). São necessários dois avisos a respeito de sensibilidade. Em primeiro lugar, ela mede apenas a quantidade de som que o alto-falante pode produzir, não a qualidade deste som. Isso quer dizer que alto-falantes com altos valores de sensibilidade não significam automaticamente alto-falantes melhores, mas tão-somente alto-falantes com mais volume de som. Em segundo lugar, a unidade de medida não está totalmente estandarizada, o que significa que podem haver valores em dB/W/inch, ou dB/2W/m ou qualquer coisa assim. Esteja atento e faça as conversões quando forem necessárias, para não se enganar a respeito do alto-falante.

- **5.2.6 Dispersão** — Mede a direcionalidade de um alto-falante, isto é, qual é o tamanho da área afrente dele que será coberta por seu som. Ela pode ser dada por um ângulo e pela frequência (ver [II.2](#)) relativa a este ângulo. Por exemplo, uma dispersão pode ter um valor de "100°, ± 6dB entre 60

Hz e 200 Hz", o que significa que num ângulo de 100° a partir do centro do alto-falante (50° de um lado e 50° de outro) o nível do som será o mesmo, caindo 6 dB na variação de frequência especificada (porque os agudos são mais direcionais que os graves). Mas o melhor modo de representar a dispersão de um alto-falante é com um diagrama polar (*fig. af05*). Ele mostra em que ângulo e em que distâncias o som é ouvido da mesma maneira, para diferentes frequências. Fora destas regiões, a frequência determinada terá uma intensidade menor (será ouvida menos).

- **5.2.7 Distorção** — Quase nunca é dada pelo fabricante. O nível de distorção do sinal (ver *6.1.5*) em bons alto-falantes é de aproximadamente 1 %, o que é muito comparado com o dos amplificadores, que chega a 0,1 %. Esse nível também varia de acordo com o dB saindo no alto-falante.

- **5.2.8 Impedância** — a maioria dos alto-falantes tem uma impedância média de 8Ω , que pode chegar a 3Ω ou mesmo a 2Ω em algumas frequências (onde a impedância da bobina é menor — ver *I.8, I.9*). Pode-se encontrar associações criando impedâncias de 4 a 16.

◆ **5.3 CAIXAS** — Um alto-falante por si só dificilmente funciona apropriadamente. Isso porque ele pode ser considerado de forma geral como um dipólo acústico, isto é, o som que ele cria é emitido pela frente e por trás do diafragma. O som que sai por trás leva um tempo maior que o som frontal para chegar a um ouvinte localizado na frente do alto-falante (*fig. af06*). As frequências (ver *II.2*) mais altas são tão rápidas que nada de significativo acontece, mas nas mais graves acontece uma defasagem entre os dois sons que provoca uma anulação por sons fora de fase (ver *II.6*). Por isso o som de qualquer alto-falante por si só é muito apagado, muito "sem vida". A solução para isso é isolar de alguma maneira o som de trás do diafragma.

- **5.3.1** O modo mais simples de se conseguir isso é montando o alto-falante em uma parede, que separe a parte de trás da frente (*fig. af07a*). Quanto maior a parede, mais grave é a frequência até onde o isolamento funciona. Esse esquema, em inglês chamado de "*baffle*", apresenta a principal desvantagem de imobilizar o alto-falante. É possível usá-lo em algum tipo de painel móvel, mas esse esquema é pouco prático pelo tamanho requerido pelo baffle. Para frequências abaixo de 70 Hz, por exemplo, seriam necessários painéis de quase dois metros de diâmetro!

- **5.3.2** O alto-falante pode ser montado em caixas abertas atrás (*fig. af07b*), sistema usado na maioria das televisões e rádios. Esses aparelhos precisam usar alto-falantes pequenos, impróprios para frequências graves, e o uso deste tipo de caixa atenua este problema por usar a frequência de ressonância (ver *II.7*) da própria caixa. Mas o reforço dos graves que essa caixa proporciona na maioria das vezes é excessivo, criando um som saturado de graves. A melhora das frequências baixas, por outro lado, é relativa, dependendo muito da ressonância da caixa (abaixo dela os graves ficam ainda mais fracos). Isto é, caixas abertas atrás que não tenham uma frequência de ressonância bem abaixo da do alto-falante (que não sejam bem maiores que ele, em outras palavras) não apresentam nenhuma vantagem.

- **5.3.3** A caixa fechada (*fig. af07c*) envolve completamente a parte de trás do alto-falante, sem aberturas comunicando seu interior com o ar. É também chamada de "*baffle infinito*", por dar isolamento a todas as frequências, mesmo as mais baixas, como se fosse uma parede muito grande. Esse tipo de caixa tem uma interessante interação com o alto-falante. Por se totalmente fechada, o ar em seu interior não tem como escapar quando colocado sob pressão. Assim, quando o som que sai por trás do cone pressiona o ar da caixa, ele não tem onde descarregar esta pressão, e permanece

pressionado. Essa pressão do ar se espalha igualmente pelo interior da caixa, agindo também sobre a parte de trás do cone, o que faz com que o Q da caixa diminua (ver [5.2.4](#)) e com que a frequência de ressonância do alto-falante (ver [II.7](#)) fique mais aguda. Isto é, a frequência de corte grave (a frequência de ressonância) dada pelo fabricante ficará mais aguda se o alto-falante for montado numa caixa fechada. A quantidade desse aumento depende principalmente do tamanho da caixa; quanto maior a caixa, mais espaço o ar tem para se espalhar, e por isso menor é a sua pressão (menos aumenta). Depende também da caixa em si: o material que é feita, se tem algum isolante acústico (ver [II.5](#)) ou não etc. Essa característica é um fator de segurança: ela permite que o som do alto-falante seja cortado antes de alcançar a frequência de ressonância, evitando sobre-excursões (ver [5.2.2](#)). A construção de uma boa caixa fechada deve seguir alguns "macetes" que, se não ajudam o som, pelo menos também não atrapalham. A [fig. af08](#) mostra a forma errada e a forma certa de colocar o alto-falante na caixa. A forma errada é errada por que cria um pequeno tubo na saída do alto-falante, bem pequeno, é verdade, mas suficiente para criar refrações e cancelamento de fases nas frequências agudas. A [fig. af09](#) mostra por sua vez um formato considerado bom para a caixa.

● **5.3.4** A caixa aberta é quase completamente fechada, exceto por uma abertura na frente, próxima do alto-falante ([fig. af07c](#)). Essa abertura é feita de forma a mandar de volta à frente as frequências graves que saem por trás do cone do alto-falante, mas não mais fora de fase com o som frontal, e sim reforçando-o. Por isso elas também podem ser chamadas de inversoras de fase, por colocar em fase um som que estava fora de fase. A abertura tem tamanho e distância do alto-falante calculados de acordo com o tamanho da caixa, o Q (ver [5.2.4](#)) e a frequência na qual se quer reforçar a saída. A caixa aberta provoca o contrário da fechada: um reforço dos graves faz com que a frequência de corte grave (ver [5.2.2](#)) fique mais baixa, o que aumenta a região na qual o alto-falante trabalha. Ou seja, o alto-falante pode agora dar notas graves que ele antes não podia. Além disso a resposta de frequência fica muito mais linear. Essas são as duas principais vantagens da caixa aberta em relação à fechada. As desvantagens estão relacionadas com a falta de abafamento que existe nas abertas. A comunicação com o ar aumenta o Q; com um Q maior, há um maior perigo de oscilação na frequência de ressonância. Resumindo, um alto-falante numa caixa aberta dá mais graves que uma caixa fechada, mas é mais instável que esta.

- **5.3.4.1** Um meio de controlar o Q de uma caixa aberta é o uso de radiadores passivos nas aberturas ([fig. af10](#)). Ele funciona como um diafragma sem o resto do alto-falante. O som que sairia pela abertura, ao invés de o fazer, faz vibrar o radiador, que transmite o som para a frente do alto-falante. Os radiadores passivos permitem que o som seja mandado sem se comunicar o interior da caixa com o ar do exterior (isto é, sem aumentar o Q), e além disso, resulta num som mais espalhado, numa dispersão (ver [5.2.6](#)) melhorada comparando com a abertura sem o radiador.

◆ **5.4** CORNETAS — Cornetas são basicamente tubos que ligam uma pequena área a uma grande área. Quando associados a um alto-falante, eles fazem com que um diafragma pequeno esteja ligado a uma grande quantidade de ar, o que permite que este alto-falante aumente muito a frequência de corte (ver [5.2.2](#)) onde trabalha. Uma corneta bem feita pode fazer com que um alto-falante aumente sua frequência de corte grave para até 5 oitavas abaixo do normal! A outra principal vantagem da corneta em relação ao alto-falante vem da sua forma de funcionamento. A curva de uma corneta é feita de forma que todo o som produzido pelo alto-falante seja direcionado para um só ponto. Ela concentra a energia acústica. Por isso a eficiência de uma

corneta em relação aos alto-falantes convencionais (quanto à transformação da energia elétrica em energia acústica) é muito grande.

Enquanto os alto-falantes costumam ter uma eficiência de no máximo 10% (isto é, só 10% da energia elétrica aplicada é convertida em som), as cornetas podem atingir valores de até 40% ou 50%. Isto é, com uma corneta se consegue, com a mesma potência, um volume de som muito maior do que um alto-falante normal. Isso a recomenda para sistemas onde é necessário um grande volume de som, como é o caso dos sistemas de sonorização.

A terceira característica mais importante de cornetas é a sua alta direcionalidade. Cornetas têm um índice de dispersão (ver 5.2.6) muito baixo. Concentram toda a energia em uma só direção. Se por um lado isso pode ajudar em problemas como reverberação e controle de microfonia (reverberação — ver 6.2.3.2, microfonia — ver 6.2.4.1), faz entretanto com que se precise de um grande número de cornetas para sonorizar um espaço vasto.

- **5.4.1** Uma corneta está representada na *fig. af11*. A garganta liga a pequena área do diafragma (é claro que aqui o diafragma será um pouco diferente do cone comum — ver 5.1) à grande área da boca. A boca determina a frequência de corte da corneta. Essa frequência terá uma onda com um comprimento quatro vezes maior que o tamanho da boca.
- **5.4.2** A ligação mais simples entre o diafragma e a corneta, como mostrado na figura, é uma câmara de ar com um buraco de tamanho apropriado. Mas essa forma de ligação não dá resultados muito bons. Algumas ondas sonoras podem bater nas paredes desta câmara e voltar, criando anulações por ondas fora de fase em algumas frequências (ver II.6). Além disso o ar dentro da câmara pode funcionar como um abafador, prejudicando o funcionamento do diafragma. Por isso são usadas peças maciças para ligar o diafragma à corneta, chamadas em inglês de *compression drivers*, mas que em português atendem pelo singelo apelido de "*cebolas*". A *fig. af12* mostra diversos tipos de cebolas, todos com diferenças específicas entre si, mas com alguns pontos em comum. Um deles é que elas podem ser usadas como amplificadores do som do diafragma, se colocadas de maneira bem próxima a ele. Mas essa proximidade diminui a capacidade das frequências graves e provoca distorção (ver 6.1.5). A solução para isso é uma garganta maior, com um diafragma maior, mas isso... bom, por aí continua. Estamos entrando agora na construção de cornetas, que não é definitivamente a nossa área.
- **5.4.3** Todas os tamanhos de alto-falantes podem ser acoplados a cornetas. O mais comum é se ver a parte dos *midrange* (ver 5.2.3) sendo feita por cornetas, mas pode se encontrar *tweeters* (com uma boca bem aberta, para facilitar a dispersão) e *woofers* acoplados a cornetas. A *fig. af13* tem um exemplo de corneta simples para graves. Às vezes o tamanho de uma corneta grave precisa ser tão grande que ela seria normalmente impraticável. Usa-se então um modelo de caixa onde a corneta se dobra em si mesma, chamada em inglês de "*folded horn*" (*fig. af14*).

◆ **5.5 USO PRÁTICO** — A primeira coisa que se deve ter em mente no uso de um sistema de alto-falantes é que cada região da frequência (ver II.2) é exercida por um tamanho de alto-falante. Lembre-se que não existem alto-falantes dinâmicos que funcionem em todas as frequências (ver 5.2.2.1).

- **5.5.1** Há duas formas básicas de divisão de frequências entre alto-falantes. Uma usa só dois tamanhos de alto-falantes, um grave, outro agudo. Por isso esse sistema tem o nome inglês de "*two way*". O outro na verdade abrange todos os outros sistemas que usem mais de duas divisões, chamado

de "multi-way". Desses, o mais comumente usado é o de três divisões, para graves, médios e agudos ("three-way"). O sistema *multi-way* é sem dúvida o melhor; o *two-way* faz com que cada tamanho de alto-falante tenha de trabalhar numa quantidade de frequências muito grande, sobrecarregando-o. É claro, como só usa dois tamanhos, o sistema *two-way* precisa de menos alto-falantes, e por isso é muito mais barato.

- **5.5.2** A divisão de frequências é feita com uma série de filtros (ver 2.1) acoplados aos alto-falantes, com frequências de corte (ver 2.2.1) iguais às dos alto-falantes. Por exemplo: suponhamos que um sistema *tri-way* vá empregar *woofers* com uma frequência de corte de 400 Hz, *midranges* funcionando entre 400 Hz e 3000 Hz e *tweeters* para as frequências superiores. Ao *woofer* seria ligado um filtro passa baixa (ver 2.1) com uma frequência de corte de 430 Hz; ao *midrange* seria ligado um filtro passa faixa com frequências de corte de 380 Hz e 3200 Hz; e ao *tweeter* seria ligado um filtro passa alta com uma frequência de corte de 2800 Hz. Dessa maneira os alto-falantes teriam entradas só com as frequências nas quais trabalham, e o resultado seria cada frequência do sinal indo para o lugar certo. Os valores dos filtros são arredondados por causa da definição de frequência de corte em filtros: a frequência na qual o filtro faz o sinal cair 3 dB. Se fossem usados filtros exatamente regulados para 400 Hz e 2000 Hz, essas frequências seriam 3dB mais baixas que as demais, o que criaria "buracos" na resposta de frequências do sistema (*fig. af15*). As frequências de corte de cada sistema dependem de muitos fatores: resposta do alto-falante (é claro que não se vai usar um woofer com uma resposta deficiente a partir de 400 Hz para trabalhar numa região de 800 Hz), número de tamanhos etc. Dois mil hertz é considerada geralmente uma boa frequência de corte num sistema *two-way*.

- **5.5.3** Pode-se usar os dois tipos de filtros (ver 2.3) para divisão de frequências de um sistema. O passivo geralmente é um filtro colocado dentro da caixa, junto ao alto-falante, e o ativo é representado por um aparelho especial, o *crossover*, que recebe o sinal e o divide em várias saídas, uma para cada tamanho de alto-falante. O uso de um ou de outro é determinado por fatores que não são discutidos neste capítulo; para maiores detalhes também ver 2.3.2.1, 6.1.7.

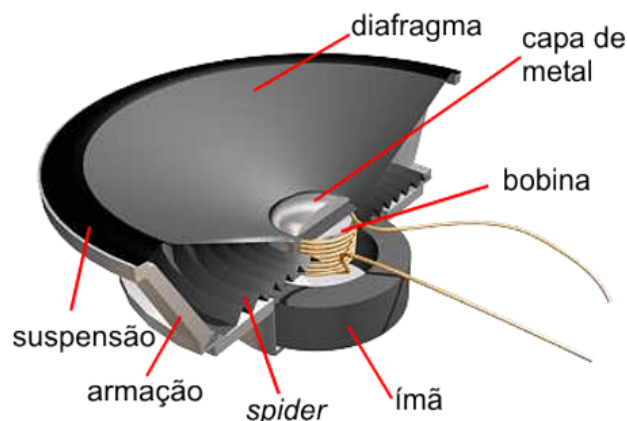
◆ **5.6** A segunda coisa que se deve ter em mente no uso de um sistema é que o som da caixa não depende só dela, mas depende também da interação entre ela e o ambiente onde está. Uma das principais regras em relação a isso é a mudança do nível do som para caixas perto da parede (*fig. af16*). Uma caixa de som (especialmente uma caixa de graves) pode em geral ser considerada como um ponto no qual saem sons em todas as direções. Caixas em uma parede muito comprida (ou no chão) terão metade do total do som refletido. Isso faz com que o nível do som aumente em 6 dB (dB — ver II.3.2). Caixas na junção de duas paredes (ou da parede com o som) aumentam o som em 12 dB. Caixas na junção de três paredes (quina) aumentam o som em 18 dB, o que é um bocado de aumento. A *fig. af17* dá o gráfico da resposta de frequência de um *woofer* (ver 5.2.2) para diferentes posições em relação à parede. Os números das figuras A, B e C que se referem à distância entre a parede e a caixa não são valores absolutos; eles representam relações entre o tamanho das caixas e a distância. Assim, o "1" da figura A não significa um metro, significa que entre a caixa e a parede tem o espaço equivalente à largura da caixa. O "2" da figura significa duas vezes a largura. As diferenças entre as várias posições se dão pelo diferentes níveis de reflexão criarem anulamentos de fase (ver II.6) diferentes. A tabela da *fig. af18* traz valores de posicionamento ideal de uma caixa em uma quina. O valor da distância também é uma relação entre o tamanho das caixas e o da distância.

- **5.6.1** Mas é preciso pensar não só em um alto-falante isolado, mas no sistema como um todo. Você já sabe que as frequências agudas (ver II.2) são muito mais direcionais que as graves. Isto

significa que elas se espalham muito menos. Isto é, quando colocadas perto de uma parede, sofrem pouca reflexão, porque seu som está indo quase todo para a frente. Agora veja a **fig. af19**. Quando posto perto da parede, o alto-falante tem suas frequências graves refletidas, e as agudas não. Por isso, qualquer caixa que possa ser considerada uma fonte de som omnidirecional (que emite som em todas as direções, da forma como por exemplo a maioria dos *woofers* de sonorização faz) terá uma resposta mais grave quando colocada perto de uma parede. Além disso, se forem colocados *tweeters* e *woofers* juntos perto de uma parede, os *woofers* vão encobrir os *tweeters*. É necessário levar isso em conta.

● **5.6.2** Finalmente, é necessário levar em conta não só a energia num sistema de alto-falantes, mas também sua inteligibilidade. Esse fator é prejudicado entre outras coisas por anulação de ondas fora de fase (ver **II.6**). A **fig. af20** mostra o esquema de um problema comum de defasagem de ondas em alto-falantes, principalmente em monitores de palco. Dentro de um certo ângulo, o som de um alto-falante está em fase com o som do outro. A partir do limite onde a onda de um alto-falante é exatamente o contrário da outra, ou seja, onde há anulação de fase, o som fica embotado. Por isso quanto maior o ângulo, isto é quanto mais os dois alto-falantes apontarem para direções diferentes, mais espaço o sistema irá cobrir convenientemente.

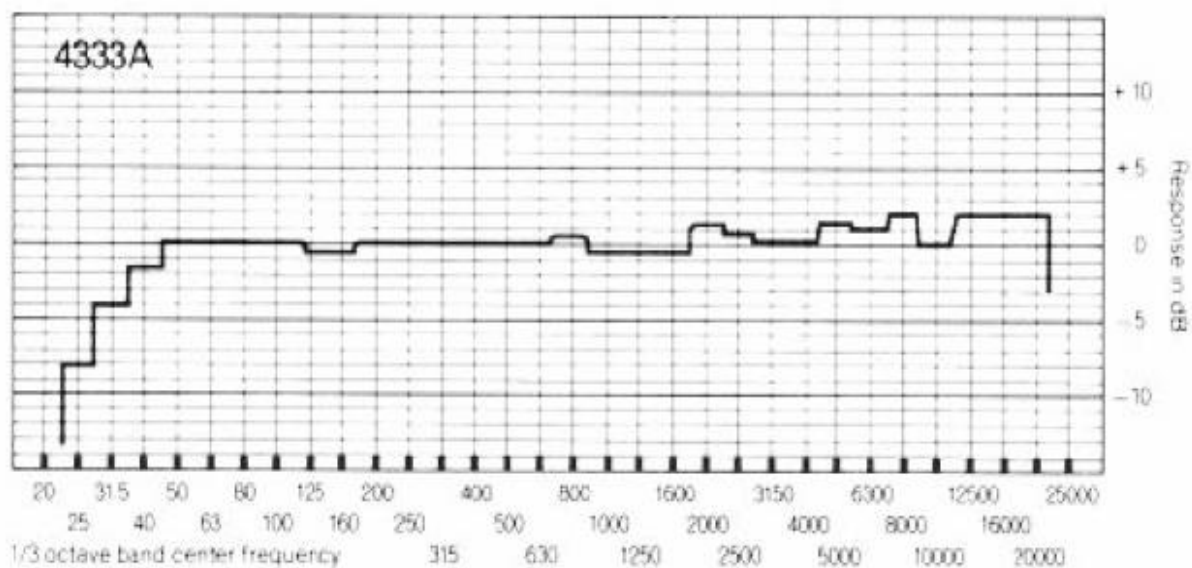
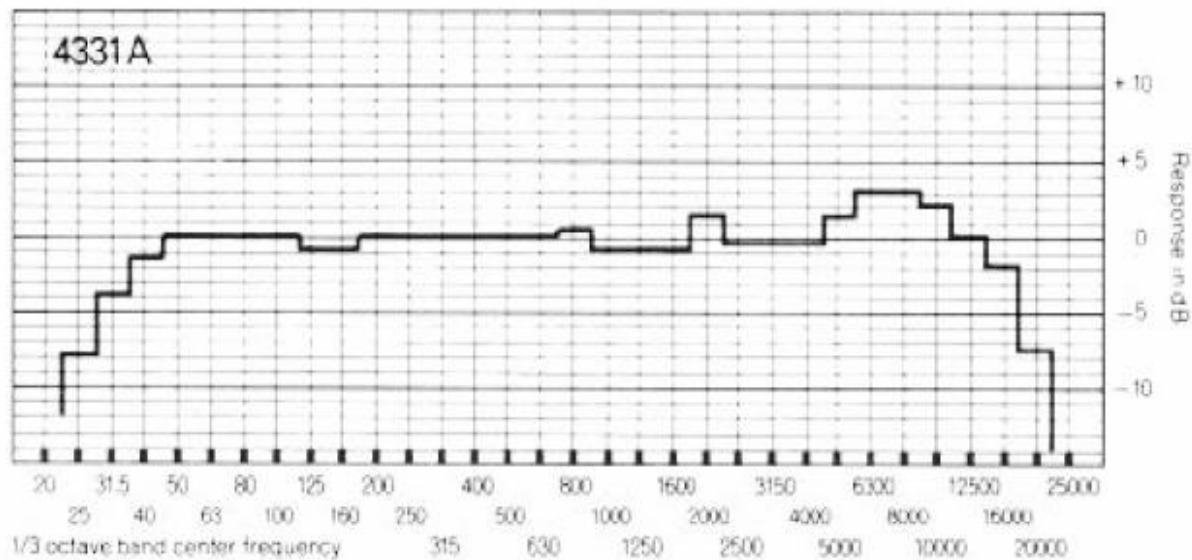
A **fig. af21** mostra de forma prática como diversos tipos de arranjos de caixas produzem anulações diferentes, tendo o sistema então respostas diferentes. Pode-se notar que quanto maior o número de caixas, menos linear é a resposta aguda. Ou seja, de uma forma geral, para um sistema com agudo deficiente é melhor diminuir o volume dos graves do que pôr mais *tweeters*.



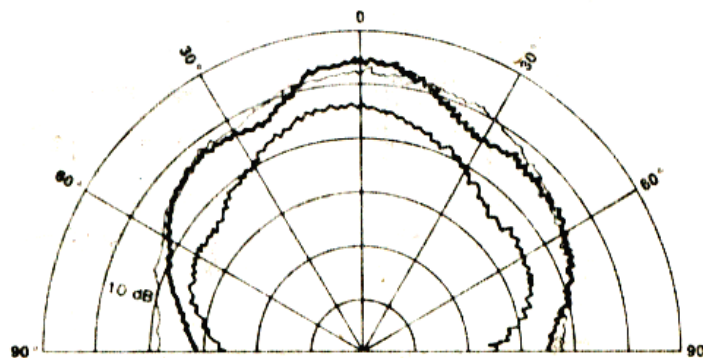
af01: alto-falante dinâmico.



af02: tipos de *spider*.

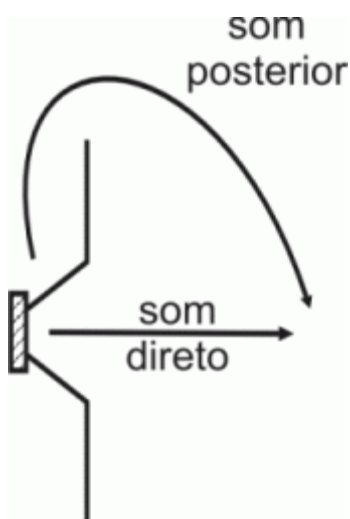


af03: exemplos de gráficos de resposta de frequência em alto-falantes, linear e suavizado.

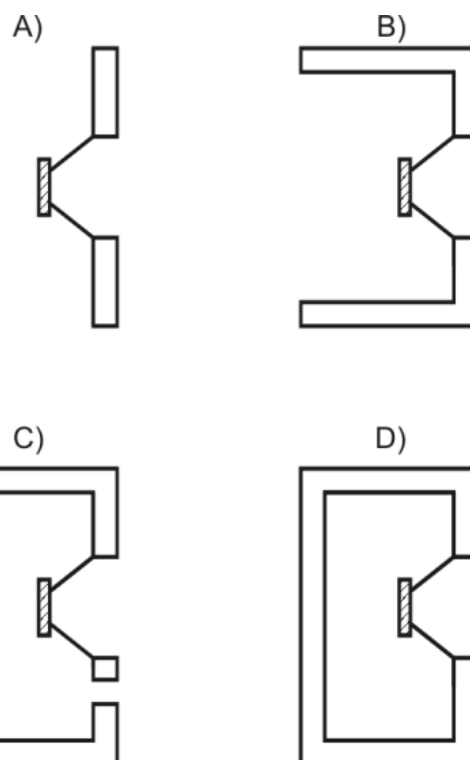


af04: alto-falante com cone duplo.

af05: diagrama polar de um alto-falante.

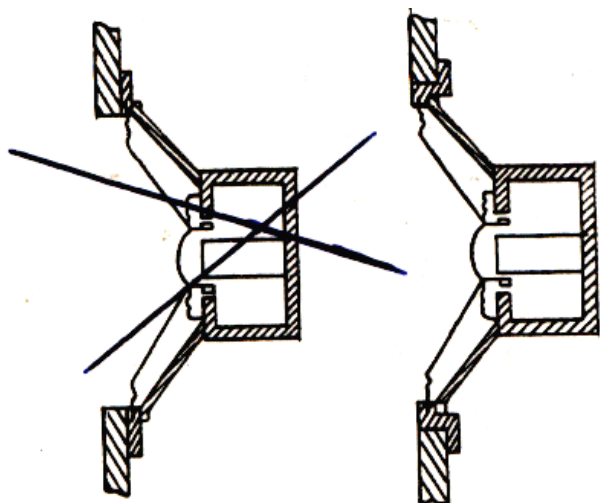


af06: o alto-falante como um dipólo acústico.

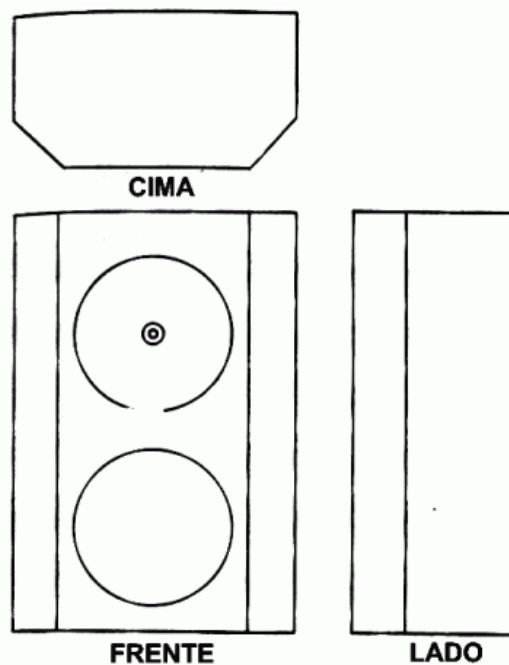


af07: formas de isolamento do som gerado por trás do diafragma:

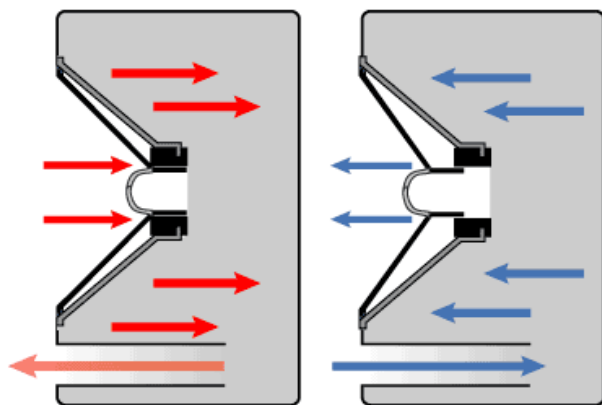
- A) *baffle*;
- B) caixa aberta atrás;
- C) caixa aberta;
- D) caixa fechada.



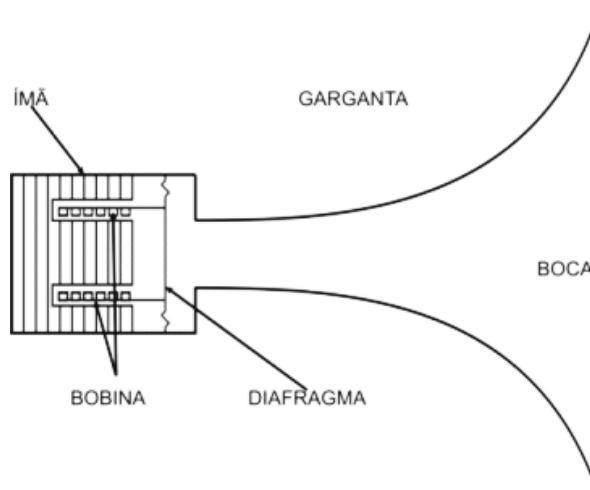
af08: formas de se colocar o alto-falante na caixa.



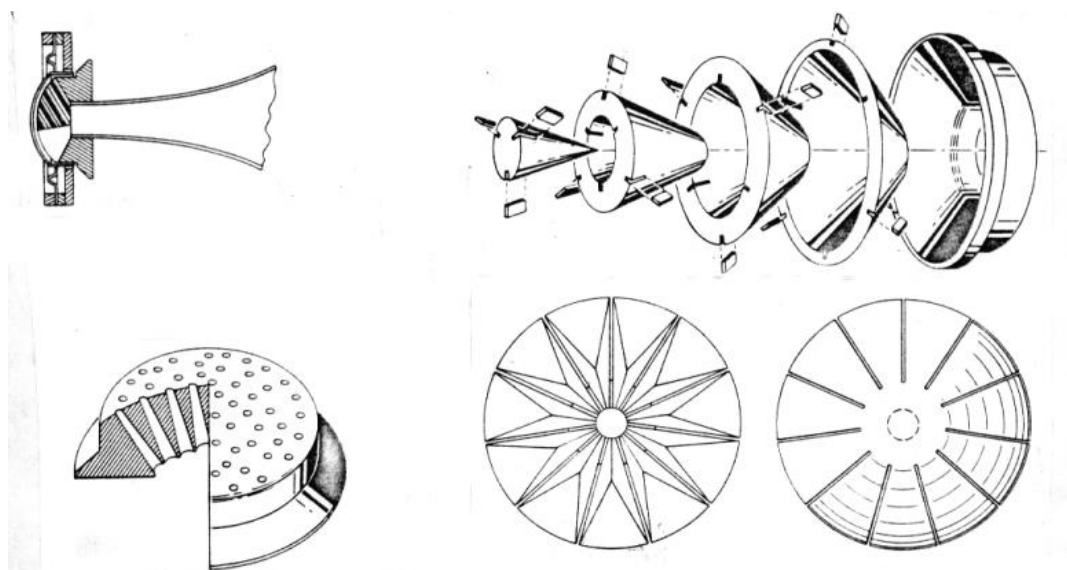
af09: formato de caixas fechadas.



af10: exemplo de radiador passivo.



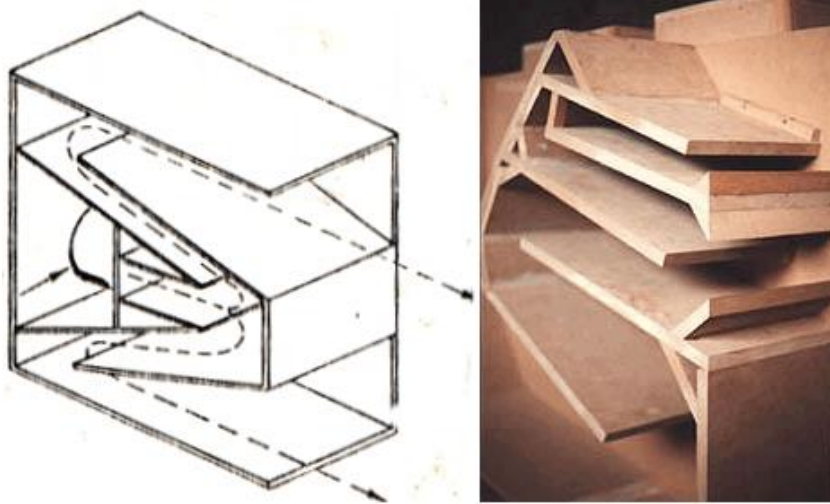
af11: cornetas.



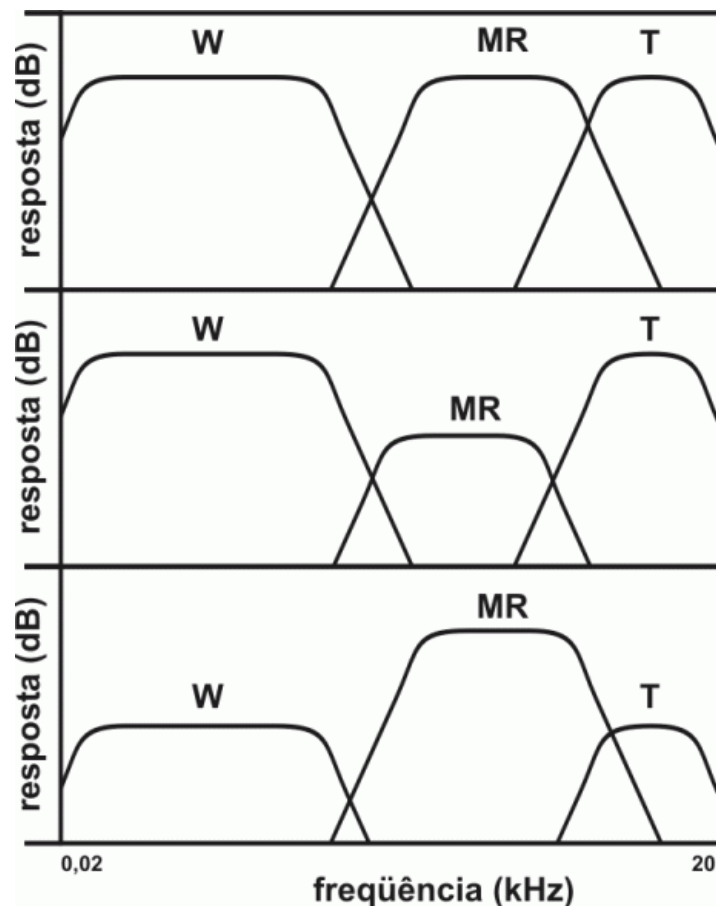
af12: tipos de cebolas.



af13: exemplo de corneta grave.



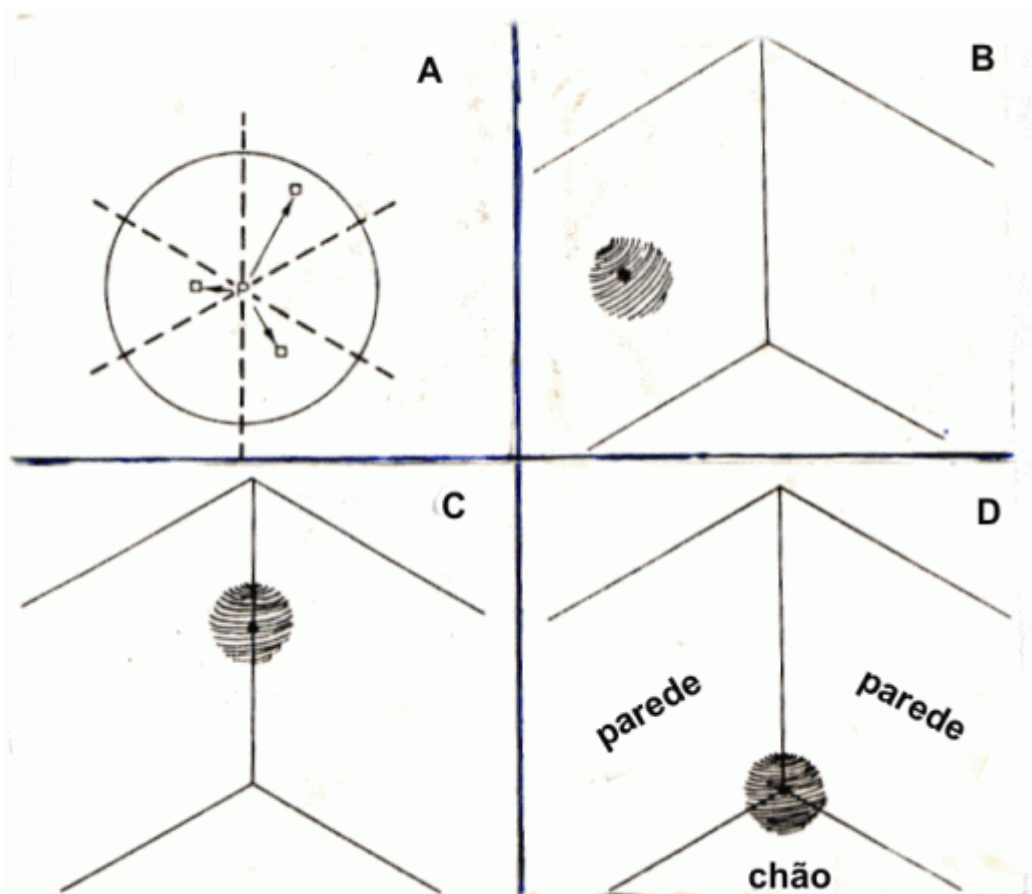
af14: esquema de corneta grave do tipo *folded-horn*.



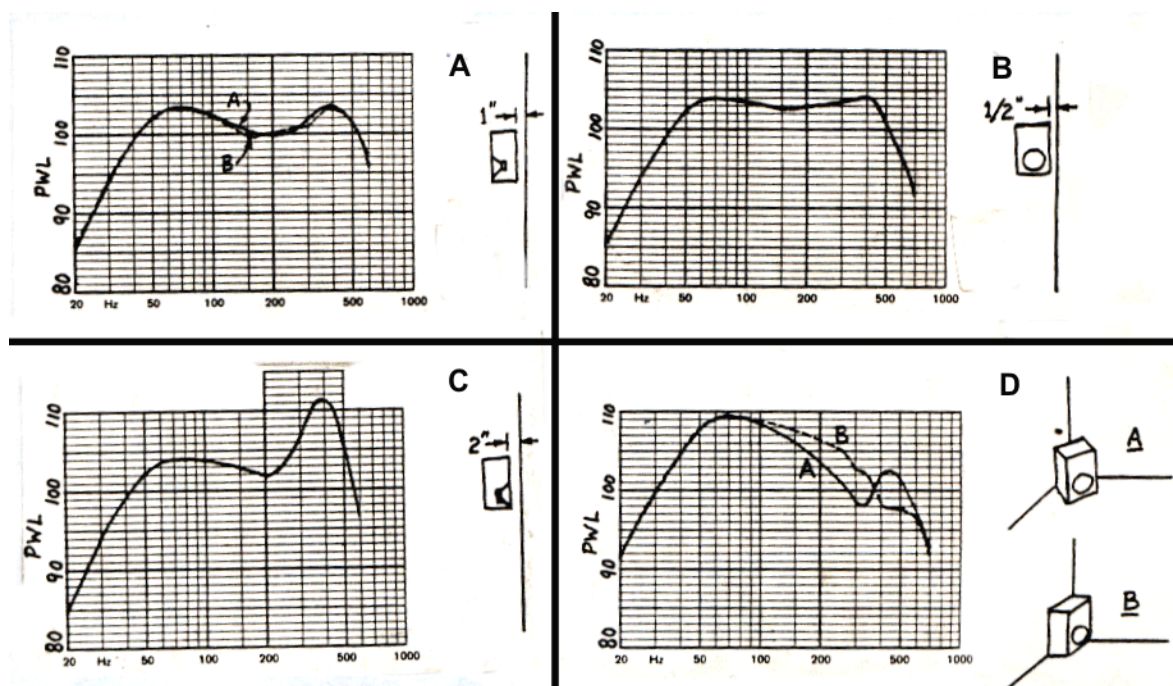
af15: gráficos de resposta para divisões erradas de frequência entre alto-falantes

(W - woofer; MR - midrangers; T - tweeters):

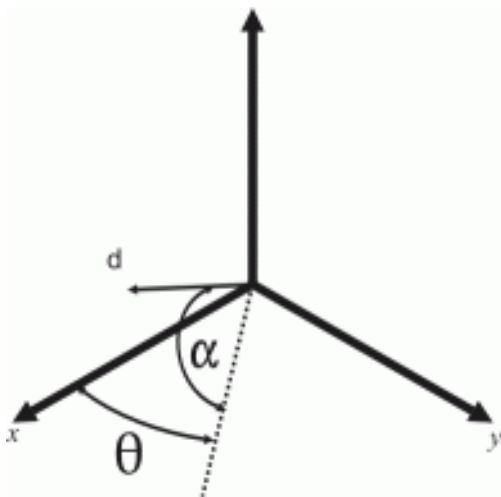
- a) há frequências não cobertas ("buracos" na cobertura) entre as frequências dos alto-falantes, principalmente entre *woofers* e *midrangers*;
- b) *midrangers* ineficientes;
- c) *woofers* e *tweeters* ineficientes.



af16: como um woofer emite som ao seu redor.

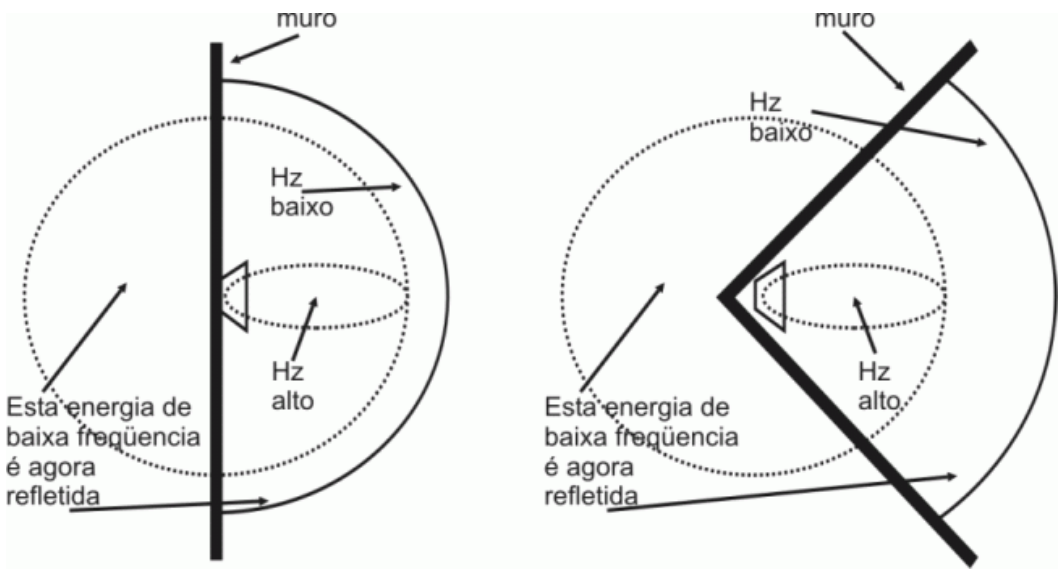


af17: gráfico de resposta de um woofer para diversas posições em relação à parede.

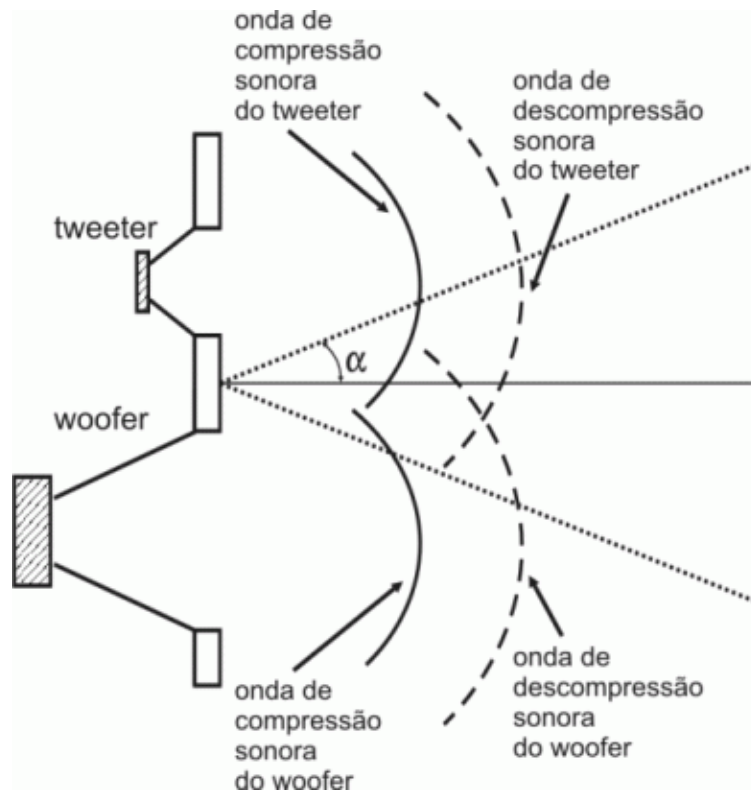


Q do alto-falante	melhor posição		
	θ	α	d
1.414	40°	25°	0,4
1.0	25°	30°	0,4
0.707	20°	30°	0,315
0.5	30°	15°	0,2

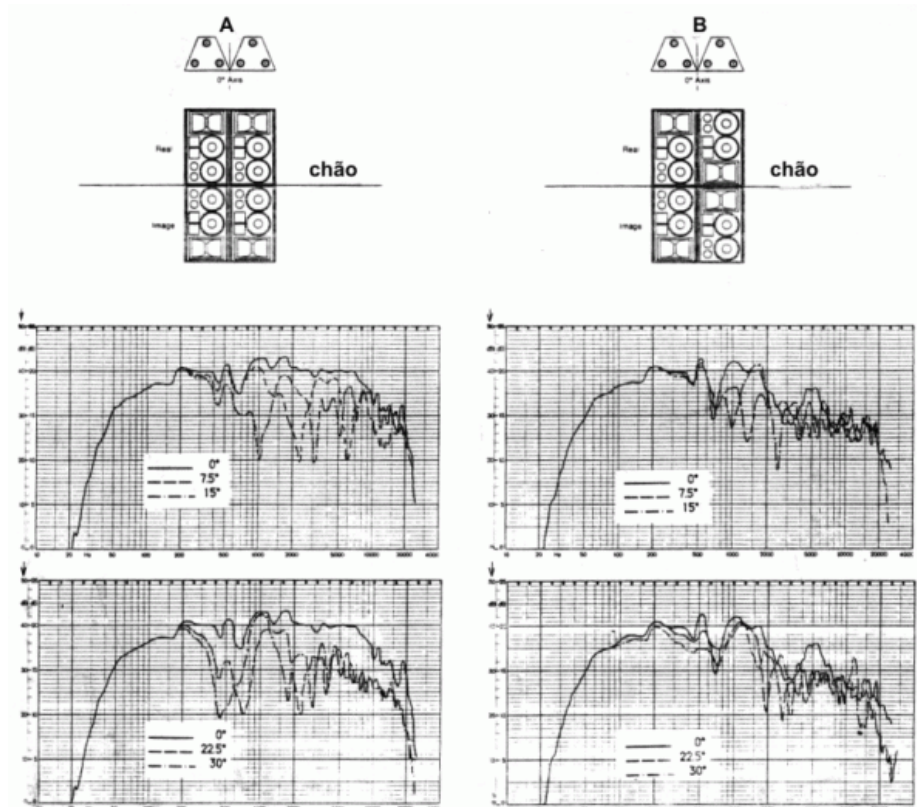
af18: tabela de posicionamentos de um *woofer* numa quina.



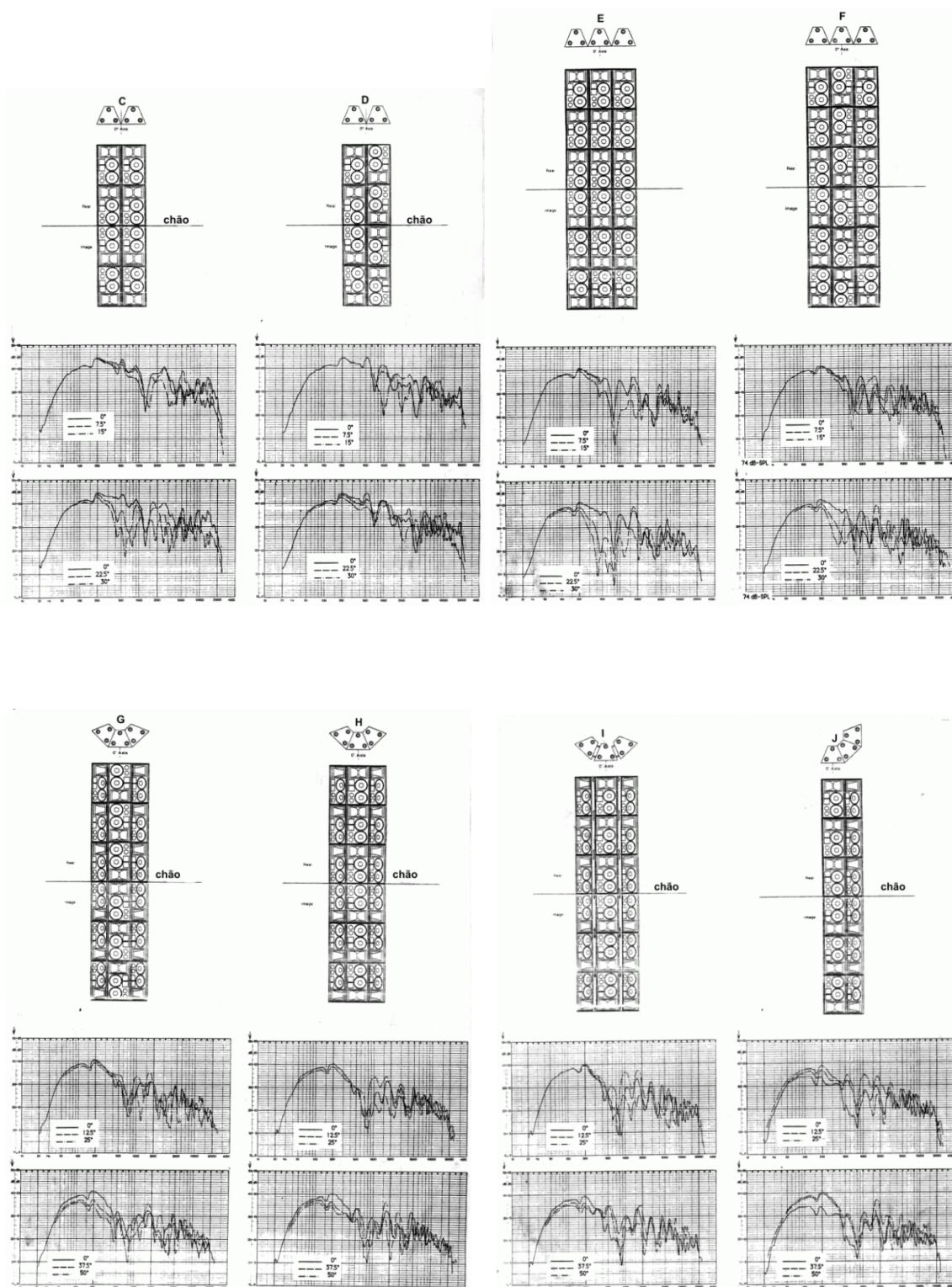
af19: efeitos da reflexão do som de um alto-falante perto de uma parede.



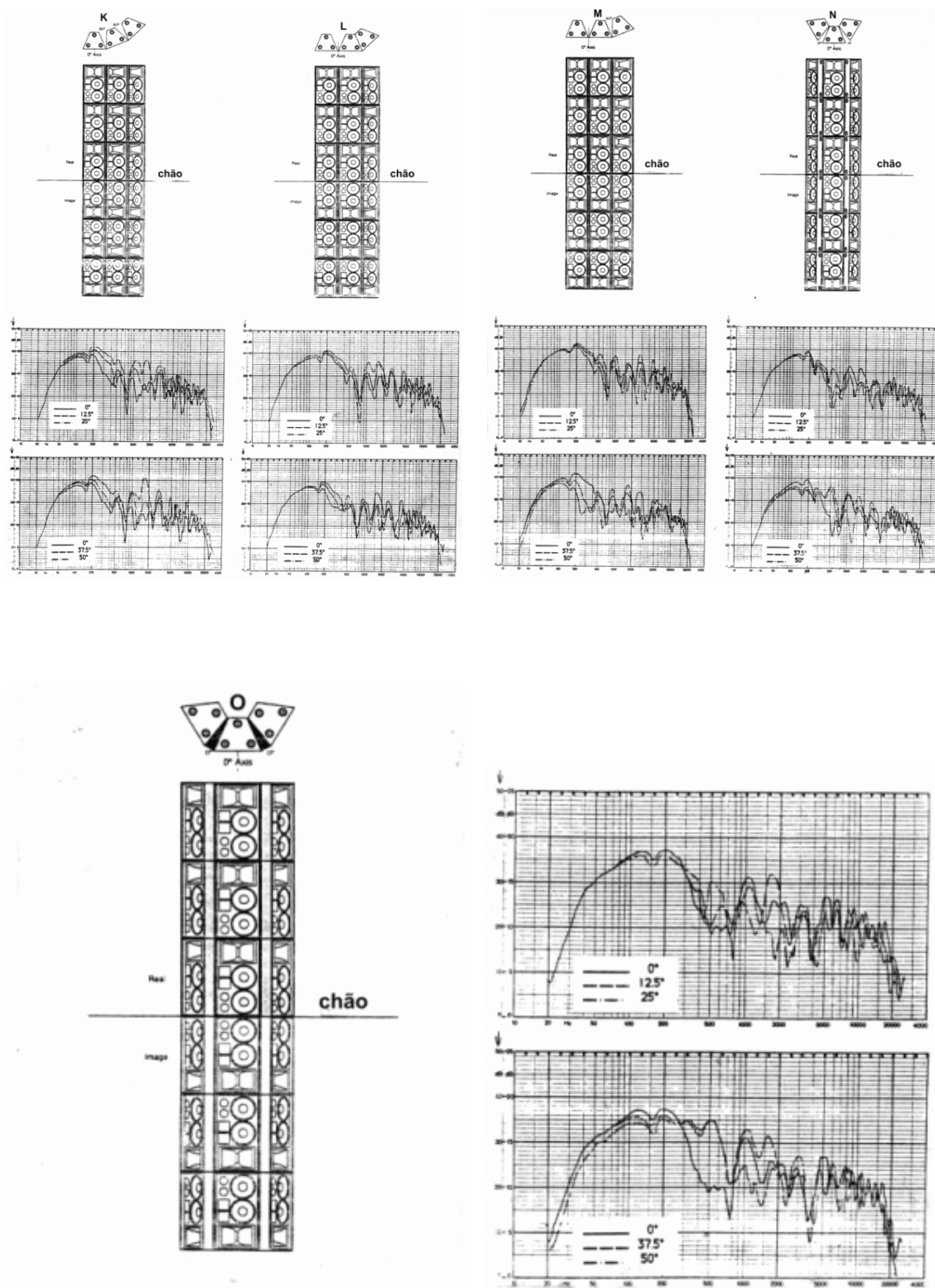
af20: problemas de fase entre alto-falantes.



af21: respostas de frequência para vários arranjos diferentes de alto-falantes colocados no chão.



af21 (cont.)



af21 (cont.)

6 - SONORIZAÇÃO

6. Se você acaba de ler o Guia até aqui já deve ter se cansado de notas mandando-o para cá. É porque até agora todos os capítulos tratavam de assuntos específicos: ou só microfones, ou só filtros etc. Este capítulo trata de como unir esses vários elementos, como eles podem se relacionar. Trataremos da sonorização em si. Em primeiro lugar serão vistos pontos importantes de relações entre os vários componentes do sistema. Depois veremos a relação entre o sistema e o ambiente.

Como aqui serão citados a toda hora elementos que apareceram em outros capítulos, se cada citação fosse acompanhada do verbete correspondente o texto se tornaria ilegível. Por isso esse capítulo não cita nenhum verbete para referência, e leva em conta uma boa leitura anterior do resto do Guia. Portanto, como já dito no prefácio, é recomendável parar de ler aqui se você não tiver entendido todos os outros capítulos e apêndices.

◆ 6.1 SISTEMA

- **6.1.1** Vamos seguir então o caminho do som dentro do sistema. Ele começa sendo captado pelo microfone. O funcionamento do microfone já foi visto em detalhes no Capítulo 1, e aqui não há nada a acrescentar. O microfone é ligado ao sistema por um cabo elétrico. E aí já começam problemas.

- **6.1.1.1** Um fio qualquer, por razões elétricas que não precisam ser discutidas aqui, tem uma resistência e uma impedância (fig. so01). Isto é, ele vai influir no sinal que sai no microfone, funcionando como um filtro passa baixa (por causa de sua impedância). Quanto maior o cabo, mais ele filtra, diminuindo as frequências agudas. Quanto maior a impedância do microfone, mais ele filtra também. A resistência e a impedância dependem não só do comprimento do cabo, mas também da largura. Quanto mais largo um cabo, menor a resistência, mas maior a impedância. Só que aí entra outro problema: cabos de microfone devem ter bastante maleabilidade para serem usados de forma "violenta" (enrolados, pisados etc..) sem se partirem em dois dentro do envoltório isolante.

Cabos grossos são pouco maleáveis, e por isso não são muito recomendáveis. Além disso, cabos maiores são sujeitos a mais interferências magnéticas, como interferências de ondas de rádio. Isto é, cabos mais grossos podem virar "antenas" incômodas, captando ondas de rádio que criam um ruído horrível. Pois é, que coisinha, chata é um cabo!

- **6.1.1.2** Há padrões mais ou menos convencionados para cabos de microfone. Pra começar, os cabos devem ser sempre coaxiais, com o fio do pólo positivo correndo dentro do fio do negativo. Isso faz com que os campos magnéticos criados por cada fio não interfiram um no outro, o que prejudicaria o sinal. Cabos de microfone devem ser sempre em malha, isto é, com muitos fios finos entrelaçados ao invés de um único fio grosso, ajudando a maleabilidade. Quanto mais grossa for a couraça (o fio negativo que corre externamente no cabo coaxial, envolvendo o interno), menor será o risco de interferências. O melhor tipo de couraça é o que tem os fios trançados entre si. Depois vêm os fios entrelaçados em dupla espiral, e por último, os em espiral simples.

- **6.1.1.3** As grossuras dos cabos variam de acordo com o comprimento desejado (ver [fig. so02](#)) Para impedâncias normais, um cabo não deve ser maior que 10 m. Nesse caso, a grossura recomendada é o n° 16. Impedâncias mais baixas têm esse valor aumentado até 60 m. Nesse caso, a grossura recomendada é o n° 14. A borracha tem várias vantagens sobre os outros isolantes: maior maleabilidade, impermeabilidade etc..
- **6.1.2** Na entrada do cabo no pré-amplificador da mesa de som duas coisas muito importantes já entram em questão: impedâncias e terras, fatores que influem não só na ligação entre o microfone ao pré-amplificador, como também no sistema como um todo.

As impedâncias estão relacionadas a melhores passagens do sinal de um aparelho para outro. Os aparelhos são fabricados já com uma idéia de onde vão ser ligados dentro do sistema de som. Por isso, eles levam em conta o tipo de grandeza elétrica importante em seu sinal. Isto é, se no sinal que entra e sai dele o importante é a tensão ou a corrente. E levam em conta assim as impedâncias apropriadas a serem ligadas na entrada e na saída. Se a impedância da entrada de um circuito não está corretamente acoplada à saída de outro, a energia elétrica vai ficar mais em um do que em outro. Se ficar mais na entrada, haverá pouco sinal na saída, um sinal fraco, débil. Se ficar mais na saída do que devia, por outro lado, o circuito fica sobrecarregado ([fig. so03](#)). Impedâncias apropriadas fazem com que uma melhor passagem de sinal ocorra.

- **6.1.2.1** Em primeiro lugar, há três níveis de impedâncias básicos, assim como há três níveis básicos de sinal. O baixo nível de sinal é o encontrado na saída de microfones, e tem uma impedância de aprox. 600Ω . O nível médio de sinal (o chamado "line") é o que flui entre a maioria dos aparelhos do sistema (mesas de som, equalizadores etc.). A impedância desses circuitos fica entre $1\text{ K}\Omega$ e $10\text{ K}\Omega$. Por último, os grandes níveis de sinal são os atingidos no final da amplificação, na saída para os alto-falantes. A impedância desses pontos é de geralmente 8Ω .

Qual é a importância de saber tudo isso?, perguntará você. Parece óbvio: não se deve ligar entradas e saídas de níveis diferentes entre si. Se um microfone for ligado a uma entrada "line" não haverá quase som nenhum na saída. Por outro lado, se a saída para fone de ouvido (feita para ser ligada em um alto-falante) for ligada a uma entrada para microfones, o sinal vai sair horivelmente distorcido.

- **6.1.2.2** A impedância de uma saída deve ser sempre igual à entrada onde vai ser ligada? Às vezes sim, às vezes não. Circuitos compostos principalmente de elementos reativos (como filtros e equalizadores passivos) mudam sua impedância de acordo com a impedância a qual são ligados, geralmente de maneira imprevisível.

Ligando uma impedância igual, não há diferença de níveis, por isso não há variação. Isto é, se não for ligada uma impedância a mais próxima possível à existente em filtros e equalizadores passivos, só Deus sabe o que pode acontecer. Mas a maioria dos circuitos usa a impedância de forma a conseguir a melhor passagem de sinal possível, como já foi dito. Em algumas saídas o valor elétrico importante é a tensão (como, por exemplo, a saída de um microfone). Em outras, o valor elétrico importante é a corrente (como a saída de um amplificador de potência). Elas podem ser consideradas então como geradores, de tensão ou de corrente. Se fossem perfeitas, essas saídas passariam todo o seu valor para o aparelho ligado a elas. Mas não são. Há sempre

uma impedância dentro do próprio circuito de saída que faz com que um pouco do sinal se perca (**fig. so04**).

Sendo assim, as saídas de tensão e de corrente terão impedâncias diferentes (**fig. so05**). A impedância de um gerador de tensão impedirá que um pouco da tensão fique na saída, e a impedância de um gerador de corrente impedirá que um pouco da corrente passe pela saída. Dessa forma, quanto maior o valor da impedância de um gerador de tensão, menos sinal passará para o outro lado. E, quanto menor for a impedância de um gerador de corrente, menos corrente passará para o próximo circuito. Por isso saídas e entradas de amplificadores de corrente ou de potência não têm impedâncias iguais às dos aparelhos que serão ligados a eles. A entrada de um amplificador de tensão, por exemplo, terá uma impedância cerca de 10 vezes maior que a impedância do circuito ligado a ela, para fazer com que a maioria do sinal fique nessa entrada.

- **6.1.2.3** O PAD é um dispositivo feito para casar impedâncias que a princípio são incompatíveis. Ele não passa de uma série de resistências ligadas de modo a fornecer a impedância que está faltando. Assim a forma mais simples de PAD é a que usa apenas um resistor em série ou em paralelo com o circuito. O esquema e a equação de um PAD desse tipo são mostrados na **fig. so06**. Podem ser úteis.

- **6.1.2.4** Por último, convém lembrar que valores baixos de impedância acarretam valores altos de corrente. Da mesma forma, valores baixíssimos de impedância acarretam valores altíssimos de corrente. De fato, quanto menos impedância, mais próximo de um curto-circuito (ver **I.7.1**) se está. Deve-se tomar muito cuidado com isso, principalmente na ligação entre aparelhos. Ligar uma entrada de 8Ω , por exemplo, numa entrada feita para 200Ω , fará com que essa entrada fique quase num curto-circuito.

- **6.1.3** O aterramento também é um problema importante. A maioria dos cantores que conheço já levou choques de microfones. Esse é só um exemplo do que pode acontecer com um mau aterramento. O terra já foi mencionado anteriormente, embora não com este nome: é o pólo negativo comum a todos os aparelhos. Na verdade o único pólo elétrico que geralmente trabalha na maioria dos aparelhos é o positivo. O negativo é apenas o ponto para onde as cargas elétricas do positivo vão, ou seja, funciona como uma espécie de "receptor" de cargas. Esse "receptor" pode ser o chão, o planeta Terra; ligando o negativo de uma corrente elétrica a um fio enterrado no chão, as cargas irão se descarregar para a terra. Por isso o nome "terra". Caso isso não aconteça o "receptor", na maioria dos aparelhos elétricos, torna-se a carcaça do aparelho, a caixa de metal que o envolve. As cargas vão se acumulando na carcaça na medida em que a corrente vai passando. E daí vêm todos os males.

- **6.1.3.1** Sistemas de áudio podem ser balanceados ou não-balanceados. Se ele é balanceado, o pólo negativo do sinal não será o pólo negativo das outras correntes passando por dentro do aparelho, isto é, o sinal não estará indiretamente ligado à carcaça do aparelho. Se for não-balanceado o contrário acontece.

Agora raciocinemos sobre um sistema não-balanceado. Diferentes aparelhos consumindo diferentes correntes terão carcaças com energias acumuladas diferentes. Ao se conectarem com os cabos do sinal, haverá tensões diferentes, e assim uma corrente começa a passar

entre essas diversas carcaças. Como ela passa pelo fio do negativo do sinal (os dois negativos são iguais), essa corrente se confunde com o próprio sinal, e cria ruído. Mas não é só isso. Os aparelhos estão ligados a uma rede elétrica, à qual podem haver vários outros aparelhos ligados. Correntes como as citadas podem ocorrer nesses aparelhos também, e podem interferir na rede de forma que se reflitam em todos os aparelhos ligados a rede (como é o caso de um liquidificador que quando ligado faz a televisão chiar). Como o sinal está ligado indiretamente à rede (eles têm negativos iguais), o resultado é mais ruído. Esse efeito é comum em teatros, onde sistemas de iluminação mal aterrados, quando colocados em meia-força (quando lentamente apagados, por exemplo), criam zumbidos no áudio. Uma outra consequência interessante é o chamado "*ground loop*" (laço de aterramento, em tradução literal). Os chassis, a linha da rede e o cabo do sinal formam juntos um grande círculo (*fig. so07*), altamente suscetível a interferências eletromagnéticas, sejam elas grandes campos magnéticos, ondas de FM ou ondas criadas pela ignição de algum motor, que se espalham pelo ar. Satisfeito? O equalizador é ligado e aparece um zumbido no sistema de som; as luzes do palco são apagadas e o zumbido aumenta; uma estação de rádio aparece do nada nos alto-falantes; alguém liga um carro na frente do teatro e o som aparece nos alto-falantes etc.. Mas talvez a pior consequência de sistemas não-balanceados advém do fato dos captadores de som (microfones, guitarras etc.) estarem ligados indiretamente a altos níveis de energia. Isso pode causar desde choques com o contato da boca no corpo do microfone (não se esqueça que o corpo é também uma carcaça, e acumula energia) até espetaculares eletrocutações de cantores no meio do show.

- **6.1.3.2** O balanceamento é uma solução válida, que melhora o problema principalmente quanto a segurança. Ele é feito por um tipo de cabo especial com três pólos (positivo, negativo e terra), que usa um tipo especial de conexão (ver *so09*). Acontece que nem todos os aparelhos trabalham completamente com sistemas balanceados. Equalizadores e saídas de mesas de som por exemplo são feitos geralmente para sistemas não-balanceados. Isto é, mesmo que seja desviado no estágio de entrada do sinal no mixer, o problema persiste no que vem depois. A melhor solução é sem dúvida o aterramento de todos os aparelhos. Dessa forma não há diferença de potencial entre as várias carcaças, não há interferências da rede etc..

- **6.1.3.3** Mas o aterramento não é uma coisa tão simples assim. Pra começar, é necessário ligar um cabo até o chão. Isso significa arranjar um cabo de grande grossura (para diminuir a resistência e aguentar as correntes de todos os aparelhos juntos), passá-lo de algum jeito para o exterior, ligá-lo a uma placa de metal (para aumentar a superfície de contato com a terra, melhorando a passagem das cargas) e enterrar essa placa bem fundo no chão. É um trabalho em tanto. Algumas redes elétricas especiais têm nas tomadas um terceiro pino, com um terra instalado, mas isso é raro. Além de todo o trabalho, deve-se levar em conta as características do cabo em si. Ele terá uma resistência, ainda que bem pequena, e essa resistência pode fazer com que um pouco da corrente de aterramento seja retida, criando ruído (*fig. so08*). E, como haverá um ponto onde entrada e saída de aparelhos diferentes estarão juntas, pode acontecer uma corrente da entrada do aparelho para a saída do outro, ou seja, no sentido errado. Resultado: ruído. E os problemas de resistência não são os únicos num cabo de terra. Ele pode receber também interferências externas, como ondas de rádio, por exemplo. Serão

interferências bem menores que as recebidas por uma carcaça sendo usada como terra, mas ainda poderão existir, e quanto maior o cabo de ligação com o terra, maior será a interferência.

- **6.1.3.4** Existem algumas dicas práticas de como diminuir toda essa barulheira causada por problemas de aterramento:

- diminuir todos os cabos ao mínimo possível, reduzindo perdas resistivas e interferências de rádio;
- colocar cabos que transmitem a mesma coisa (como os vários cabos de microfones) o mais próximo possível. Diminuindo a área que ocupam, diminui-se a possibilidade de ground loops;
- colocar cabos que transmitam coisas diferentes (cabos de microfones com cabos de alto-falantes, ou cabos de áudio com cabos da rede elétrica) o mais longe possível, pela mesma razão;
- no caso dos ruídos provocados pelas luzes de palco, que interferem através da rede, podem ser usados alguns procedimentos úteis. Um filtro pode ser colocado na alimentação das luzes, que corte a frequência do ruído (geralmente a mesma frequência da rede elétrica, isto é, 50 ou 60 Hz). O sistema de iluminação pode não estar aterrado também. Se estiver, melhora. Em casos extremos, pode-se deixar de variar a impedância das luzes (deixar de mexer em suas intensidades), ou mudar a rede elétrica sendo usada pelo sistema.
- caso comecem a ocorrer muitos choques, especialmente de um guitarrista levando choques do microfone, ligar todos os aparelhos envolvidos na mesma rede elétrica (na mesma tomada). Isso evita que hajam diferenças de fase entre as tomadas (por exemplo, entre a da caixa da guitarra e a da mesa de som onde está ligado o microfone), o que pode criar ground loops. Algumas caixas também têm botões que mudam a fase elétrica em que estão ligadas na rede, pela mesma razão;
- nunca usar aterramentos diferentes para o mesmo sistema. Caso não seja possível que todos os aparelhos sejam ligados no mesmo terra, deixe alguns sem essa ligação.

- **6.1.4** Há várias formas de conexão das fontes sonoras com o sistema (**fig. so09**). A conexão do tipo XLR, também conhecida como Cannon (o nome do primeiro fabricante) é usada para entradas balanceadas. Essa conexão tem em seu interior três pinos, por convenção chamados de pinos 1, 2, 3 (ver **fig. am01**). O pino 1 é sempre usado como terra. O pólo positivo ainda não está convencionado. Na Europa o pino usado como positivo é o 3; nos EUA, o 2. Deve-se tomar cuidado, então, em saber qual é o pino "ativo" (como costuma ser chamado) no uso dessas conexões.

- **6.1.4.1** Outras conexões muito usadas são o phone plug (p10, ou "banana"), que tem esse nome por ter sido usada nas primeiras mesas de som das companhias telefônicas, e o RCA, usado geralmente na conexão de toca-discos. Ao contrário do XLR, esses dois tipos têm uma qualidade muito variável entre as marcas. Além disso, são entradas não-balanceadas. No caso de ser necessária uma ligação entre uma entrada balanceada e uma não balanceada, o pólo positivo do Cannon vai no positivo do não-balanceado (na ponta do plug p10, se for o caso). O negativo e o terra do Cannon são ligados juntos no pólo negativo do não-balanceado.

- **6.1.4.2** Finalmente, alto-falantes podem às vezes usar níveis de corrente muito altos para esses tipos de plugs. Por isso é recomendável se usar tipos especiais de conexões para alto-falantes, que aguentem grandes níveis de corrente.

- **6.1.4.3** Nos sistemas profissionais as diversas fontes de sinal (microfones, guitarras etc.) não são ligadas diretamente na mesa de som principal, que fica longe do palco. Para isso é usado o chamado multi-cabo, ou snaker. Ele se parece com uma caixa, com muitas conexões para entrada (uma para cada canal). Dessa caixa sai um cabo que leva os diversos sinais até a mesa. O multi-cabo é usado para a mesa poder se localizar afrente do palco sem serem necessários cabos de microfone muito grandes. Além disso ele também permite facilmente o uso de um segundo sistema para os monitores (ver 6.1.8); geralmente, além desse cabo principal, sai do *snaker* um outro cabo, também com os sinais. Assim, enquanto a saída principal é usada para a conexão com a mesa principal, a saída auxiliar é usada para a mesa de som do retorno do palco.

Os multi-cabos precisam de uma grande quantidade de fiação em seu interior. Se fossem usados os tipos de cabo usados normalmente no sistema, o multi-cabo seria impraticavelmente pesado. Por isso são usados fios maciços (ao invés dos trançados) em seu interior. Como já foi dito, esses fios são menos maleáveis. Sendo menos maleáveis, eles podem se romper com muita facilidade. Por isso deve se ter um grande cuidado no transporte de um multi-cabo, que deve também ter uma caixa onde possa ser guardado.

- **6.1.5** Nessa altura é necessário definir um termo importante: distorção. Geralmente a palavra distorção é associada a aquele som característico usado em muitas guitarras. Em áudio distorção tem um significado bem mais amplo. Qualquer mudança indesejada no som é chamada, de modo geral, de distorção. Sendo assim, há dois tipos básicos de distorção: a relacionadas às frequências e às intensidades. No primeiro tipo, podem acontecer diminuições elétricas de determinadas frequências, ou transmissões erradas de sinal de um aparelho para outro (por exemplo, harmônicos que não existiam podem ser adicionados, certas frequências podem ser muito intensificadas etc.). No segundo tipo, o sinal fica grande demais para ser suportado pelo aparelho. Nesse caso, chamado em inglês de *overload*, e em português de saturação, o circuito simplesmente corta o excedente (fig. so10). É o típico som de distorção de guitarras. Quando desejado, pode ser muito útil, mas quando não é bem-vindo, torna-se uma dor de cabeça. Os casos em que aparecem saturação, e os controles possíveis para ele, já foram tratados no decorrer do Guia.

- **6.1.6** Mas nos casos de distorção de frequências, a coisa mais importante em que se deve pensar é a equalização. Ela pode ser usada para corrigir mudanças (distorções) em algumas frequências do sinal, mudanças essas ocasionadas pelas características do sistema (resposta de microfones e alto-falantes, perdas em componentes reativos etc.). Na verdade há dois estágios de equalização num sistema: um é o contido na mesa de som, que age em cada canal separadamente. O outro é o que age no sinal já mixado, aumentando ou diminuindo frequências que não estão como deviam estar. O primeiro não precisa de grande precisão, considerando que irá apenas fazer pequenos ajustes relativos à captação do microfone, que por si só já é de grande precisão. Mas a segunda equalização irá consertar o som do sistema como um todo, entrada e saída, e é por isso de grande importância. Uma equalização bem feita pode melhorar todo o sistema: resposta de alto-falantes, perdas nos crossovers e até melhoras na reverberação. Mas é importante saber o que ele não faz. Um equalizador não faz milagres, consertando sistemas montados de forma errada. Não consegue, por exemplo, melhorar a resposta de uma caixa mal-construída, ou aumentar o ganho sobre microfonia em um sistema deficiente (ver 6.2.4.3).

- **6.1.6.1** A equalização, na verdade, é um trabalho extremamente delicado, que requer prática, uma boa dose de paciência e um pouco de cérebro. Porque seja para consertar distorções, seja para mudar o “jeito” do som, o único parâmetro realmente válido é o ouvido. Por isso, um operador de equalização deve saber identificar exatamente as características que um som está precisando (por exemplo, quando um som está “apagado”, ou muito “explosivo”), e transformá-las em características de frequência.

O método mais correto de equalizar NÃO é fuçar desesperadamente nos *faders* do equalizador até conseguir o som desejado, mas agir por “hipóteses”, e relacioná-las com a experiência que já se tem. Por exemplo, deseja-se deixar o som de um prato de bateria com uma “pegada” mais marcada, ou seja, com um ataque mais vigoroso. Por experiência prévia, já sabe-se que as características de ataque estão relacionadas com frequências altas, e as de sustentação da nota, com frequências baixas. É importante saber-se também determinadas frequências-chave em que se possa basear. Um prato, por exemplo, soa entre 1 Khz e 8-10 Khz. Suas frequências altas, portanto, estão entre 6 e 10 Khz. Aumentando essas frequências, imagine-se que o ataque do prato fique mais nítido. Por último, a atitude da mudança de frequência deve ser sempre “vamos ver se funciona como eu acho que vai funcionar”. Se não funcionar, elabora-se outra hipótese, levando em conta o que aconteceu com a mudança anterior.

- **6.1.6.2** Eis aqui algumas dicas práticas, que podem ser úteis no momento da equalização:
 - lembrando o já dito, as frequências altas estão ligadas ao ataque do som, ao momento no qual ele é produzido, e as baixas, à sustentação do som. O aumento ou diminuição dessas frequências vai atenuar ou enfatizar essas características: aumentando os graves, o instrumento pode parecer maior; aumentando os agudos, aumenta seu presence, isto é, a “presença” dele no som geral, o que significa que ele aparece mais sem ser preciso mexer na sua intensidade;
 - lembrando também algumas características dos sons: quanto mais alto um harmônico, mais sumido e menos importância tem (assim, as altas e baixas frequências do parágrafo anterior variam de instrumento para instrumento. A frequência de 3 Khz não representa o mesmo harmônico para uma flauta e um baixo, por exemplo. Numa flauta, ela é um harmônico importante, e no baixo, é completamente sumida); e o intervalo de uma oitava corresponde ao dobro de frequências (seja de 200 para 400 Hz ou de 5.000 para 10.000 Hz, por exemplo);
 - nos equalizadores paramétricos da mesa de som, em geral, pode-se escolher tanto a região de frequência na qual trabalham como seu Q. Assim podem tanto mexer com uma região geral de frequências de um instrumento (Q baixo) quanto frequências bem específicas (Q alto). A escolha desses parâmetros antes da equalização, portanto, é fundamental;
 - na equalização geral, é recomendável não usar mais que 1/3 de todos os *faders* do equalizador, para não distorcer demais o som. Se for necessário mais do que isso, provavelmente o sistema tem alguma coisa errada;
 - procure não enfatizar todos os instrumentos numa mesma frequência. Ao contrário; para instrumentos que soam numa mesma faixa (por exemplo, guitarra, teclado e voz), deixe

cada um com uma frequência específica aumentada, distinguindo-os um do outro (4 Khz para o teclado, 2 Khz para a guitarra e 5 Khz para a voz, no caso do exemplo);

- finalmente, como já foi dito, a equalização requer acima de tudo experiência. Para conseguí-la, leve em conta cada caso que aparecer numa equalização em especial, e tente não esquecer do que já foi aprendido com esses casos, nas próximas vezes. É possível também treinar as possibilidades da equalização em separado, por exemplo, ligando uma música gravada num equalizador e experimentando diversas mudanças de frequências;
- algumas questões relativas à interação equalização-ambiente são tratados em **6.2.3.1**.

● **6.1.7** Depois da equalização vêm os amplificadores de potência e as caixas de som. Essa associação tem vários aspectos importantes. Em primeiro lugar, há duas formas de dividir as frequências apropriadamente entre os alto-falantes (**fig. so11**): a passiva e a ativa. Na passiva o amplificador manda o sinal para todos os alto-falantes ao mesmo tempo. Cada alto-falante tem um filtro embutido, que se encarrega de barrar as frequências que não são próprias para ele. O sistema ativo de amplificação usa um aparelho chamado crossover, que divide o sinal em vários outros, cada um situado dentro da faixa de frequências em que o alto-falante trabalha. Cada um desses sinais por sua vez tem um amplificador próprio, que manda-os para as caixas apropriadas. Por usar mais de um amplificador, esse sistema também é chamado de multi (bi, tri etc.) amplificação.

O sistema ativo apresenta muitas vantagens em relação ao passivo. Em primeiro lugar, os graves tem por natureza uma intensidade muito maior que os agudos. Se todo o sinal é amplificado e depois dividido (como no sistema passivo), os graves ficarão com muito mais volume que os agudos. Sendo assim, os cortes dos filtros graves podem "ressoar" através do amplificador, distorcendo a resposta dos agudos. Num sistema ativo a divisão de frequências antes da amplificação evita tudo isso. Além disso, no sistema passivo o filtro fica entre o amplificador e o alto-falante. Como em filtros passivos há sempre um pouco de perda resistiva de sinal um pouco da potência do amplificador é sempre perdida. No sistema ativo o amplificador está em contato direto com o alto-falante, o que evita esse problema. E, com mais amplificadores, logicamente pode-se aumentar a potência máxima sem sobrecarregá-los. A principal desvantagem do sistema ativo é logicamente o preço. Ao invés de um amplificador, são necessários tantos amplificadores quanto forem os tamanhos de caixa, além de um crossover, um aparelho de preço razoável. Geralmente, em sistemas profissionais, são usados os dois, o ativo para controlar as frequências de corte e o passivo apenas como proteção para frequências que podem virtualmente destruir o alto-falante (como a frequência de ressonância).

- **6.1.7.1** A impedância total ligada na saída do amplificador também é um assunto importante, pelo número de variações que pode ter. É comum se ver várias caixas ligadas a um mesmo amplificador. O tipo de associação entre as caixas irá variar a impedância total ligada ao alto-falante (**fig. so12**). Quando duas caixas de mesma impedância são ligadas em série, a impedância total é o dobro das impedâncias individuais. Isto é, a impedância é maior, o que deve ser levado em conta em termos de casamento de impedância com a saída do amplificador. Um amplificador feito para saídas de 8 Ω (o valor normal de um alto-falante), por exemplo, tem seu desempenho piorado quando ligado a uma impedância de 16 Ω (dois alto-falantes ligados em série).

Uma situação mais grave ocorre com ligações em paralelo. Dois alto-falantes de mesma impedância ligados em paralelo criarão uma impedância total igual à metade do valor individual de cada um. No caso de alto-falantes de $8\ \Omega$, a impedância total de uma ligação em paralelo de duas caixas é de $4\ \Omega$, e entre quatro caixas é de $2\ \Omega$, um valor tão baixo que corre o risco de queimar a saída do amplificador. O ideal é se tentar um tipo de associação de modo a conseguir um resultado o mais próximo possível de uma impedância apropriada. No caso de quatro alto-falantes, por exemplo, ao invés de se ligar os quatro em paralelo ou em série, liga-se eles dois a dois (dois em série entre si, em paralelo com outros dois também em série entre si). O resultado será uma impedância total de $8\ \Omega$.

- **6.1.7.2** Por fim vejamos o que pode causar a quebra de um alto-falante. Pode ser uma causa elétrica (queima da bobina) ou mecânica (rompimento por oscilação na frequência de ressonância). A causa elétrica é geralmente causada por valores errados de potência no amplificador. Se o amplificador tem uma potência máxima muito acima da do alto-falante, quando a saída desse amplificador atingir valores altos a bobina do alto-falante não aguentará a corrente e se queimará. Por outro lado, se o amplificador tiver uma potência muito abaixo da potência mínima do alto-falante, a tendência é sobrecarregar o amplificador, fazendo-o funcionar errado e criar picos tão altos em algumas frequências que destroem o alto-falante. Por isso é sempre bom deixar uma margem de segurança na potência do amplificador. O bom é ligar um amp com até a metade da potência máxima do alto-falante. Como uma segurança a mais pode ser ligado um fusível ao alto-falante, de valor apropriado (ver **fig. am04**).

Pode ser usado um compressor ou um limitador, mas com cuidado, principalmente se for usada uma filtragem passiva. Como os graves têm maior volume que os agudos, o compressor pode comprimir os graves e junto os agudos, sumindo com eles. Se forem usados, esses dispositivos devem de preferência ser regulados apenas para controlar picos elevados.

O rompimento por oscilação já foi explicado em **5.2.2**. A melhor forma de controlá-lo é associando um filtro passa alta que impede que um sinal com a frequência de ressonância passe pelo alto-falante. A maioria das equalizações gerais, feitas depois da junção dos sinais na mesa de som, diminui os níveis de frequências abaixo de 50 Hz com o propósito de proteger os woofers de oscilações.

- **6.1.8** Além dos alto-falantes para o público existe um segundo sistema importante a ser lembrado: os monitores. Eles são alto-falantes que ficam sobre o palco, voltados para os músicos. O som do sistema voltado para o público fica quase sempre de costas para o palco, e o que o músico escuta dele não passa de uma emboleira ininteligível. O monitor serve para o músico ouvir o verdadeiro som que está saindo afrente do palco, e, ao mesmo tempo, conseguir escutar o que está tocando no meio dos grandes volumes de som de um sistema de sonorização de música. Por ter essa função os monitores também são chamados de "retornos".

Uma caixa de retorno tem de combinar uma boa resposta de frequência, um tamanho reduzido (lembre-se que a caixa fica sobre o palco; uma caixa grande pode atrapalhar mais do que ajudar) e uma grande dispersão (para poder atingir os músicos em posições diferentes no palco). Essas três características nem sempre são fáceis de serem somadas. Para ter uma boa resposta de graves, por exemplo, uma caixa precisa geralmente ser grande, o contrário do que se pretende.

Em sistemas grandes podem ser usadas duas posições para o retorno, uma na frente (com caixas de formato característico, chamadas de "*spots*" — **fig. so13**) e outra ao lado do palco (os "*sides*"). Os primeiros se encarregam só dos médios e dos agudos, e os segundos, que podem ser maiores, se encarregam dos graves. Hoje em dia se usam alto-falantes especiais para retornos, com cornetas de grande dispersão. Leve em conta que é dos monitores e de sua colocação que depende a qualidade da apresentação do músico. Assim, é preferível dois monitores caros, mas com uma resposta de frequência boa e bem colocados, do que cinco ruins, que juntos podem piorar o som ouvido pelo músico (ver **fig. af21**). Finalmente, os sistemas de retorno profissionais tendem a ser pensados como sistemas independentes, com uma amplificação e mesa de som próprios. Recomenda-se usar mesas com muitas saídas para esses sistemas. Os músicos podem com frequência ter seus próprios mixers, usados em seus monitores individuais.

- **6.1.9** E assim temos um sistema de som pronto. A **fig. so14** mostra o esquema de um sistema para um conjunto composto de baixo, guitarra, bateria e teclados, onde os quatro integrantes cantam. Os microfones de voz (Q), de instrumentos (R) e as saídas line ou direct box (S) são ligados ao multi-cabo (A). Note que, enquanto a caixa onde está ligado o baixo (H) usa direct box, a da guitarra (I) é captada por um microfone. O multicabo manda dois sinais, um para a mesa de som principal (U), que fica geralmente afrente do palco (com o operador escutando o som do sistema), e outro para o sistema de retorno do lado do palco (E), que manda o sinal para os retornos (P). O sinal da mesa de som (O), associado a um equalizador (L), um processador de eco (M) e um compressor (N), vai até o crossover (C), situado geralmente ao lado do palco, que divide as frequências entre os amplificadores graves (D) e agudos (B), que por sua vez amplificam o sinal para suas respectivas caixas (J e K).

◆ **6.2 SONORIZAÇÃO** Agora entraremos na junção do sistema com o ambiente em que ele se encontra. Começamos por definir o que um sistema de sonorização faz. Sua principal função é fazer com que, num determinado acontecimento público (no nosso caso, um *show* de música), um som que não é audível passe a sê-lo. Até aí está óbvio. Mas a partir dessa definição ficam determinados também os parâmetros gerais de qualidade de um sistema: ele tem que, primeiro, criar um som suficientemente alto para que todos possam ouvir. Em segundo lugar, ele tem de direcionar o som de maneira adequada para o público. Tem também que criar um som o mais limpo e claro possível, sem modificar o som de origem. Por último, o sistema tem de ser feito de tal modo que possa cumprir essas funções sem trabalhar no limite de suas possibilidades, o que acarreta em falta de segurança. Em outras palavras, um sistema tem de estar apto a responder a quatro perguntas: — *está alto o suficiente?* — *todo mundo pode ouvir?* — *todo mundo pode entender?* — *vai haver feedback?*

- **6.2.1 ESTÁ ALTO O SUFICIENTE?** Essa é basicamente uma questão de potência. Se o amplificador e os alto-falantes forem capazes de criar um nível suficiente de decibéis o sistema poderá criar volume suficiente. Quanto é esse volume suficiente? Depende basicamente do quão alto o sistema tem de ser para que todo mundo escute.

Ambientes pouco barulhentos precisam de menos som; ambientes com muito ruído precisam de mais som. A relação entre o som do sistema e o ruído do ambiente deve ser sempre maior que 25 dB, isto é, o sistema tem de estar apto a criar sons 25 dB mais altos que o som do público. De uma forma geral, um sistema de som para música popular deve poder criar níveis de volume de até 100 dB.

- **6.2.1.1** Passemos para o equipamento. Em primeiro lugar deve-se saber a distância a ser coberta pelo som. Daí então se compara o nível de volume que se quer a essa distância com a

sensibilidade do alto-falante a disposição. Suponhamos um alto-falante com uma sensibilidade de 90 dB/W/m. Isso significa que com 1 watt de potência e na distância de 1 metro, o alto-falante produzirá 90 dB. Com o dobro da distância há uma perda de 6 dB.

E, para recuperar essa perda, precisa-se de quatro vezes mais potência para chegar ao mesmo nível. Assim, a dois metros precisa-se de 4 W para produzir 90 dB. A quatro metros da caixa, vão ser necessários 16 W para produzir 90 dB. E por aí vai, sempre dobrando e quadruplicando os valores anteriores. É claro que vai chegar uma hora que a potência necessária será tão grande que nenhum alto-falante aguenta. Daí torna-se necessário pensar tudo de novo com mais de uma caixa. Aumentando o dobro de caixas (de 1 pra 2, de 2 pra 4 Etc.) o nível do som aumenta 3 dB, mas a wattagem também dobra. Lembrando sempre:

- com o dobro da distância do alto-falante o volume cai 6 dB;
- para recuperar 6dB é necessário quadruplicar a potência.

● **6.2.2 TODO MUNDO PODE OUVIR?** É basicamente a dispersão do sistema de alto-falantes que decide isso. Os alto-falantes tem de estar apontados para os lugares certos, senão o campo coberto pelo sistema será pequeno.

● **6.2.2.1** Se levarmos em conta apenas o caráter de dispersão do sistema, ele pode ser composto de dois tipos básicos: cornetas e colunas. Sistemas de cornetas conservam as características dos elementos que os formam, ou seja, cornetas; são altamente direcionais e tem uma grande eficiência em termos de potência: pra se ter uma idéia, um sistema de cornetas pode sonorizar um teatro de 2000 lugares a um nível de volume de 100 dB com apenas 30 W. A direcionalidade faz com que o som chegue com maior força, isto é, não são necessários muitos alto-falantes para grandes distâncias. Por outro lado, ela diminui o campo coberto pelo sistema. Assim, um sistema de cornetas precisam de menos componentes para levar o som a uma determinada distância, mas mais componentes para espalhar o som em muitas direções. Além disso, cornetas são maiores e mais pesadas do que caixas, e por isso dão mais trabalho para serem instaladas.

● **6.2.2.2** O sistema de caixas é geralmente feito com colunas empilhadas. São sistemas leves e que ocupam pouca área, o que facilita sua montagem e a recomenda para sistemas móveis. Mas colunas têm uma eficiência menor que cornetas (no exemplo dado acima, seriam necessários 200 W para uma sonorização adequada). Além disso, a dispersão de agudos é muito pior que a dos graves, o que pode piorar a resposta de um conjunto de muitas caixas (como na **fig. af21**).

● **6.2.2.3** A forma como os alto-falantes são montados deve levar em conta os diversos pontos que devem ser cobertos pelo som, a anulação entre caixas em regiões diferentes etc.. O sistema que apresenta melhores resultados é o cluster central. Nele todos os alto-falantes são colocados sobre o centro do palco, em uma posição acima deste (**fig. so15**). A colocação de todos os alto-falantes juntos evita problemas de anulação por sons fora de fase, e dá uma maior naturalidade à sonorização. Parece que o som vem diretamente do palco, e não do sistema. Se os níveis de volume da sonorização e do palco são mais ou menos iguais, esse cluster dá ao som uma forma de "delay" natural, vindo da diferença de tempo entre o som direto dos instrumentos do palco e o som dos alto-falantes, o que encorpa o som e o deixa mais inteligível.

É claro, esse sistema também tem desvantagens. Pra começar, dá um trabalhão colocar todas as caixas num elevado montado sobre o palco. Isso sem falar da diminuição da segurança. Além disso, pode acontecer de algumas áreas não serem cobertas pelo som do cluster, como em teatros, nos lugares sob balcões ou sob camarotes. Nesses caso deve-se usar alto-falantes colocados especialmente para essas áreas (*fig. so16*).

- **6.2.2.4** O uso de clusters separados, um em cada canto do palco (em inglês, "*split clusters*" — *fig. so17*) é o sistema mais usado, apesar de suas desvantagens. A principal delas é a grande diferença de sonoridade para diferentes posições. Posições equidistantes dos dois clusters escutarão de forma adequada. Mas é só o ouvinte estar um pouco mais perto de um do que de outro para um cluster ser abafado pelo outro. Dependendo da distância entre os dois, podem acontecer também diferenças de fase, anulando determinadas frequências. Esse é um problema incontornável do *split cluster*. Ele pode ser atenuado pelo som mono (saindo o mesmo som nos dois clusters, som abafados em um continuarão sendo ouvidos no outro) ou pelo uso de um cluster como principal, e outro, de volume menor, apenas para algumas áreas não atingidas pelo primeiro. Se não for usado nenhum desses recursos, deve-se pelo menos fazer com que os clusters sejam apontados cada um para toda a platéia, e não cada um para uma parte dela. As vantagens do *split cluster* são basicamente o inverso das desvantagens do cluster central: cria poucos problemas em termos de alcance de todo o público (por pegá-lo de frente, não de cima) e é mais fácil de ser montado, por isso custando menos.

- **6.2.2.5** O último sistema é o de clusters distribuídos, achados em ambientes como cinemas ou auditórios de convenções. Mas esse sistema tem pouco poder de volume e necessita de um grande aparato para funcionar adequadamente (com sistemas de delay para compensar as diferenças de fase entre os diversos alto-falantes, por exemplo), e por isso é considerado impróprio para sonorização de palco.

- **6.2.3** TODO MUNDO PODE ENTENDER? Isso está ligado basicamente ligado a dois princípios, cobertura de frequências apropriada e distorção.

- **6.2.3.1** O sistema tem de estar apto a reproduzir todas as frequências dos instrumentos do palco. Para isso é necessária uma boa captação no palco, com microfones de boa resposta. E ao mesmo tempo, alto-falantes divididos de forma apropriada entre as frequências. Num sistema ao ar livre, com um bom equipamento, é relativamente fácil se conseguir com que o sistema produza uma resposta de frequência adequada. Mas em ambientes fechados há muitos fatores da sala que influem na resposta de frequência escutada. A frequência de ressonância da sala, o reforçamento de algumas frequências por reflexões em fase etc., tudo isso faz com que o som que sai dos alto-falantes mude dentro do ambiente e seja escutado por nós de maneira diferente do normal. Em sistemas de melhor qualidade pode ser feita uma correção por equalização, usando um analisador de frequências.

Esse aparelho é ligado ao sistema, e manda um "ruído rosa", um sinal que contém todas as frequências audíveis ao mesmo tempo (um ruído igual ao de uma televisão antiga, sem sintonia). Esse sinal sai pelas caixas e reverbera pelo ambiente; e esse som do ambiente é captado por um microfone ligado ao analisador (*fig. so18*). O aparelho então forma um gráfico num mostrador, indicando as frequências que estão mais acentuadas e as que estão mais apagadas. O sistema então é corrigido na equalização. Tomando um exemplo, se o analisador

indica que as frequências de 100 a 400 Hz estão muito altas, é só diminuí-las na equalização que a resposta do sistema melhora. Convém lembrar que, como já foi dito, a equalização não pode fazer milagres, isto é, não pode consertar um sistema defeituoso. Assim, leve em conta que, se qualquer frequência precisar ser mudada em 5 dB a mais ou a menos, algo está errado.

- **6.2.3.2** Um dos problemas de distorção mais importante é a reverberação. Uma reverberação muito alta prejudica a inteligibilidade. Uma reverberação muito baixa faz com que todo o trabalho tenha de ser feito pelos alto-falantes, e empobrece o som. O mesmo se pode dizer a respeito do tempo de reverberação. Salas com muita reverberação podem ter uma reverberação melhorada com uma boa equalização, usando um analisador de frequência. As salas têm uma resposta de frequência também, como alto-falantes e microfones. Isto é, elas reforçam certas frequências no som que reverberam, e anulam outras (*fig. so19*). Assim, algumas frequências podem reverberar mais que outras. O uso de um analisador faz com que essas frequências fiquem evidentes (não se esqueça que o microfone ligado a ele capta não só o som do alto-falante, mas também o que reverbera na sala). Se a equalização for feita a partir do que o analisador mostra, as frequências mais intensas vão ser diminuídas, e a reverberação vai melhorar. O uso de abafadores acústicos nas paredes, nos lugares certos (como nas paredes do lado oposto ao das caixas) pode melhorar também a reverberação. Por último, há a relação entre os alto-falantes e o ambiente (*fig. so20*). O lugar onde se põem os alto-falantes vai fazer com que o som reverbere de um jeito. Mudar esse lugar pode fazer com que a reverberação mude completamente. Pense nisso quando for montar os sistemas de alto-falantes, levando em conta os princípios de reflexão do som. Uma sala com carpete na parede atrás do alto-falante e concreto na parede em frente, por exemplo, faz com que o som refletido esteja só afrente do alto-falante, o que pode prejudicar a inteligibilidade.

- **6.2.3.3** Em salas com pouca reverberação pode ser usado um eco digital. Na verdade esse efeito é sempre usado, porque o microfone que capta os instrumentos pega na maioria das vezes só o som direto, não o reverberante, para controlar a microfonia. O resultado é um som sem vida, "xoxo". Por isso é sempre bom ligar uma reverberação como efeito, pelo menos nas vozes. As regulagens desse eco variam. Em salas com pouca reverberação, para voltar ao assunto, é necessário simular todo o processo de reverberação, com reverbs de 1 a 2 segundos. Em salas com reverberação mediana ou alta pode ser usado um delay com poucas repetições, para criar só o efeito das primeiras reflexões. A sala faz o resto. Usar muito delay ou muito reverb, dependendo da sala, faz a reverberação artificial se somar com a natural, o que pode ter efeitos catastróficos (ver *6.2.4*).

- **6.2.4** VAI DAR MICROFONIA? A microfonia (efeito Larsen, em inglês *feedback*) é um dos mais desagradáveis distúrbios que podem ocorrer num sistema. Ela se caracteriza por uma auto-alimentação: o som que sai pelo alto-falante é captado de novo pelo microfone, e sai de novo pelo alto-falante, e é captado... num ciclo sem fim. A microfonia é desagradável, em primeiro lugar, pelo som que provoca. É um assobio cuja frequência varia de sistema para sistema, mas que ocupa toda a potência do sistema; ou seja, é sempre ensurdecedor. Além disso, como ocupa toda a potência, não deixa margens para o verdadeiro sinal, e assim nada do que deveria estar sendo amplificado está saindo nas caixas. Mas, principalmente, esse uso máximo da potência sobrecarrega o sistema como nenhuma outra coisa conseguiria, e pode levar a queima de quase todos os aparelhos.

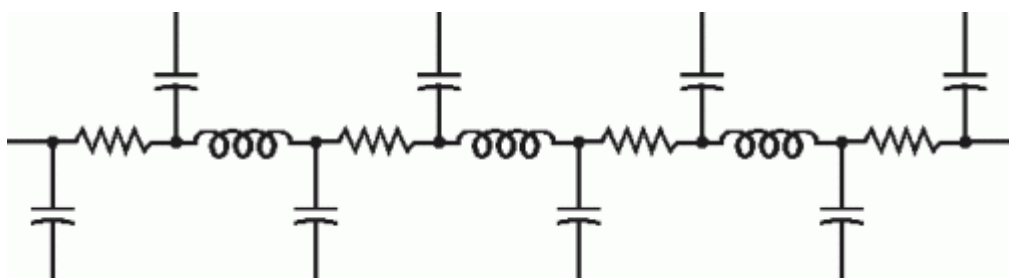
- **6.2.4.1** O método para se controlar microfonia é basicamente evitar que o som que sai do alto-falante seja captado pelo microfone. Em primeiro lugar se deve evitar que o som direto do alto-falante atinja o microfone. É óbvio, um microfone apontado para uma caixa vai captar o som desta. Deve-se em primeiro lugar, portanto, evitar a colocação dos microfones afrente das caixas. Outro procedimento simples é colocar menos microfones; quanto menos microfones, menor é a chance de captação. Dobrando o número de microfones (de 1 para 2, de 2 para 4) o ganho antes de microfonia cai 3 dB, isto é, se antes uma determinada intensidade provocava microfonia, agora a microfonia é provocada com 3/4 dessa intensidade. O uso de microfones e alto-falantes direcionais também melhora o ganho antes de microfonia. Microfones cardióides ou hipercardióides (unidirecionais) podem aumentar o ganho antes de microfonia em até 6 dB, por desconsiderar o som que vem de trás deles — num palco, o som da platéia e dos alto-falantes. E, sobretudo, de alguns alto-falantes apontados diretamente para o microfone — os retornos. É sempre bom deixar a parte de trás do microfone apontando exatamente para o retorno. O uso de alto-falantes com dispersão bastante direcional (cornetas) pode também aumentar o ganho antes de microfonia, em até 10 dB. Mas esse ganho pode ser enganoso. Se há cornetas apontando para o público perto do palco, por exemplo, esse ganho cai, principalmente se forem cornetas de frequências graves, já que os graves são menos direcionais, e se espalham mais, podendo mais facilmente atingir o microfone.
- **6.2.4.2** Em segundo lugar deve-se evitar que o som reverberante atinga o microfone. A reverberação deve ser pelo menos 6 dB menor que o som direto (o som a ser captado — a voz do cantor, por exemplo) para que não haja microfonia. O uso de abafadores acústicos no espaço afrente do microfone pode ajudar, principalmente se ele está perto de uma parede que esteja refletindo o som. Também pode não adiantar nada, já que na maior parte do tempo haverá algo (como a cabeça de um cantor) entre o microfone e o abafador. A colocação de obstáculos afrente do microfone (também como a cabeça de um cantor) pode mudar a maneira como as reflexões atingem o microfone, criando microfonia. Assim, um microfone estável sem o cantor à sua frente pode provocar microfonia com o cantor. Por outro lado, dobrando a distância da fonte de som ao microfone, o ganho antes de microfonia cai 3 dB.
- **6.2.4.3** Em terceiro lugar a resposta de frequência deve ser melhorada. Hoje em dia já se sabe que a maioria dos casos de microfonia são acionados por um problema de equalização associado a uma particularidade acústica do ambiente. Por exemplo, seria o caso de um alto-falante que tem uma resposta mais forte em uma determinada frequência, colocado num ambiente que tem essa mesma frequência como ressonância. Quando for emitido qualquer som com essa frequência, ela vai ressoar intensamente, e provavelmente vai ser captada pelo microfone, começando uma microfonia. Se é usado um analisador de frequências para equalizar o sistema, esse problema é ultrapassado. Mas, é claro, não é todo mundo que tem um analisador de frequências. Para esses pobres infelizes, há um modo prático de se remediar microfonia causadas por frequências muito intensas: aumente o volume do sistema até o ponto onde ele comece a dar microfonia. O sistema de som começa a “apitar”. Esse “apito” tem uma frequência, e é essa frequência que deve ser abafada no equalizador.

◆ **6.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS** — Espero que este **Guia** tenha sido útil para auxiliá-lo a compreender toda esta parafernália ao seu lado no palco. No princípio pode parecer um volume muito grande de

informações, mas com a prática fica mais evidente quais são as informações importantes e quais não são, quais são as invariáveis e quais são as que mudam muito de situação para situação. Sobre tudo esteja sempre atento a experiências não-conhecidas, e nunca tenha medo de tentar coisas novas.

Pra terminar, algumas recomendações na passagem do som, o momento em que os músicos testam o sistema de som montado:

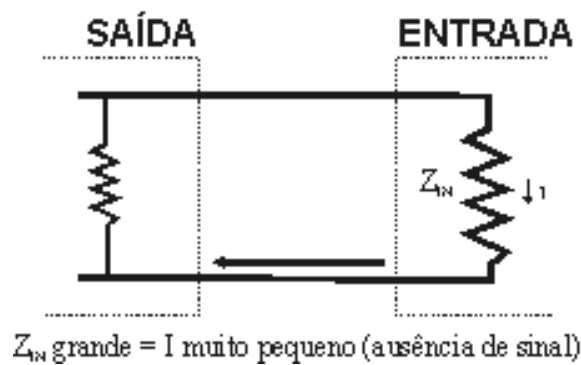
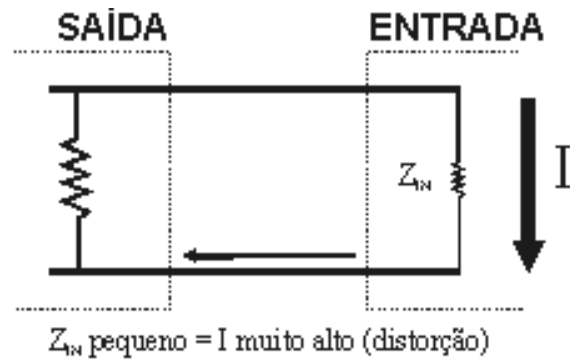
- não equalize os instrumentos, ou o som geral, antes da passagem de som;
- no controle de microfonia por diminuição de frequências (ver **6.2.4.3**), o método de aumentar o volume e diminuir a frequência da microfonia deve ser repetido umas 3 vezes sucessivas, para um nível maior de segurança. E sempre faça isso com alguém na frente de cada microfone.



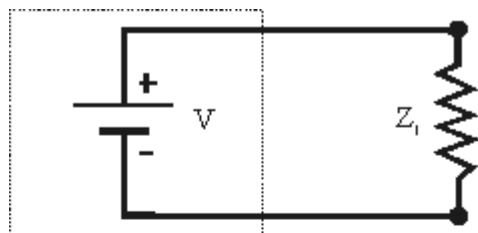
so01: o que um cabo representa para um circuito.

AWG nº (B&S)	Diâmetro (mm)	Resistência a 300 m (Ω)	AWG nº (B&S)	Diâmetro (mm)	Resistência a 300 m (Ω)	AWG nº (B&S)	Diâmetro (mm)	Resistência a 300 m (Ω)
1	7.348	0.1260	15	1.450	3.247	29	0.2859	83.44
2	6.544	0.1592	16	1.291	4.094	30	0.2546	105.20
3	5.827	0.2004	17	1.150	5.163	31	0.2268	132.70
4	5.189	0.2536	18	1.024	6.510	32	0.2019	167.30
5	4.621	0.3192	19	0.9116	8.210	33	0.1798	211.00
6	4.115	0.4028	20	0.8118	10.35	34	0.1601	266.00
7	3.665	0.5080	21	0.7230	13.05	35	0.1426	335.00
8	3.264	0.6045	22	0.6438	16.46	36	0.1270	423.00
9	2.906	0.8077	23	0.5733	20.76	37	0.1131	533.40
10	2.588	1.018	24	0.5106	26.17	38	0.1007	672.60
11	2.305	1.284	25	0.4547	33.00	39	0.0897	848.10
12	2.053	1.619	26	0.4049	41.62	40	0.0799	1069.00
13	1.828	2.042	27	0.3606	52.48	41	0.0711	1323.00
14	1.628	2.575	28	0.3211	66.17	42	0.0633	1667.00

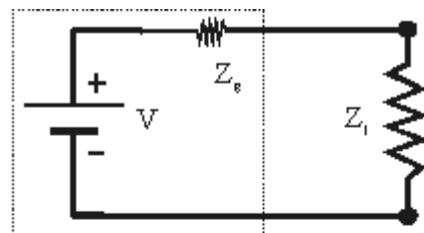
so02: tabelas de grossuras de fios.



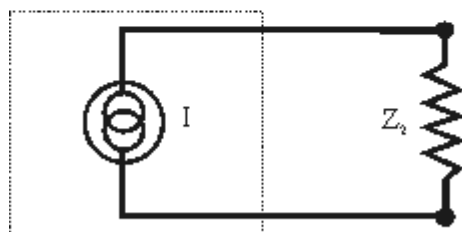
so03: o que acontece quando há ligações inapropriadas de impedâncias.



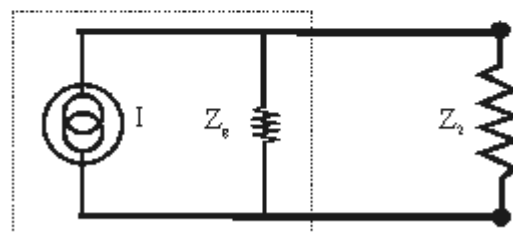
Um gerador ideal de tensão
 (em todas as cargas que produz)



Um gerador real de tensão
 (um pouco de V fica aplicado em Z_g)

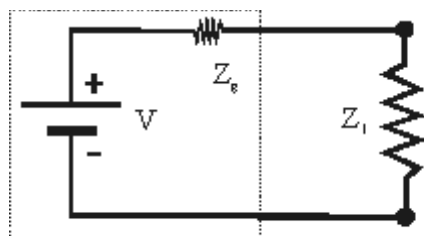


Um gerador ideal de corrente
 (em todas as cargas que produz)

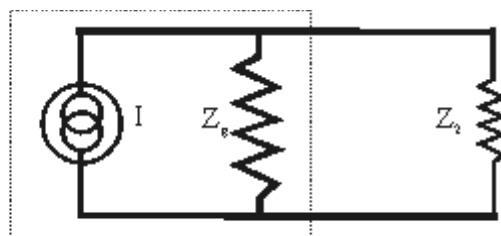


Um gerador real de corrente
 (um pouco de I vai fluir por Z_g)

so04: geradores ideais e reais.

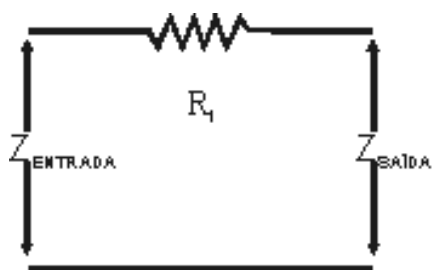


V_r é muito menor que V_1



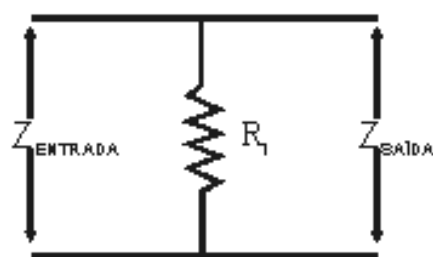
I_r é muito menor que I_2

so05: como funciona uma ligação apropriada de impedâncias.



$$Z_{ENTRADA} > Z_{SAIDA}$$

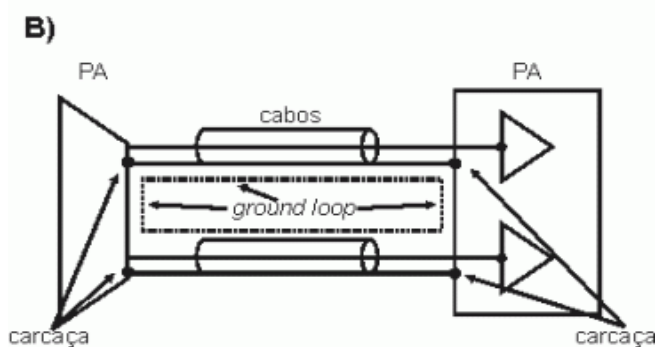
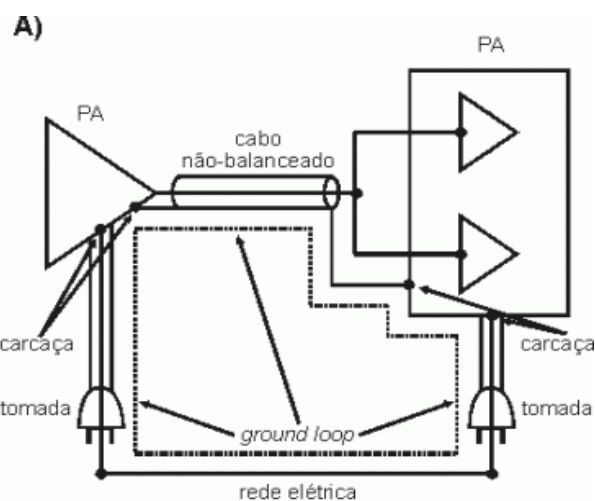
$$R_1 = Z_{ENTRADA} - Z_{SAIDA}$$



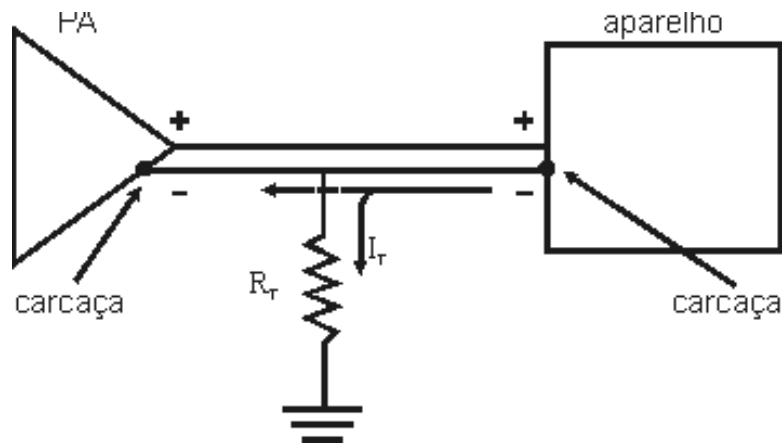
$$Z_{ENTRADA} < Z_{SAIDA}$$

$$R_1 = \frac{Z_{ENTRADA} \times Z_{SAIDA}}{Z_{ENTRADA} + Z_{SAIDA}}$$

so06: PADs.



so07: exemplos de formação de *ground loops*.



so08: como a resistência do fio terra (R_T) pode influir no aterramento.



Cannon (macho)

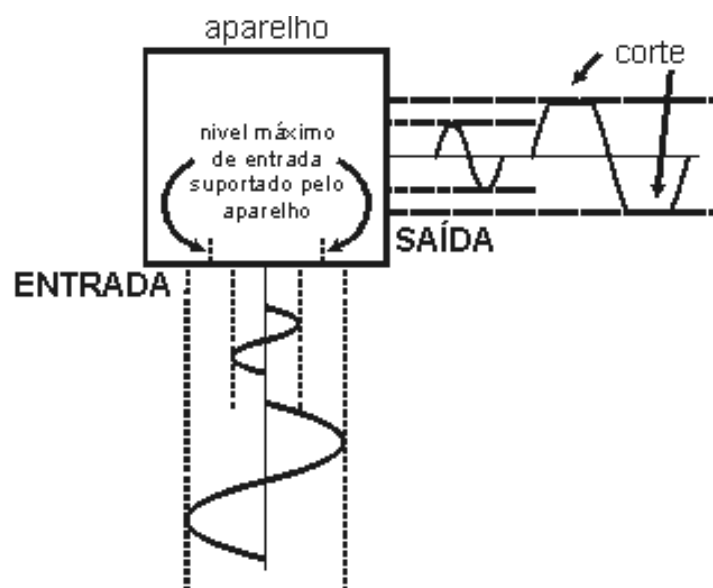


Phone plug



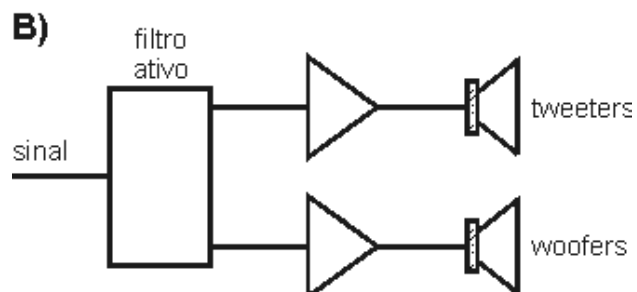
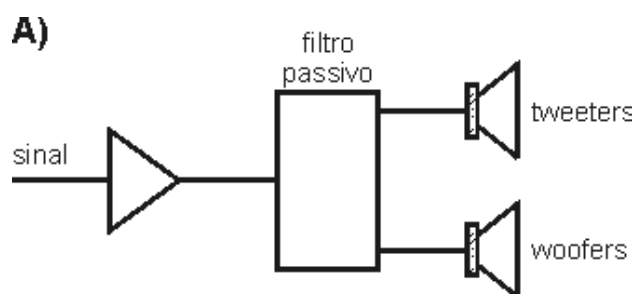
RCA

so09: conexões mais comuns.

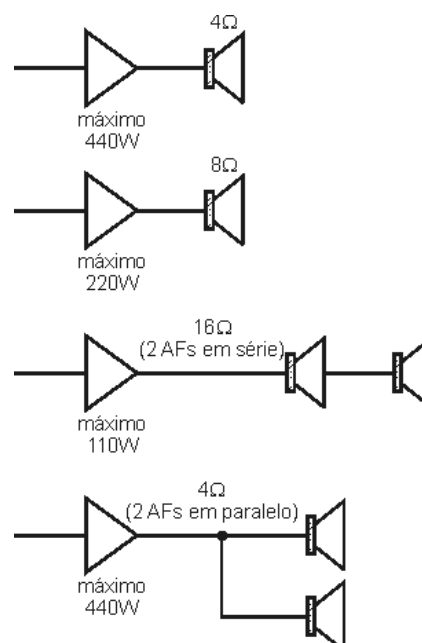


so10: o que acontece na distorção por overload:

- 1) sinal baixo;
- 2) sinal alto.



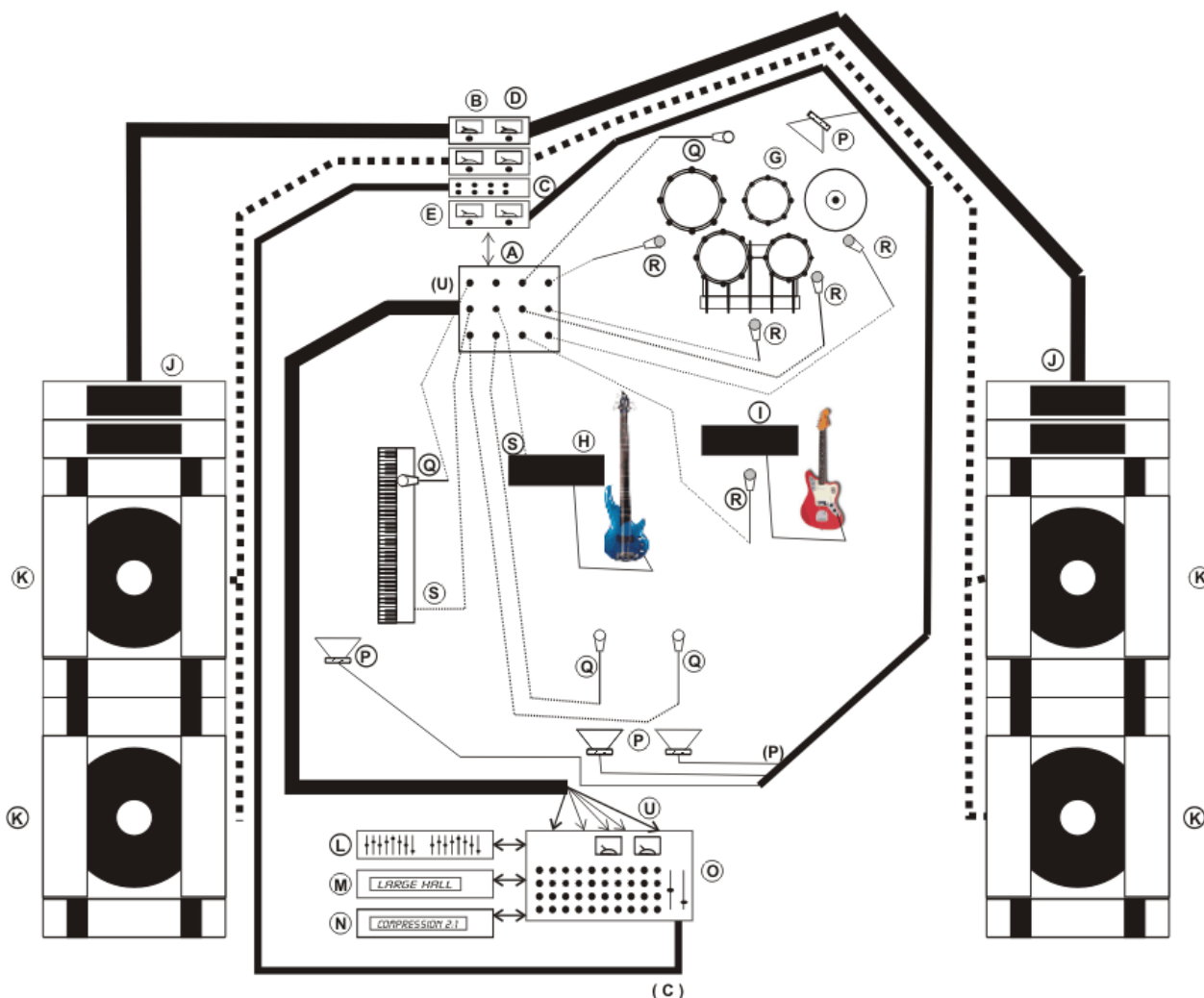
so11: tipos de divisão de frequências entre alto-falantes.



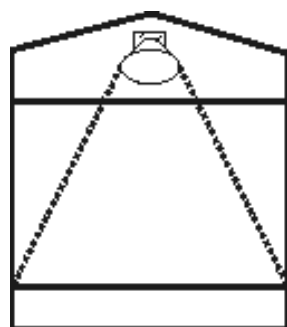
so12: relação entre impedâncias de alto-falantes e potências de amplificadores.



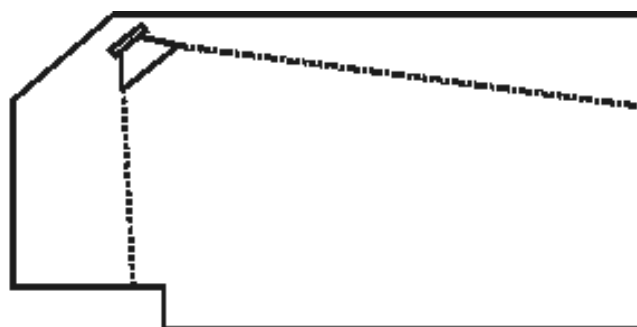
so13: *spot* de retorno.



so14: diagrama de um sistema de sonorização completo.

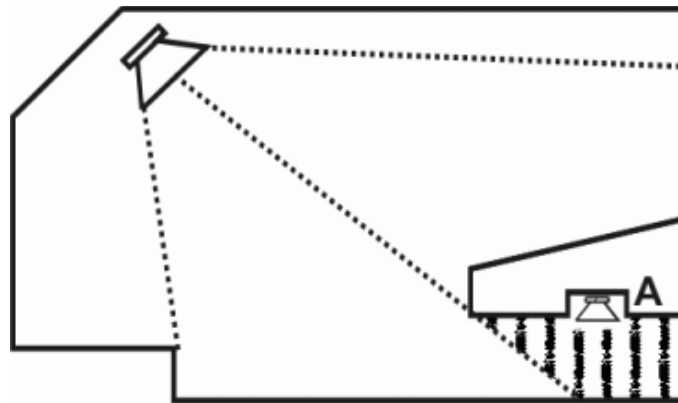


vista frontal

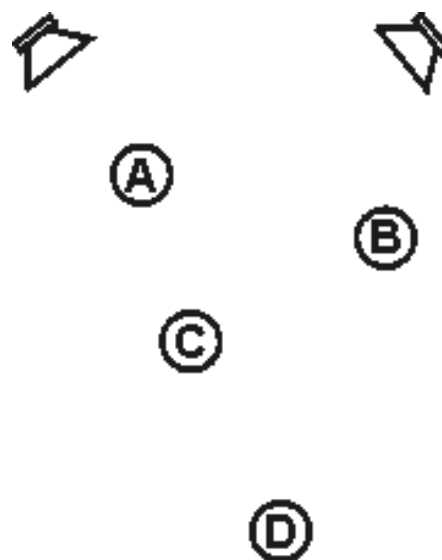


vista lateral

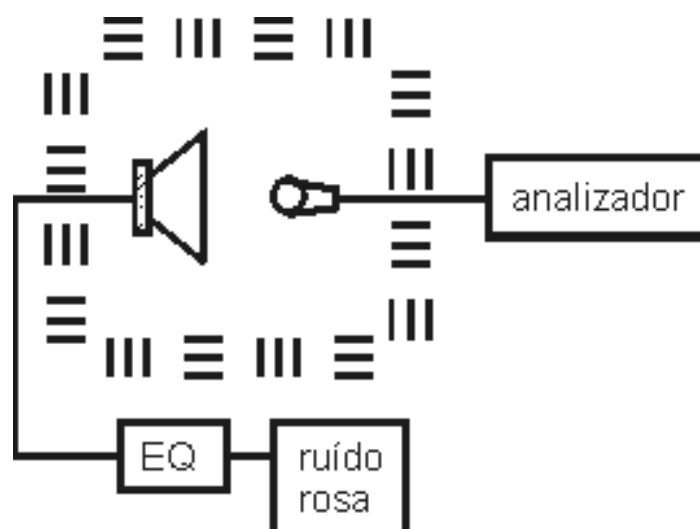
so15: cluster central.



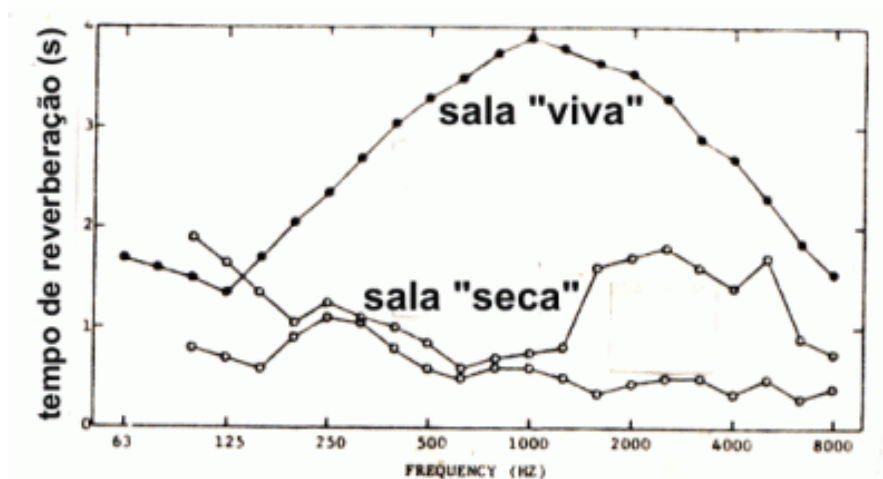
so16: problemas com *cluster* central. A área hachurada não é atingida pelo som do cluster, sendo necessário um alto-falante separado (A).



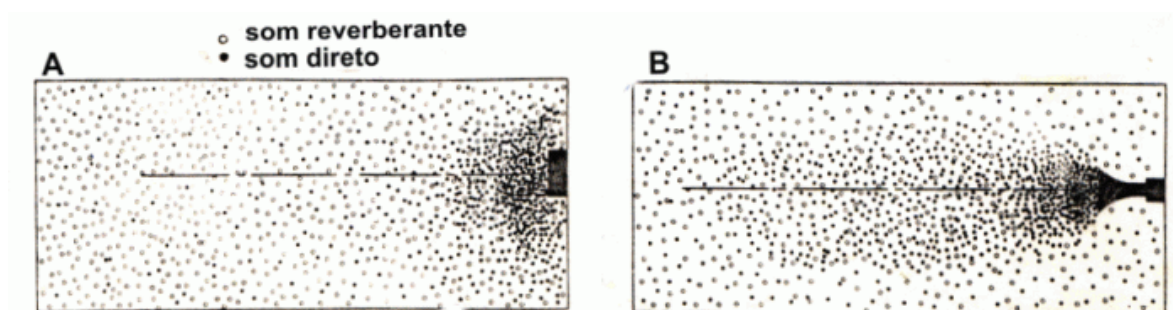
so17: *split clusters*. Ouvintes em C ou D captarão melhor o conjunto sonoro que A ou B.



so18: esquema de ligação de um analisador de frequências.



so19: relação entre frequências e reverberações típicas.



so20: relação entre dispersão dos alto-falantes e reverberação:

- A) caixas;
- B) cornetas.

Apêndice I - ELETRICIDADE

I. Esse apêndice foi feito para você que não sabe a diferença entre uma tomada e o focinho de um porco. Ele lhe dará todas as informações básicas sobre eletricidade e eletrônica para que você entenda este Guia.

◆ **I.1** Começemos por definir o que é eletricidade. A eletricidade é uma energia que se origina das interações de certos tipos de partículas do interior do átomo, que forma as substâncias diferentes da matéria do universo. Dentro do átomo, a partícula mais leve que leva carga elétrica é o elétron, que orbita, no núcleo do átomo, em volta de outra partícula de carga elétrica inversa à do elétron, e de massa comparativamente bem maior, o próton (**fig. ap1.01**).

Os átomos, em circunstâncias normais, contêm elétrons na mesma quantidade que prótons. Frequentemente, os elétrons que estão mais afastados do núcleo se desprendem do átomo com muita facilidade, passando a girar em volta de núcleos de outros átomos. Os elétrons que assim se desprendem são os elétrons livres, que são encontrados em grande quantidade em algumas substâncias, como os metais (**fig. ap1.02**).

Um átomo normal tem quantidades iguais de elétrons e prótons, ou seja, igual quantidade de cargas elétricas positiva e negativa. Se, por ação de diferentes forças (atrito, magnetismo etc.), um material qualquer passar a conter um excesso de elétrons, ficará carregado com energia elétrica negativa. Ao contrário, com a ausência de elétrons, haverá mais prótons do que elétrons no material, e o material fica carregado com energia elétrica positiva.

◆ **I.2** Assim fica definido o que seja tensão elétrica. É o excesso ou falta de elétrons num material. Ela é medida em volts (V). Assim, em uma tensão elétrica de 1 V, vão faltar relativamente poucos elétrons em seu interior. Em uma tensão de -70 V, ele vai ter elétrons sobrando num nível suficiente para lhe dar um choque. Uma tensão de 1.000 V é o nível geralmente encontrado em cabos de transmissão, em grandes cidades, capaz de eletrocutar instantaneamente um homem.

◆ **I.3** O estado de tensão elétrica é um estado não-natural. O material carregado eletricamente terá a tendência de repartir o excesso (ou falta) de elétrons com qualquer outro material com que entre em contato. Quando isso acontece, há uma passagem de elétrons de um material para outro. Essa passagem é chamada de corrente elétrica. Assim, a corrente elétrica é o movimento de elétrons de um lugar de maior tensão elétrica para um lugar de menor tensão elétrica.

Agora já se pode entender o que acontece em aparelhos elétricos, ligados a uma tomada. Um orifício (um pólo) da tomada é carregado eletricamente pela companhia de eletricidade, e o outro não. Quando se liga um aparelho na tomada, elétrons saem do pólo com tensão (o pólo ativo) e passam através do fio e do aparelho até o pólo neutro, criando corrente elétrica. Essa corrente, esse movimento de elétrons, é usada para fazer alguma coisa, como criar calor ou mover um motor.

A intensidade de corrente elétrica é dada em ampères (A). O nível de corrente usado em aparelhos de um sistema de som na maioria das vezes não chega a 1 A.

◆ **I.4** Os aparelhos de um sistema de som funcionam basicamente da mesma forma. Neles o som é transformado em corrente, que corre por dentro deles. As diferenças entre os diversos sons são transformadas em correntes diferentes (um som com variações de intensidade é transformado em uma corrente com diferenças de intensidade correspondentes, por exemplo). A corrente responsável pelo som dentro de um aparelho de som, portanto, tem as mesmas características do som que representa, tem amplitudes e frequências (ver [II.2](#)), e por isso não é linear, não é "simples". É tão complexa e sujeita a variações quantas forem a complexidade e as variações do som correspondente ([fig. ap1.03](#)). Por isso a corrente responsável pelo som dentro de um aparelho desses tem um nome diferente; é chamada de sinal.

Um sinal elétrico tem valores que variam muito em curtos espaços de tempo. Para se medir o nível desse sinal elétrico, portanto, podem ser usados termos diferentes. O exemplo mais simples é a diferença entre valores médio e de pico ([fig. ap1.03](#)). O valor médio mede o nível seguido pela maioria dos valores diferentes do sinal. O valor de pico mede os valores mais altos atingidos pelo sinal.

◆ **I.5** Um aspecto interessante de uma corrente elétrica é a ligação entre eletricidade e magnetismo. Uma corrente elétrica passando por um fio vai fazer com que esse fio tenha uma força magnética, isto é, que ele se comporte como um ímã. Assim, um fio com corrente vai atrair metais imantáveis, e, da mesma forma, ímãs próximos a fios com corrente elétrica vão influir na força magnética do fio, mudando sua corrente. Esse princípio é a base para muitas aplicações da eletricidade.

◆ **I.6** Agora que você já está inteirado de alguns princípios básicos de eletricidade (assim espero), podemos passar a falar da eletrônica em si. O primeiro termo de importância dentro dela é o conceito de circuito elétrico. Circuito elétrico é basicamente o caminho seguido por uma corrente dentro de um aparelho elétrico. Essa corrente pode se dividir em vários pontos dentro do aparelho, e cada uma dessas divisões pode passar por componentes eletrônicos diferentes. Cada caminho completo percorrido pode ser considerado um circuito ([fig. ap1.04](#), [fig. ap1.05](#)).

◆ **I.7** Resistência elétrica é a dificuldade à passagem de corrente apresentada por um material ou dispositivo. Com uma resistência alta a corrente vai passar mais dificilmente pelo material, e vice-versa. A resistência elétrica é medida em ohms (Ω). Um ohm (1Ω) é um valor bem pequeno de resistência. Podem muitas vezes serem encontrados valores de milhares de ohms ($K\Omega$; $1 K\Omega = 1.000\Omega$).

Alguns componentes eletrônicos são feitos para dar uma determinada resistência à corrente. São chamados de resistores. Os resistores têm um símbolo próprio, usado para representá-los no estudo de circuitos elétricos ([fig. ap1.06a](#)).

- **I.7.1** Uma resistência alta ligada a uma tensão vai criar uma corrente pequena. Uma resistência baixa, por outro lado, vai criar uma corrente alta. Quanto menor a resistência, maior a corrente. Assim, quando a resistência for o num circuito, a corrente tenderá a ser infinita. Uma forma típica de se conseguir isso é ligando os dois pólos de uma tomada com um fio, que tem uma resistência baixíssima. É claro que a corrente não chegará a ser infinitamente grande (isso é impossível), mas ela vai atingir níveis de energia tão altos que sobrecarregará o circuito, a tomada, os fios, tudo. É o chamado curto-circuito, que pode destruir um aparelho e criar até incêndios (pelo calor advindo da energia que gera).

◆ **I.8** A reatância elétrica também é a dificuldade à passagem de corrente. Mas essa dificuldade é causada por motivos diferentes da resistência comum, e por isso tem uma característica especial: ela varia com a frequência (ver **II.2**) da corrente (no caso aqui, a corrente é o sinal — ver **I.4**). Alguns componentes eletrônicos apresentam resistência alta a sinais com frequência elevada, e resistência pequena a sinais com frequência baixa. Isto é, quando a frequência for alta, o sinal não vai passar pelo componente. Esses componentes são chamados de indutores, e o exemplo mais comum de indutor é a bobina, um dispositivo formado de um fio enrolado muitas vezes em torno de algum material. A indutância de uma bobina tem uma medida — o henry (H). Outros componentes eletrônicos têm uma resistência alta a baixas frequências, e uma resistência baixa a frequências altas. Eles são chamados de capacitores, e são formados basicamente por duas pequenas placas de metal paralelas entre si, que acumulam cargas elétricas (elétrons) quando ligadas a alguma corrente.

A reatância de um capacitor é medida em faradays (F). Um faraday é um alto valor; geralmente são encontrados valores de milionésimos de faraday (micro-faradays, ou F). A bobina e o capacitor têm também símbolos para os representarem, como os resistores (**fig. ap1.06b** e **fig. ap1.06c**).

◆ **I.9** Assim, dentro de um circuito podem ser achados componentes com resistências e componentes com reatâncias. Esses componentes reativos podem ter resistências ou não, dependendo da frequência da corrente que passa por eles. A soma das resistências e das reatâncias de um circuito numa determinada frequência é chamada de impedância elétrica. Ela é representada pela letra Z, e é dada em ohms. Assim ler " $Z = 8\Omega$ " significa ler "esse circuito dá uma resistência e uma reatância, somadas, de 8Ω ". Essa impedância já tem embutida nela as variações de reatância vindas de variações de frequência. Assim, o valor 8Ω , para um circuito como o acima, pode ser em geral considerado um valor fixo, mesmo que as reatâncias possam mudar com a frequência.

◆ **I.10** Além desses componentes eletrônicos, outros muito importantes são os componentes ativos. Eles podem, de acordo com a forma com que são usados, aumentar, isto é, amplificar o volume de sinal que passa por eles. Por isso são de grande importância num sistema de som. Há vários tipos de componentes ativos: válvulas, transistores, circuitos integrados etc.

◆ **I.11** Geradores são dispositivos que fornecem valores fixos de tensão ou de corrente a um circuito. Geradores de tensão são bem comuns; uma pilha, por exemplo, é um gerador de tensão. Uma tomada também. Geradores de corrente são mais raros, mas podem ser encontrados. Ocorre que os aparelhos dentro do sistema de sonorização são considerados como "geradores de sinal"; por exemplo, um microfone será um gerador de sinal para a mesa de som, que será a geradora de sinal para os alto-falantes etc. (sinal — ver **I.4**). Assim, determinados aparelhos serão considerados geradores de tensão, e outros, geradores de corrente. Um amplificador de potência, por exemplo, pode ser considerado um gerador de corrente (ver 4.2). Os símbolos de geradores de tensão e de corrente são vistos na **fig. ap1.06d** e **fig. ap1.06e**.

◆ **I.12** Existem duas formas básicas pelas quais diversas resistências podem ser ligadas entre si. A **fig. ap1.07a** mostra a forma básica de um circuito elétrico: uma resistência ligada a um gerador de tensão, criando uma corrente.

Na ligação em série (**fig. ap1.07b**) uma outra resistência é ligada de tal forma que a mesma corrente passe pelas duas resistências. As resistências formam uma "fila" entre si. Sendo a tensão fixa, dada pelo gerador, como a resistência total aumenta a corrente diminui. A tensão por sua vez fica dividida entre os dois resistores; um pouco dela vai ser aplicado sobre um, e um pouco sobre outro.

Na ligação em paralelo (**fig. ap1.07c**) os dois resistores são ligados à mesma tensão. Cada um vai ter uma corrente, e a soma dessas correntes individuais vai ser a corrente total. Ela vai ser por isso maior que o normal. Assim, com ligações em série a corrente diminui e a tensão sobre cada resistência é dividida. Nas ligações em paralelo a tensão é igual entre todas as resistências, e a corrente aumenta.

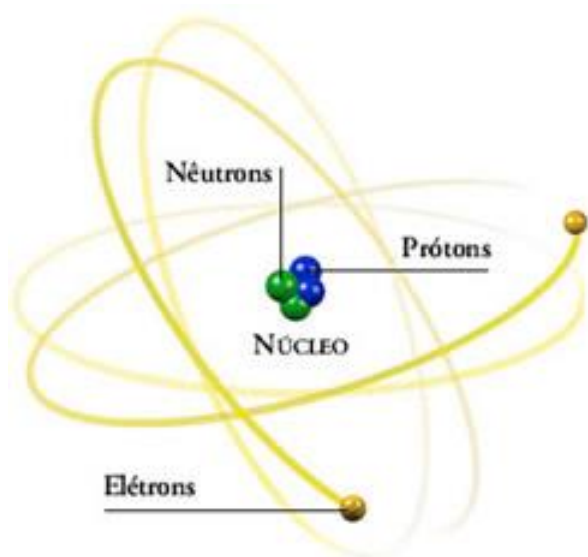
Para informações mais detalhadas sobre eletricidade e eletrônica, aqui vai uma bibliografia fácil de ser achada. Nela o assunto é tratado com mais profundidade, e em alguns casos há uma lista de livros especializados:

ENCICLOPÉDIA DELTA UNIVERSAL. Editora Delta, Rio de Janeiro, 1987. Verbete circuito.

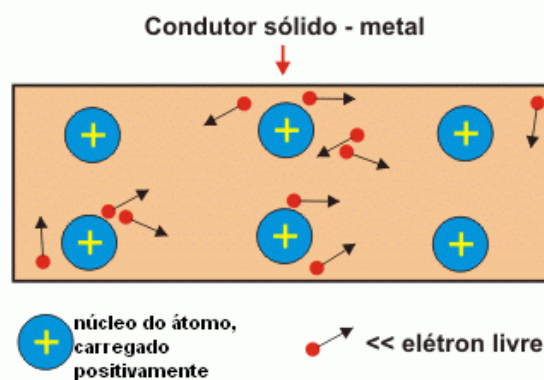
ENCICLOPÉDIA MIRADOR INTERNACIONAL. Encyclopaedia Britannica do Brasil, São Paulo, 1984.
Verbetes circuito, som — aparelhos de.

FRANCISCO RAMALHO JÚNIOR e outros. Os fundamentos da física. Editora Moderna, São Paulo, 1981.
Vol. 3 — Eletricidade.

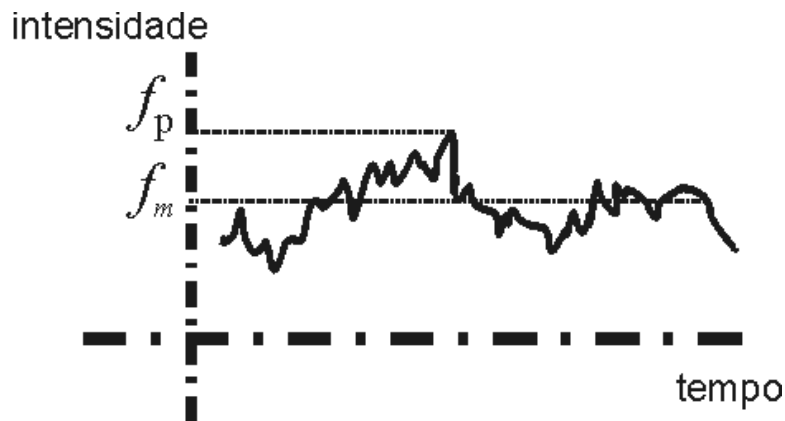
Wikipédia, a Enciclopédia digital. Portal online <http://www.wikipedia.org>. Verbete *Eletricidade*.



ap1.01 – esquema de representação de um átomo, com elétrons (com carga elétrica negativa) e prótons (com carga elétrica positiva).

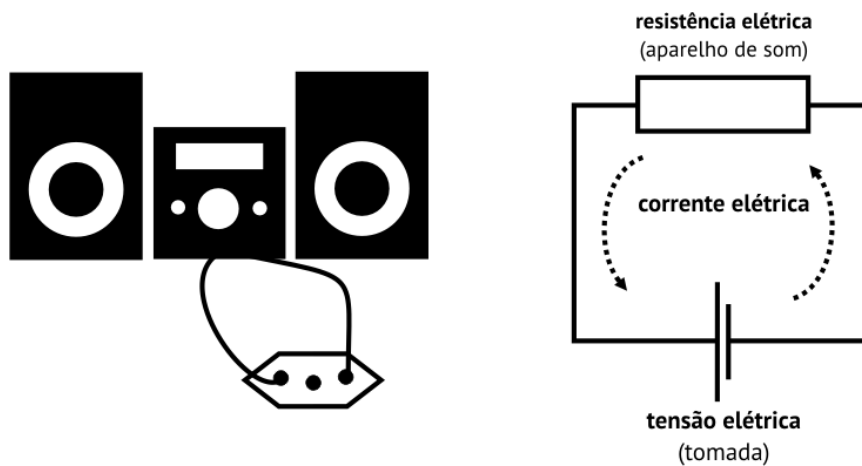


ap1.02 – representação de elétrons livres em um material condutor.

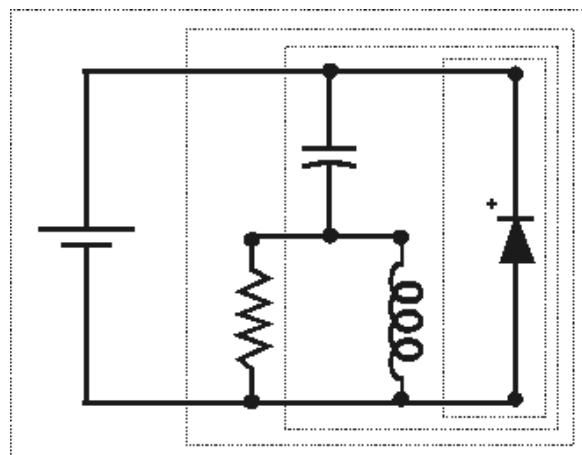


ap1.03: gráfico de um sinal elétrico:

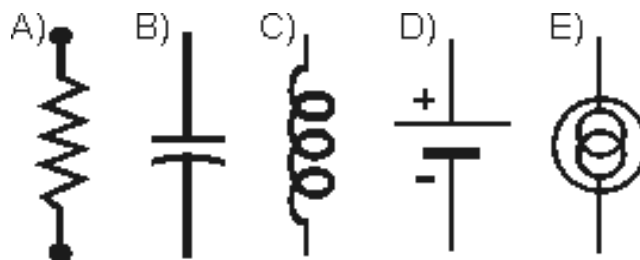
f_m) valor médio;
 f_p) valor de pico;



ap1.04: exemplo de circuito elétrico simples (a ligação de um aparelho de som); e ao lado, um esquema diagramático usado em eletrônica para simbolizar as ligações dos circuitos (as linhas pontilhadas são apenas uma indicação didática) .

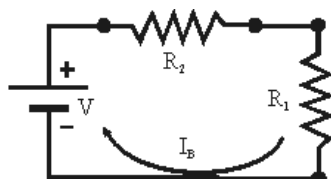
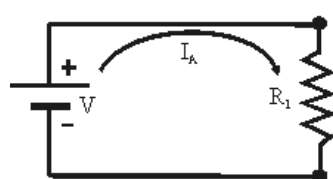


ap1.05: representação gráfica de um circuito elétrico (ver **ap1.3**): cada um dos quadrados pontilhados pode ser considerado um circuito elétrico.

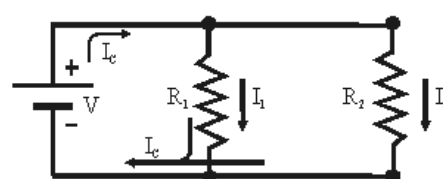


ap1.06: símbolos para representação gráfica de componentes eletrônicos:

- A) resistor;
- B) indutor (bobina);
- C) capacitor;
- D) gerador de tensão;
- E) gerador de corrente;



$$R_{TOTAL} = R_1 + R_2$$
$$I_B < I_A$$



$$I_C = I_1 + I_2$$
$$I_C > I_A$$
$$R_{TOTAL} < R_1$$
$$R_{TOTAL} < R_2$$

ap1.07: tipos básicos de circuito elétrico:

- A) simples;
- B) resistências em série;
- C) resistências em paralelo.

Apêndice II - SOM

II. Este apêndice trata de alguns aspectos fundamentais do som, que devem ser compreendidos para uma leitura proveitosa do Guia.

◆ **II.1** Em primeiro lugar, o que é som? Som é um determinado tipo de energia que se espalha pelo ar em ondas e que é captado por um sentido especial — a audição. Bonita forma de definição, não é? Som é tudo aquilo que ouvimos. Na verdade, essa é a melhor forma de definição.

Um som é formado por ondas de compressão e descompressão nas moléculas do ar. Uma onda sonora se caracteriza por espaços onde as moléculas ficam mais comprimidas que o normal e por outros onde elas ficam mais rarefeitas que o normal (*fig. ap2.01*). Por isso ele pode ser representado num gráfico (*fig. ap2.02*). Esse gráfico mostra o quanto o ar se comprime ou se distende durante um certo tempo. E é desse gráfico que podem ser deduzidos os principais parâmetros de um som:

◆ **II.2** Frequência — é a quantidade de vezes que o ar é comprimido e descomprimido dentro de um certo tempo. Mais ondas significam maior frequência; menos ondas, menor frequência (*fig. ap2.03*). É a frequência que nos permite distinguir sons graves de sons agudos. Sons graves têm frequências baixas; sons agudos têm frequências altas. A quantidade de frequência é medida geralmente em ciclos de compressão e descompressão por segundo, ou Hertz (Hz). Num som com uma frequência de 440 Hz o ar terá quatrocentas compressões e descompressões por segundo. Essa é a frequência correspondente à nota lá (aproximadamente, o som que escutamos ao tirar o telefone do gancho). O ouvido humano tem um limite de audibilidade que vai de 20 Hz a 20.000 Hz. Ondas que não estejam entre esses dois limites simplesmente não serão ouvidas. A *fig. ap2.04* mostra uma tabela comparativa entre diversos sons e a audibilidade humana. Mostra também os limites de audição de morcegos, golfinhos e gafanhotos, assim como a região de frequência da emissão de sons do cachorro e de pássaros.

◆ **II.3** Amplitude — é a intensidade das compressões e descompressões do som. Uma amplitude maior significa uma compressão maior, e vice-versa (*fig. ap2.05*). A amplitude nos permite distinguir sons fracos de sons fortes.

- **II.3.1** É na medição das amplitudes que fica mais evidente uma interessante característica dos sentidos humanos, conhecida como Lei de Fechner. As excitações dos nossos sentidos não são comparadas entre si por valores absolutos, mas pela variação que eles proporcionam entre si. Em outras palavras, uma variação de 2 para 4 será percebida por nós como uma variação igual a 4 para 8, não de 4 para 6. É a relação de dobro que importa, não a variação de 2. Isso é válido para qualquer sensação; por exemplo, o aumento de luminosidade dado por duas lâmpadas ao invés de uma é igual ao dado por quatro lâmpadas ao invés de 2. É válido também no campo das frequências; uma oitava é a diferença entre uma frequência e o dobro dela, seja de 200 para 400 Hz, ou de 1.000 para 2.000 Hz.

● **II.3.2** Por isso é usada para a medição de intensidades uma unidade que relaciona relações, não valores absolutos. Um Bell (B) é a relação entre um som o e outro dez vezes maior que o primeiro. Assim, se temos um violino numa orquestra, e aumentamos o número de violinos em dez vezes, a intensidade do som será 1 B maior. Aumentando de 10 para 100 violinos, o aumento é de mais 1 B. O aumento de 100 para 1000 violinos é um aumento de mais 1 B etc. Note-se que, apesar do aumento gigantesco de volume (de 1 para 1000), só percebemos um triplicar de intensidade.

A unidade Bell é um valor muito grande. Por isso geralmente é usada a décima parte dela, o decibel (dB). A variação de 1 dB é pouco perceptível, mas uma variação de 6 dB equivale ao dobro de volume. Usando dois alto-falantes ao invés de um, por exemplo, a intensidade do som aumenta 6 dB. O valor o dB é um valor convencionalmente aceito de mínima amplitude audível. A tabela da **fig. ap2.06** mostra uma comparação entre diversas intensidades e seu valor correspondente em dB.

◆ **II.4 Harmônicos** — essa é uma característica interessante não só do som como também de qualquer outra coisa que vibre. Tomemos uma corda de violão como exemplo (**fig. ap2.07**). Ela vai vibrar em todo o seu comprimento. Mas ao mesmo tempo vão haver vibrações paralelas e simultâneas na mesma corda; se olhamos para a corda vibrando o que se percebe é uma ondulação muito complexa, muito "torta". Essas vibrações paralelas ocorrem com "pontos de apoio" na metade, no terço etc dessa corda. Cada uma dessas vibrações é chamada de harmônico, e a soma dos diversos harmônicos que se produzem com um som vai criar uma nova forma de onda, um novo tipo de som, como se vê na **fig. ap2.08**. São as variações entre a quantidade e o conteúdo dos diversos harmônicos que irá produzir as diferenças de timbre entre os diversos sons (**fig. ap2.08b**).

● **II.4.1** Sendo assim, praticamente todos os sons que ouvimos têm dezenas de componentes, de "partes", umas graves, outras agudas. E isso é de extrema importância num sistema de som; praticamente 60% do trabalho no sistema está ligado aos graves e agudos de cada som, a como ajustar os aparelhos de forma a que esses graves e agudos soem naturalmente. As intensidades de cada parte grave e aguda do som podem ser identificados num gráfico, chamado de espectro de frequência. Ele mostra, em cada som, quais são as partes graves ou as agudas mais importantes de um determinado som (**fig. ap2.09**).

Não confunda a **fig. ap2.08b** e a **fig. ap2.09**. A primeira mostra o resultado da soma de todos os harmônicos de cada som; a segunda mostra a intensidade de cada harmônico. Isto é, a primeira mostra o todo, e a segunda, cada uma das partes. Para este **Guia** o gráfico do espectro de frequência é muito mais importante.

◆ **II.5 Reflexão** — é o princípio básico do comportamento de um som num ambiente fechado. As ondas sonoras saem de um determinado ponto (a fonte sonora) e se propagam em círculos concêntricos até atingir um obstáculo.

Aí podem acontecer duas coisas: ou o obstáculo é feito de um material isolante acústico (tecido, fibra etc), e então as ondas serão absorvidas, ou o obstáculo é feito de um material refletor (madeira, concreto etc), e as ondas voltam pelo mesmo caminho de onde vieram (**fig. ap2.10**). Mais ou menos igual ao lançamento de uma pedra numa piscina: ao tocar a água a pedra cria ondas que se espalham até atingirem a borda da piscina. Dependendo de como essa borda for feita, essas ondas podem desaparecer ou voltar para o meio da piscina.

◆ **II.6 Ondas fora de fase** — esse é outro princípio acusticamente importante. Se duas ondas começam em tempos diferentes, elas vão se somar entre si e dar origem a uma terceira onda, híbrida. Diz-se que elas estão fora de fase. Se duas ondas estão fora de fase de tal forma que uma seja o contrário da outra, a soma delas será zero, e portanto haverá uma anulação do som (**fig. ap2.11**). A anulação de sons por ondas fora de fase é muito comum em acústica, e é um dos principais problemas que qualquer sistema de som enfrenta.

◆ **II.7** Advindo dos conceitos de reflexão e de ondas fora de fase é o conceito de frequência de ressonância. Mas antes de se falar nele deve-se falar no espaço percorrido por uma onda de som. O som tem uma velocidade no ar de 340 m/s. Se considerarmos que uma frequência de 440 Hz tem 440 ciclos em um segundo, esses 440 ciclos ocupam um espaço de 340 m. Assim, quando tocarmos a nota lá no piano a onda sonora percorrerá 340 m até se comprimir e descomprimir 440 vezes. Qual seria o espaço percorrido por uma compressão e descompressão?

Dividindo 440 por 340 chegamos ao valor de 1.3 metros. Assim, se for construída uma caixa de um metro e trinta centímetros e a nota lá for tocada dentro dessa caixa, quando atingir as paredes da caixa o som refletirá, e a onda que voltará estará exatamente em fase com a onda que está indo na direção da parede. Assim a reflexão se somará ao som normal, e o resultado será um som mais forte (**fig. ap2.12**). É isso então o significado de frequência de ressonância de um objeto: a frequência na qual as reflexões de um som dentro desse objeto estão em fase (ver **II.6**) com o som não refletido, frequência que por isso vai soar mais fortemente dentro desse objeto do que as outras.

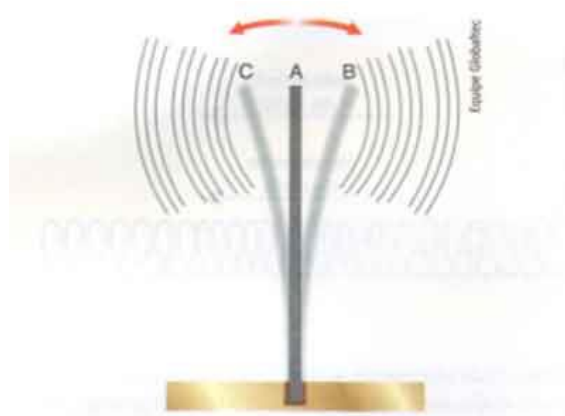
Eis aqui uma bibliografia fácil para maiores informações, e para uma lista de livros mais aprofundada:

ENCICLOPÉDIA DELTA UNIVERSAL. Editora Delta, Rio de Janeiro, 1987. Verbete *som*.

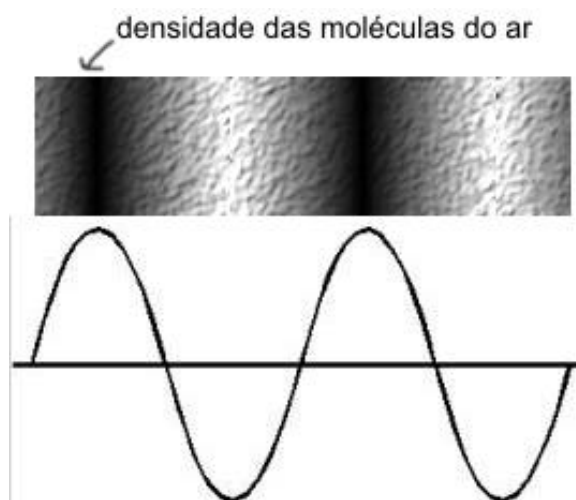
ENCICLOPÉDIA MIRADOR INTERNACIONAL. *Encyclopaedia Britannica do Brasil*, São Paulo, 1984. Verbete *vibração*.

FRANCISCO RAMALHO JÚNIOR e outros. *Os fundamentos da física*. Editora Moderna, São Paulo, 1981. Volume 2 — *Ondas*.

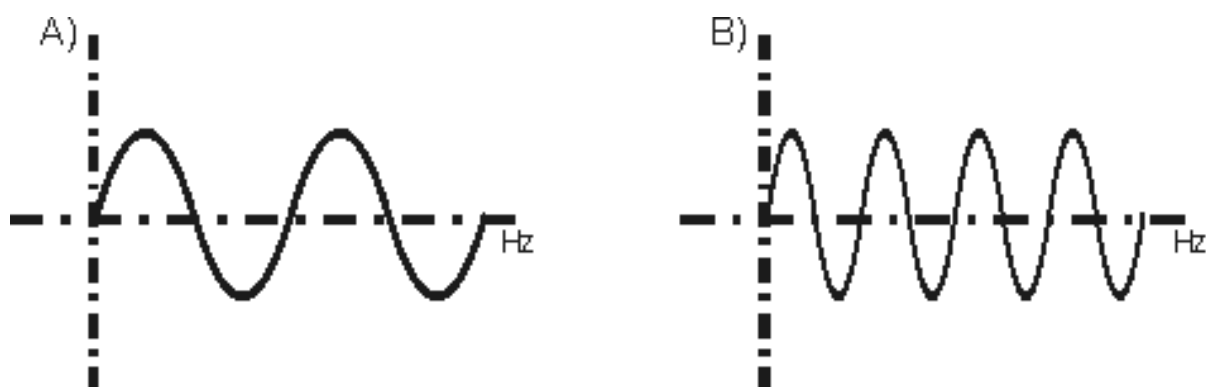
Wikipédia, a Enciclopédia digital. Portal online <http://www.wikipedia.org>. Verbete *Som*.



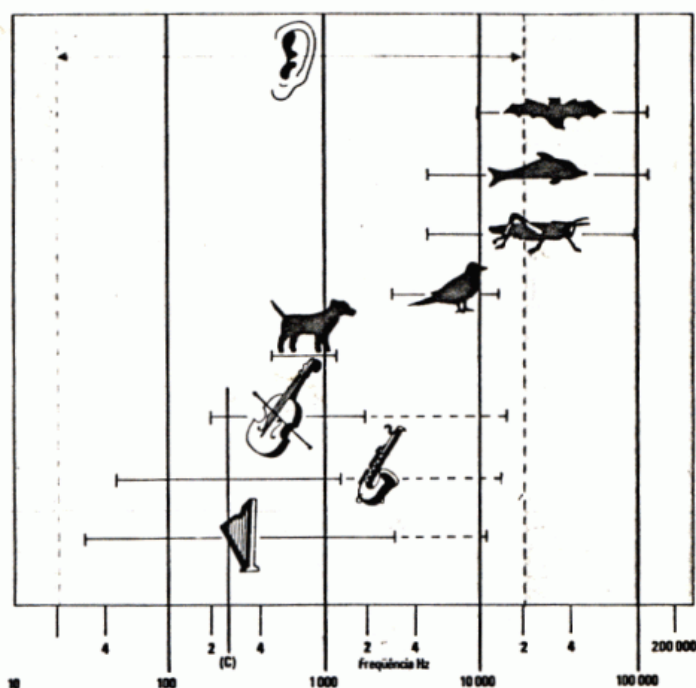
ap2.01: a vibração provoca a compressão e descompressão das moléculas do ar (o som).



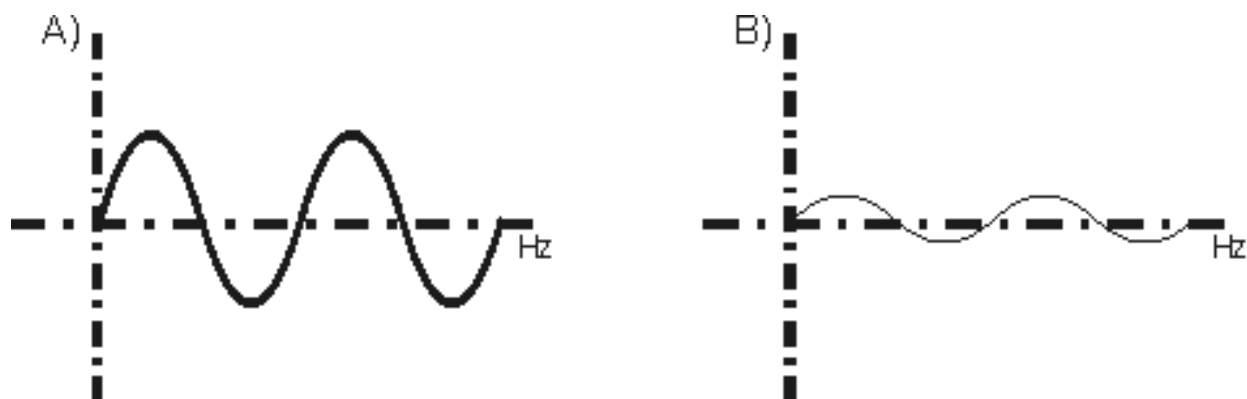
ap2.02: representação das ondas sonoras por um gráfico;



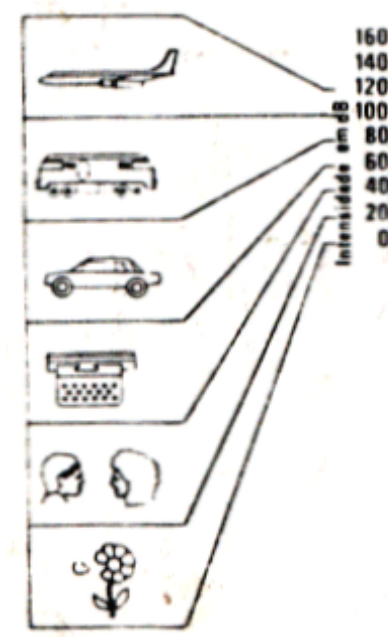
ap2.03: frequência:
 A) frequência baixa (som grave);
 B) frequência alta (som agudo);



ap2.04: exemplos práticos de sons quanto à frequência;



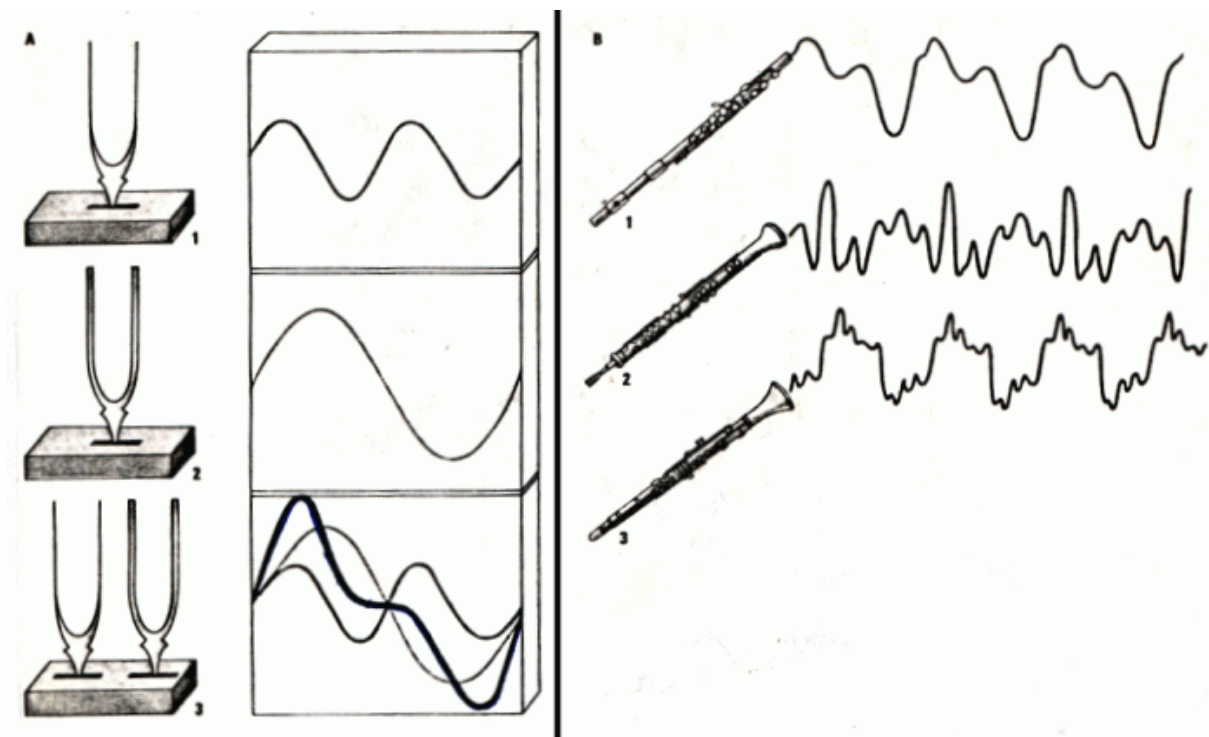
ap2.05: amplitude:
A) amplitude baixa (som fraco);
B) amplitude alta (som forte);



ap2.06: exemplos práticos de intensidade em dB;

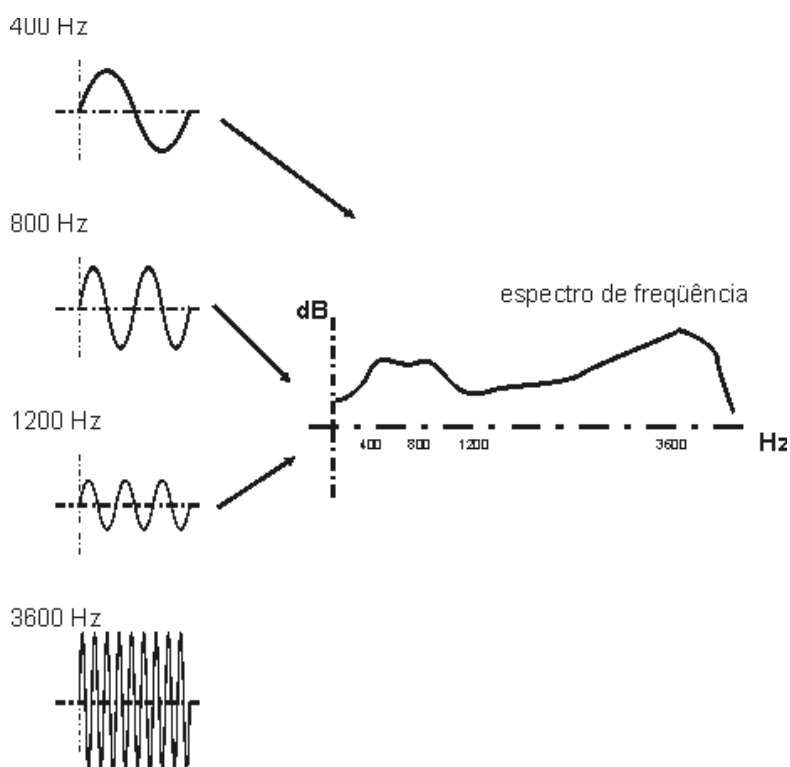


ap2.07: representação de cada um dos harmônicos de uma corda vibrando;

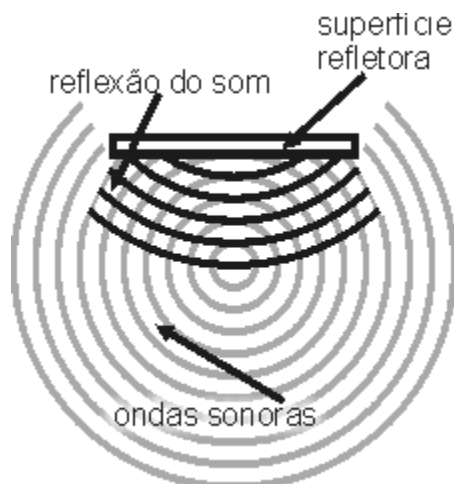


ap2.08:

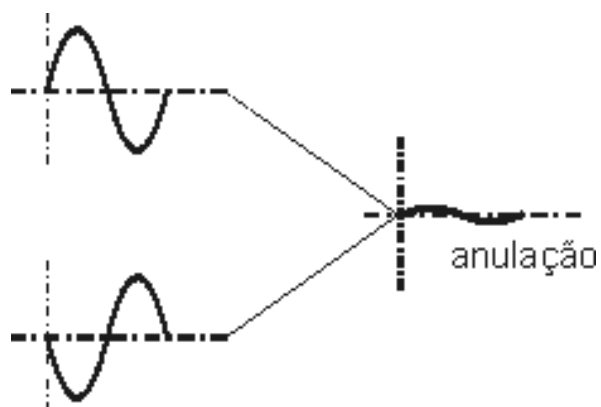
- A) quando dois sons se somam (como o som de dois diapasões separados por uma oitava), o resultado é um terceiro som, diferente dos dois primeiros;
 B) a soma de harmônicos diferentes vai formar os timbres diferentes de uma flauta (1), um oboé (2) e um clarinete (3);



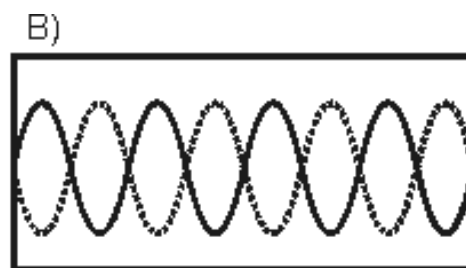
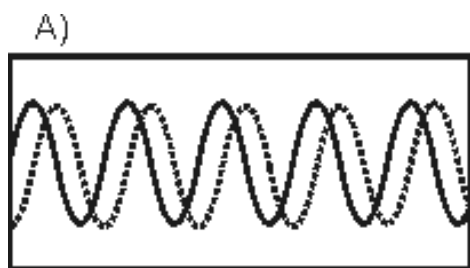
ap2.09: gráfico do espectro de frequências de um som com quatro harmônicos principais;



ap2.10: reflexão do som;



ap2.11: anulação de sons fora de fase;



ap2.12:

- A) nas frequências comuns o som refletido está fora de fase com o som direto;
- B) na frequência de ressonância o som refletido está em fase com o som direto.

BIBLIOGRAFIA

(em ordem de importância)

BALLOV, G. (editor). Handboook for sound engineers. Howard W Sam & Company, Indianápolis, 1987.

STRONG, W. J. e PLITNIK, G. H. Music speech and high fidelity. Sound Print, Provo, 1983.

BARTLETT, B. Introduction to professional recording techniques. Howard W Sam Company, Indianápolis, 1989.

EARGLE, J. Handbook of recording engineering. Van Nostrand Reinhold Inc., Nova Iorque, 1986.

WORAM, J. Recording studio handbook. ELAR, Plain View, 1982.

ALMONG, G. Como gravar em dez lições. Edição especial da revista SomTrês. Editora Três, São Paulo, julho de 1981.

DB Magazine. Sagamore Publishing Company, Nova Iorque:

— BARILLA, J. "The art of equalization". Vol 24 n° 2, Mar / Abr 1990.

— CHRISHOLM, M. "The 30-second drum sound setup." Vol 24 n° 6, Nov / Dez 1990.

— GATELY, R. "Sound reinforcenment stage monitor systems". Vol 24 n° 3, Mai / Jun 1990.

— GATELY, R. "Pianos I have known". Vol. 23 n° 2, Mar / Abr 1989.

Journal of the Audio Engeneering Society. Audio Engineering Society Inc, Nova Iorque:

— BARTLETT, B. A. "Tonal effects of close microfone placement". Vol. 29 n° 10, 1981.

— BALLAGH, O. "Optimum loudspeaker placement near reflecting planes". Vol. 31 n° 12, 1983.

— GARDNER, M. R. e EARGLE, J. M. "Measurement and estimation of large loudspeaker array performance". Vol 33 n° 7 / 8, 1985.

— DAVIES, F. "Improvements in monitor loudspeaker systems". Vol. 31 n° 6, 1983. MARCELO MELLO – Guia prático de sonorização de palco (para músicos) 97 — SANK, J. R. "Microphones". Vol. 33 n° 7 / 8, 1985.

— AHNERT, W. "Complex simulation of acoustic sound fields by the Delta Stereophonic System". Vol 35 n° 9, 1987.

— "Loudspeakers" - an anthology of articles. Vol 1-26 (1953-1978).

— "Microphones" - an anthology of articles. Vol. 1-26 (1953-1978).

— "Sound reinforcement" - an anthology of articles. Vol. 1-26 (1953-1978).

<http://www.avalondesign.com>.

<http://www.pro-music-news.com/html/10/e20427sp.htm>.

<http://www.audiogear.com/EAWloudspeakers.html>.

http://www.oaktreeent.com/Stereo_EQ'S_And_Signal_Processors.htm.

http://www.jblpro.com/pub/obsolete/4331a_4333a.pdf.

<http://electronics.howstuffworks.com/>.

<http://spider.georgetowncollege.edu/music/burnette/Mus570b/plugs.htm>.

<http://www.rentmagic.com/images/av/mixer2.jpg>.

<http://www.cmu.eca.usp.br/lami/tutor/>.