

1- Introdução

Quando falamos em microfones, de imediato nos vem à idéia de captadores de fontes sonoras, porém na maioria das vezes não damos a devida importância aos microfones, nos esquecendo que são eles os maiores responsáveis pela definição da qualidade dos sinais de áudio captados tanto para sonorização como para gravação.

A escolha do tipo de microfone para cada aplicação específica e as técnicas de disposição destes são pontos fundamentais para conseguirmos a máxima qualidade do sinal da fonte sonora que estamos captando. Entre os maiores objetivos quando estamos captando um sinal de áudio estão maximizar o sinal da fonte em relação ao ruído de fundo, ruído ambiente, reflexões e evitar realimentações (microfonias).

Para escolhermos um microfone devemos levar em consideração várias características fundamentais como aplicação prática, impedâncias dos circuitos, resposta em frequência, resistência mecânica, diagrama polar (ângulo de captação em função da frequência), resposta a transientes, níveis de pressão sonora, ruído mecânico, ruído de fundo, temperatura, umidade, sensibilidade, etc. Tudo isso deve ser avaliado antes de adquirir um microfone para que este atenda da melhor forma a necessidade de cada aplicação. Somado a tudo isso, estão as técnicas de captação que dão o suporte para que consigamos capturar os sons de várias formas e com suas características diversas.

A fidelidade de captação de uma fonte é a responsável direta pelo timbre dos instrumentos, vozes e outras fontes de som, ou seja, é responsável pelas características sônicas do sinal capturado.

2- O que é um Microfone

O microfone foi inventado por David Hughes, sendo um transdutor eletroacústico que transforma energia acústica em energia elétrica através do deslocamento de sua membrana proporcionalmente às ondas sonoras capturadas.

Um ponto fraco do telefone inventado por Bell era o dispositivo emissor que originava um sinal elétrico muito fraco. O físico inglês David Hughes (1831-1900) substituiu este dispositivo por outro a que chamou **microfone**. O microfone era constituído por três peças de carvão. Uma delas tinha a forma de uma barra pontiaguda nas extremidades, pelas quais assentava nas outras duas peças, também em forma de barra. Como os contatos da barra vertical de carvão com as barras horizontais não são perfeitos, qualquer variação das suas posições modifica a resistência elétrica do circuito. As vibrações sonoras produzidas na proximidade do microfone propagam-se através do ar e atingem a barra vertical produzindo pequenas variações na sua posição, o que se traduz em variações da resistência elétrica do circuito e em variações de corrente que produzem sons muito amplificados.

Um alto-falante recebe impulsos elétricos que colocam sua bobina em movimento, a bobina é solidária a uma membrana que vibra movimentando o ar e dando origem ao som. Um microfone dinâmico é um tipo de alto-falante invertido, provido de uma membrana muito sensível. Quando falamos, nossas cordas vocais fazem vibrar o ar, se estivermos diante de um microfone, essas vibrações fazem mover o seu equipamento móvel (membrana + bobina móvel) resultando em uma fraca corrente em sua bobina. Este sinal recebe convenientes tratamentos e assim pode ser utilizado para sonorização ou gravação.

3- Princípios de Operação

A definição dos tipos de transdutores é dada pelos princípios de operação que basicamente são:

- Piezoresistivo (carbono);
- Piezoelétrico (cerâmica ou cristal);
- Eletromagnético (ímã móvel);
- Eletrodinâmico (dinâmico bobina móvel – princípio eletromagnético);
- Eletrostático (condensador ou eletreto).

O princípio de operação é que determina como um microfone captura os sons acústicos e converte estes em sinais elétricos. Podemos ressaltar que os microfones dinâmicos operam segundo uma das leis de Faraday¹² e os microfones condensadores operam segundo o princípio eletrostático¹³.

¹² Quando um campo magnético corta um condutor, uma corrente elétrica vai fluir através do mesmo se este for incluído num circuito em que a corrente pode circular.

¹³ Pertencente à eletricidade estática, ou seja, eletricidade ou carga elétrica em repouso. É uma forma de energia que, aplicada a alguns materiais, possibilita a atração e retenção de pequenas partículas de carga elétrica oposta.

3.1- Piezoresistivo (carvão)

Este é um dos mais antigos tipos de microfones. Possui um recipiente com pequenos grãos de carbono puro, através dos quais circula uma corrente elétrica. Este tipo de microfone é alimentado por uma bateria que mantém uma tensão sempre ativa sobre o carbono. Um disco de latão é acoplado a um diafragma de metal circular o qual tampa o recipiente com as partículas. Quando as ondas sonoras incidem sobre o diafragma, os grãos de carbono são comprimidos e descomprimidos se tornando mais ou menos densos de acordo com o movimento do diafragma. Com isso, a resistência do carbono é variável, convertendo a tensão da bateria em uma variação de corrente correspondente sendo assim uma representação elétrica do som.

Para elevar a corrente elétrica utiliza-se um transformador, que também é responsável por casar a impedância e bloquear a corrente contínua produzida pela bateria. Este tipo de microfone não possui excelente qualidade sônica, porém é extremamente barato e robusto. Por esta razão é muito utilizado em equipamentos não profissionais. Por muitos anos este microfone foi utilizado como o padrão da telefonia, mas atualmente este vem sendo substituído por microfones dinâmicos.

Os microfones de carvão podem perder sua eficiência e tornarem-se muito barulhentos se os grãos de carbono ficarem compactados. É possível recuperar a sonoridade espalhando estes grãos, o que pode ser conseguido batendo o invólucro do microfone em superfície densa.

A figura 1 ilustra o princípio de operação de um microfone piezoresistivo (carvão).

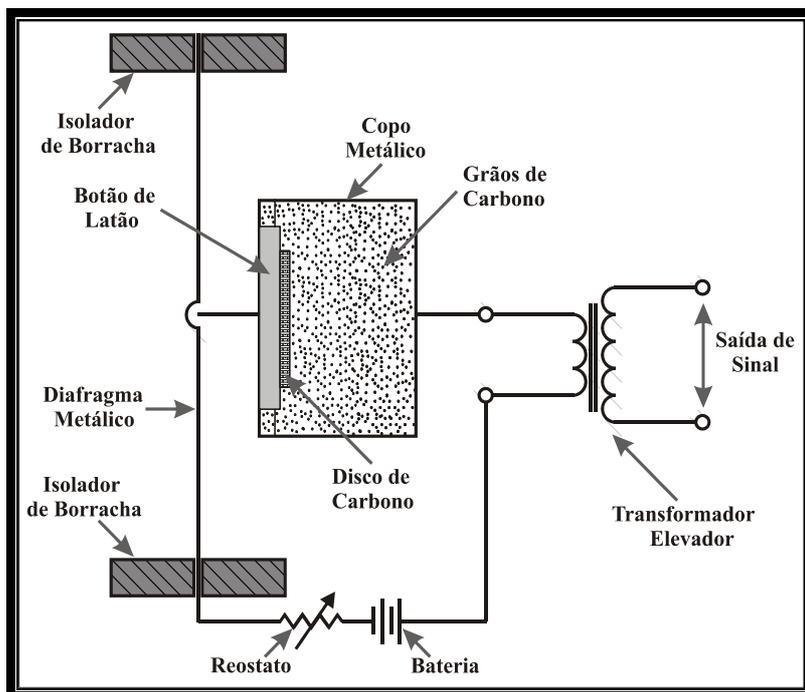


Figura 1 – Microfone Piezoresistivo

3.2- Piezoelétrico (cerâmica ou cristal)

Materiais piezoelétricos são aqueles que possuem a propriedade de produzir uma voltagem quando sujeitos a um esforço mecânico, ou produzem uma resposta mecânica quando submetidos a uma voltagem.

O microfone piezoelétrico, que também é conhecido como cerâmico ou cristal, gera uma força eletromotriz a partir da deformação de um cristal, sendo que este cristal possui características piezoelétricas, ou seja, eletricidade por pressão. A tensão que é gerada pela deformação do cristal é proporcional ao deslocamento das ondas de som e estes dispositivos são capazes de receber pressão direta ou através de diafragma que está acoplado ao cristal. Isto pode ser visualizado com a figura 2.

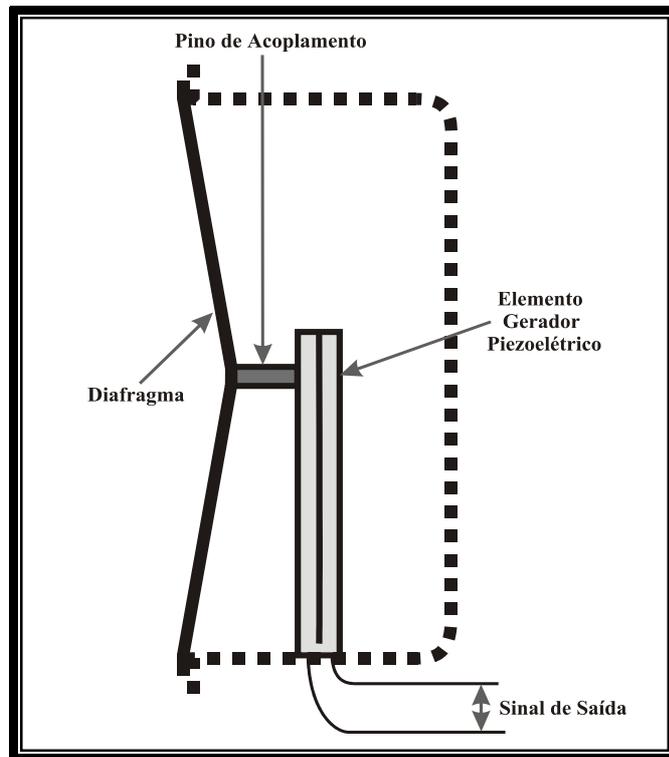


Figura 2 – Microfone Piezoelétrico

Um cristal piezoelétrico é uma peça de quartzo natural ou outro material cristalino que tem propriedades piezoelétricas. Para os microfones, caso este cristal seja exposto a uma temperatura igual ou superior a 55° perderá todas as suas características permanentemente, portanto os microfones piezoelétricos são muito sensíveis ao calor e a umidade.

Os microfones que utilizam cerâmica de bário apresentam características similares aos que utilizam cristais e são mais resistentes a variações de temperatura. Na atualidade os cristais são muito utilizados em captadores de alguns instrumentos musicais, não sendo mais utilizados na construção de microfones devido a sua baixa qualidade de áudio e a característica de alta impedância de saída.

3.3- Eletromagnético (ímã móvel)

Para os microfones eletromagnéticos temos uma bobina fixa e o diafragma conectado a uma armadura. Ao incidir as ondas sonoras no diafragma este se move e conseqüentemente move a armadura. Quando a armadura é movimentada ocorre uma variação da relutância¹⁴ do campo magnético que é envolvido por uma bobina fixa. A figura 3 exemplifica as partes de um microfone do tipo eletromagnético de ímã móvel.

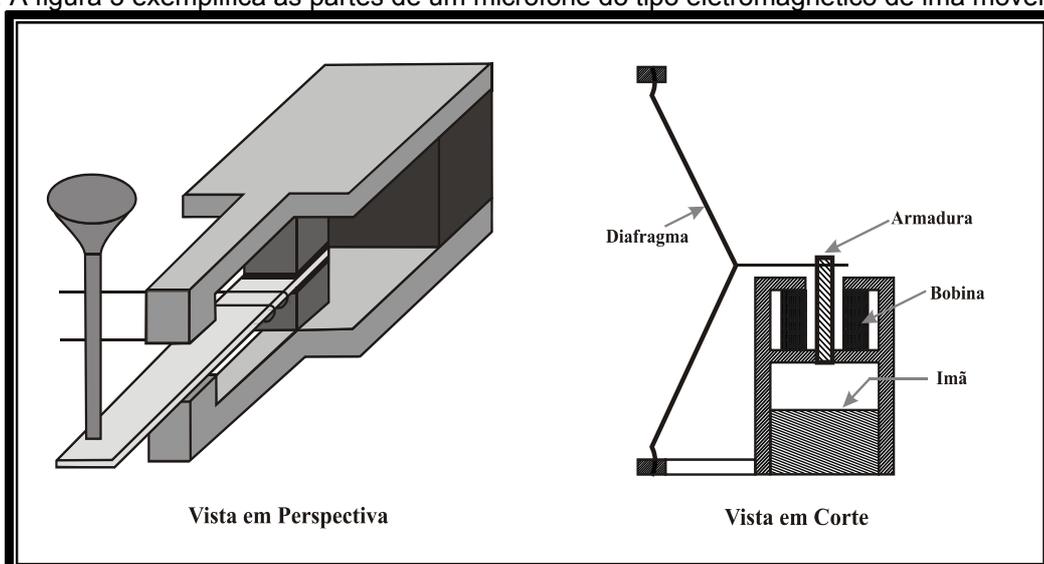


Figura 3 – Microfone Eletromagnético

¹⁴ A resistência de um curso magnético ao fluxo de linhas de força magnéticas através dele. É a recíproca da permeância e igual à força magnetomotriz dividida pelo fluxo magnético.

3.4- Dinâmico (bobina móvel - princípio eletromagnético)

Os microfones dinâmicos são em geral os mais comuns no mercado, sendo que seus elementos permitem, além de uma fabricação bastante fácil, grande variedade de características eletroacústicas. São caracterizados por uma grande resistência, aliada a uma boa qualidade. Certos modelos são capazes de agüentar os piores tratamentos, como por exemplo, caírem de uma escada sem que sejam danificados. Estes microfones possuem um diafragma, uma bobina móvel e um ímã, os quais formam um gerador elétrico de ondas de som.

O conjunto diafragma-bobina móvel que se encontra dentro de um campo magnético fixo é movimentado pelas ondas sonoras, com isso gera em seus terminais uma energia elétrica proporcional às ondas de som. O sinal gerado pode ser utilizado diretamente, não havendo a necessidade de um circuito pré-amplificador para aumentar o sinal. Normalmente utiliza-se um transformador com a função de casar as impedâncias e balancear o sinal entre a bobina e o circuito de entrada dos pré-amplificadores. Podemos destacar que na atualidade alguns fabricantes já estão utilizando o material neodýmium, o qual é capaz de fornecer campos magnéticos com um ímã de menor tamanho, o que conseqüentemente diminui bastante o tamanho e o peso deste dispositivo.

A construção do diafragma utiliza uma membrana fina, mas com material bastante resistente, porém elástico, com objetivo de evitar deformidades quando submetido a grandes pressões sonoras e também evitar fadiga com o tempo de uso. Internamente o sistema de suspensão deve ser capaz de eliminar os ruídos que são provenientes do manuseio do microfone, principalmente quando nos referimos a aplicações ao vivo. Um filtro de baixas freqüências normalmente chamado de "bass roll off" (corte de baixas freqüências) é incorporado a estes microfones por meio de uma chave externa que habilita ou não este filtro. A freqüência de corte em média varia entre 50 e 150 Hz. A figura 4 ilustra como funciona um microfone do tipo dinâmico.

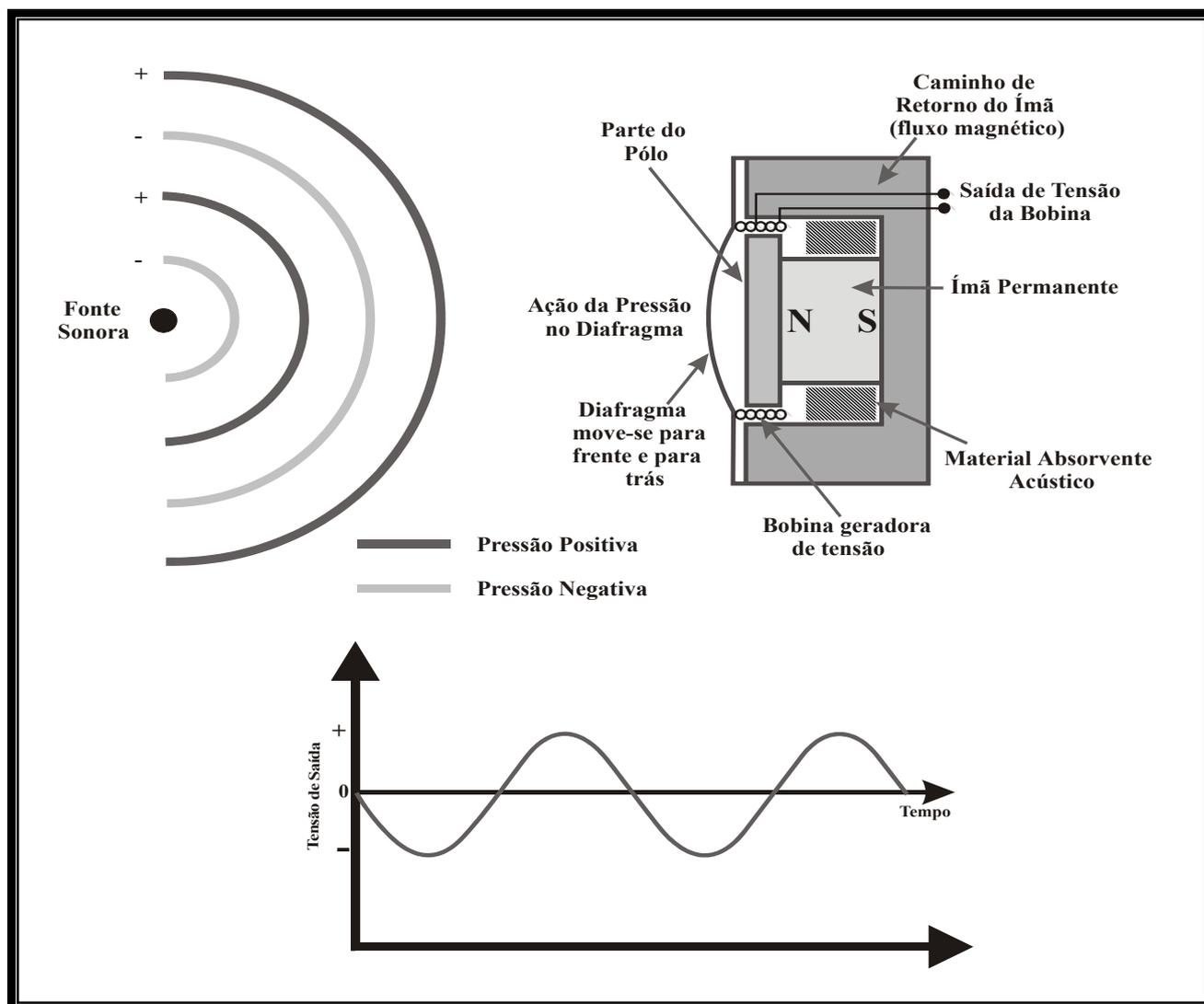


Figura 4 – Microfone Dinâmico

Podemos dizer que um microfone é como um alto-falante que executa a função inversa, pois no lugar de gerar sinais ele os captura. Esta afirmação pode ser confirmada se ligarmos um fone de ouvido na entrada de microfone de uma mesa de mixagem (console). Vamos notar que ele fará o papel de um microfone, claro

que com uma baixa qualidade e sensibilidade em função do seu conjunto de materiais e forma de fabricação, mas haverá som se falarmos nele. O formato de construção dos microfones dinâmicos é mecanicamente muito resistente, possuindo desta forma boa sensibilidade e grande poder de suportar altos níveis de pressão sonora sem que haja distorção do sinal gerado e sem sofrer efeito da fadiga mecânica muito rapidamente. A resposta a transientes (picos rápidos) e em frequências altas e baixas para os microfones dinâmicos é limitada, desta forma é necessário compensar, o que é feito com a utilização de pequenas câmaras ressonantes, com o propósito de estender a resposta em frequências destes microfones.

Na figura 4 podemos observar que quando as ondas sonoras incidem na membrana do diafragma provocam o deslocamento deste, como o diafragma está ligado à bobina e esta está mergulhada dentro do campo magnético, ocorre um deslocamento da bobina para dentro e para fora do campo magnético, o que faz surgir uma tensão nos terminais de saída que é proporcional às ondas sonoras como já destacado anteriormente.

Na figura 5 apresentamos um modelo de microfone dinâmico AKG e suas principais partes.

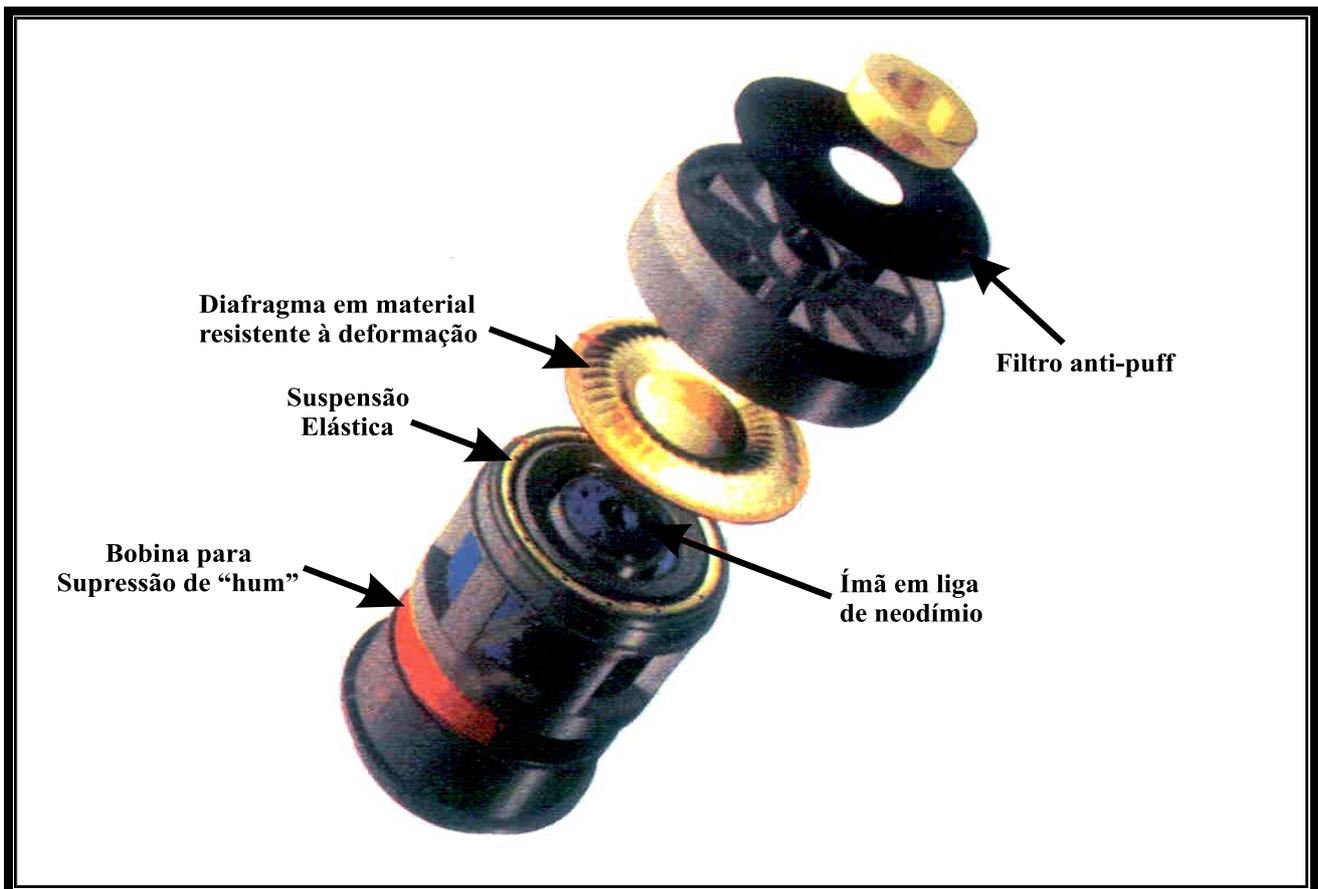


Figura 5 – Principais Partes Microfone Dinâmico AKG C3900

3.5- De Fita

Estes microfones são frequentemente utilizados em estúdio por oferecerem alta qualidade. A membrana utilizada no microfone dinâmico, neste é substituída por uma fita muito fina de alumínio ondulado montada em um gap sobre um campo magnético, que serve ao mesmo tempo de diafragma e de bobina. A fita é fixada nas suas extremidades, mas seu corpo fica livre para movimentação. Quando o sinal incidir sobre a fita, esta vibrará proporcionalmente à intensidade sonora, atravessando as linhas do campo magnético onde são induzidas as variações resultantes. Com isso surge em seus terminais uma pequena tensão. Por isso, este tipo de microfone possui a necessidade de um transformador elevador de sinal e casador de impedâncias, já que o nível de sinal gerado e a impedância da fita são muito baixos. A grande inconveniência destes microfones é a grande fragilidade, pois até um vento forte ou um sinal qualquer mais forte pode danificá-lo. Mas por outro lado possuem um baixo nível de ruído e uma excelente qualidade sônica, principalmente para resposta a altas frequências. Atualmente com as modernas tecnologias de fabricação de materiais plásticos e metais leves, pode-se construir microfones de fita de tamanhos pequenos e leves, e ainda excluir problemas de saturação ou danificação da fita. A figura 6 exemplifica um microfone do tipo de fita.

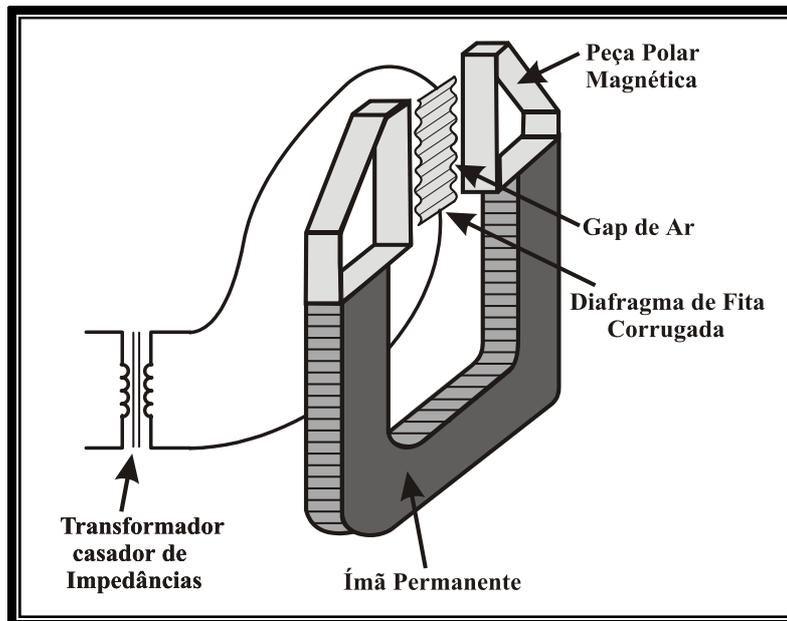


Figura 6 – Microfone de Fita

3.6- Condensador (capacitor – princípio eletrostático)

Os microfones que utilizam o princípio do capacitor variável são conhecidos como microfones capacitivos ou “condenser” (o termo condensador vem da terminologia da eletrônica antiga). O acúmulo de energia eletrostática em nossos corpos já é algo bastante conhecido. Por exemplo, quando esfregamos uma régua no cabelo e a aproximamos de pedaços de papel picado ou outro exemplo bastante comum é quando tocamos a porta do carro após um longo período em contato com o banco é muito comum sentirmos uma descarga elétrica de alta tensão e muito rápida. Isso se deve ao acúmulo de energia eletrostática em nosso corpo.

Os microfones eletrostáticos (condensadores e eletreto) utilizam um diafragma condutivo e uma placa paralela fixa chamada de backplate a qual é carregada eletricamente para formar um capacitor sensível a todas as variações provocadas pela pressão das ondas sonoras que incidem no diafragma. Na verdade o microfone capacitivo consiste de uma placa fixada muito próxima ao diafragma, sendo que entre a placa e o diafragma é mantida uma carga elétrica polarizada, de tal forma que quando este se movimentar em função da influência das ondas sonoras a voltagem entre ele e a placa irá variar da mesma forma.

Atualmente, a carga polarizada usada para a maioria dos microfones capacitivos é feita com um eletreto pré-polarizado, que é uma camada carregada permanentemente na placa ou na parte posterior do próprio diafragma. A polarização por meios externos normalmente é usada somente nos microfones de estúdio de mais alta qualidade. Quando o elemento é carregado, um campo elétrico é formado entre o diafragma e a placa posterior, proporcionalmente ao espaço existente entre eles, se variarmos o espaço entre as placas haverá alteração nas cargas, ocasionando uma diferença de potencial nos terminais do microfone. O diafragma pode ser de plástico coberto de material condutor, como o ouro ou de metal muito fino (medido em microns¹⁵).

A placa fixa é de metal rígido ou de metal em conjunto com uma cerâmica. As amplitudes dos sinais gerados por meio das movimentações do diafragma são muito pequenas e torna-se necessário à utilização de um circuito pré-amplificador de sinal. Este circuito pode estar dentro do corpo do microfone ou em uma caixa separada fora do microfone. A figura 7 ilustra o princípio de operação de um microfone capacitivo (condensador) sem utilização do material eletreto e também com a utilização do eletreto.

¹⁵ Unidade de comprimento correspondente a 10^{-6} metros. Unidade usada na medição de pressões extremamente baixas. Correspondente a 0,001 mm de mercúrio a 0°C.

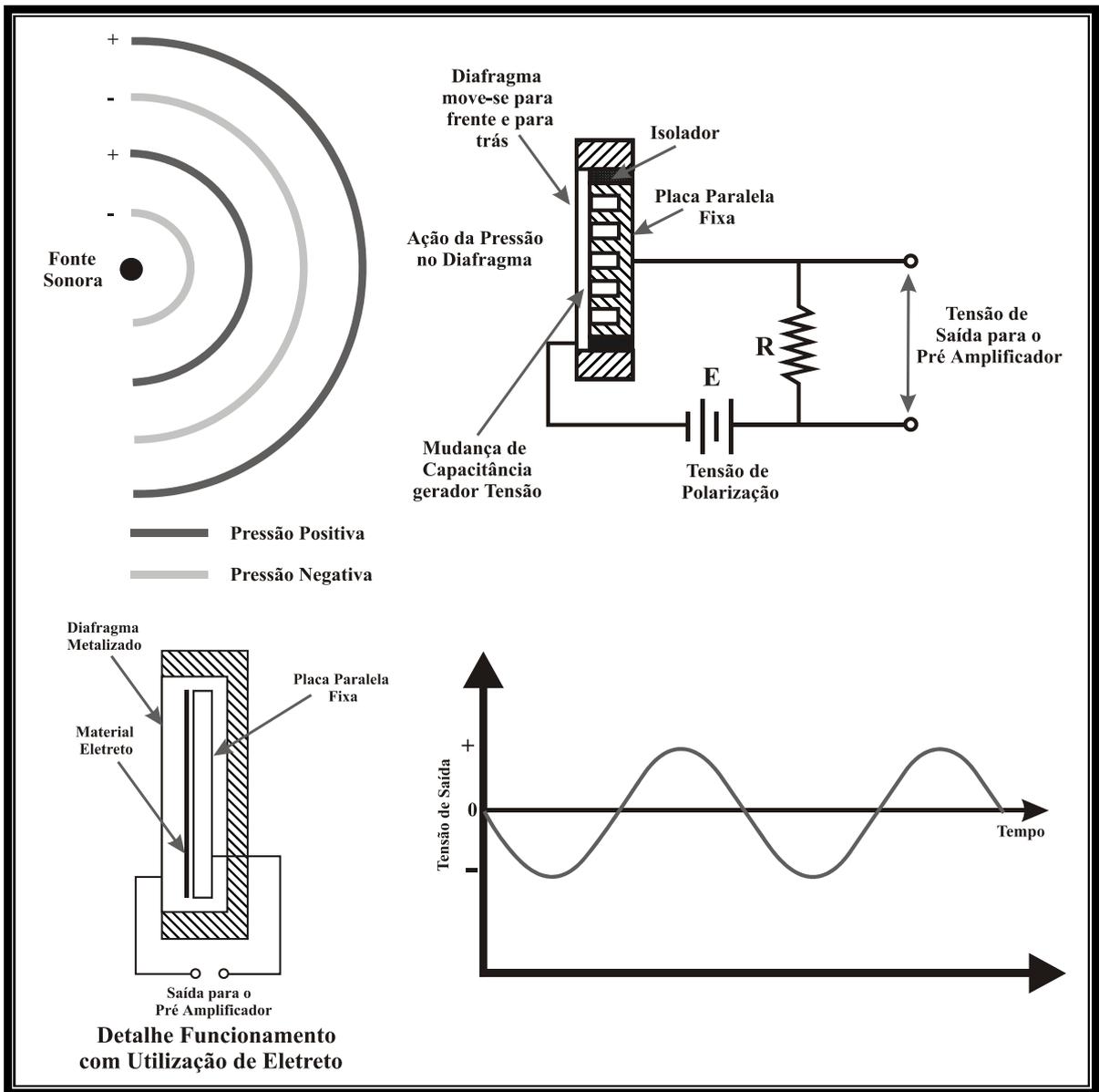


Figura 7 – Microfone Capacitivo (condensador)

A figura 8 apresenta um exemplo de pré-amplificador para o microfone capacitivo.

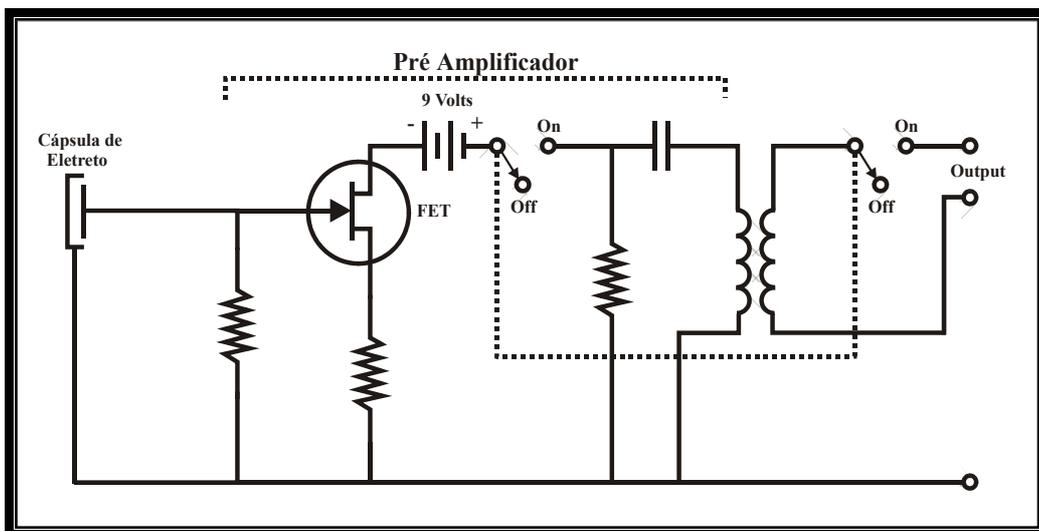


Figura 8 – Pré-Amplificador para Microfone Capacitivo C1000S AKG

Na figura 8 temos um exemplo de pré-amplificador para microfone capacitivo utilizado no modelo C1000S da AKG onde podemos utilizar uma bateria de 9 volts ou o phantom power até 48 volts para alimentar o circuito pré-amplificador.

Nos microfones a condensador os diafragmas utilizados podem variar de tamanho, sendo que os microfones profissionais possuem em média, diafragma de 1 polegada (25,44 mm) de diâmetro. Microfones a condensador possuem maior sensibilidade que microfones dinâmicos, em contra partida possuem uma menor resistência mecânica. Eles são muito mais fiéis com relação à resposta a transientes se compararmos com os microfones dinâmicos, o motivo deve-se aos dinâmicos possuírem massa muito superior, o que aumenta muito sua inércia, e conseqüentemente diminui sua capacidade de responder a rápidas variações. A resposta em freqüência também é superior, por isso, utiliza-se microfones a condensador em instrumentação, o que possibilita a utilização em freqüências mais altas, fornecendo um desvio de fase muito menor e também uma reposta mais precisa a transientes.

Como a maior limitação de um microfone condensador está em seu circuito eletrônico, pois estes operam com nível de tensão limitado, quando ultrapassado o limite ocorrem distorções. Dessa forma torna-se necessário uma chave interna ou externa redutora de nível, denominada normalmente de PAD, a qual pode fornecer uma redução que varia de acordo com o modelo do microfone e está em torno de 10 a 20dB. Vale a pena lembrar que nem todos os microfones a condensador têm essa chave.

Quando capturamos sinais de muito baixo nível, principalmente em lugares muito silenciosos, notamos um maior nível de ruído (hiss), o motivo é que este microfone utiliza circuito pré-amplificador. Mas podemos destacar que existem microfones com circuitos bem melhor desenvolvidos em que os níveis de ruído são muito baixos. Como os microfones eletrostáticos possuem alta impedância e baixa tensão de saída da placa, estes possuem amplificadores de sinal, os quais também funcionam como casadores de impedância em suas saídas.

A figura 9 ilustra mais um circuito eletrônico para microfone a condensador, agora para o modelo PZM300 da Crown.

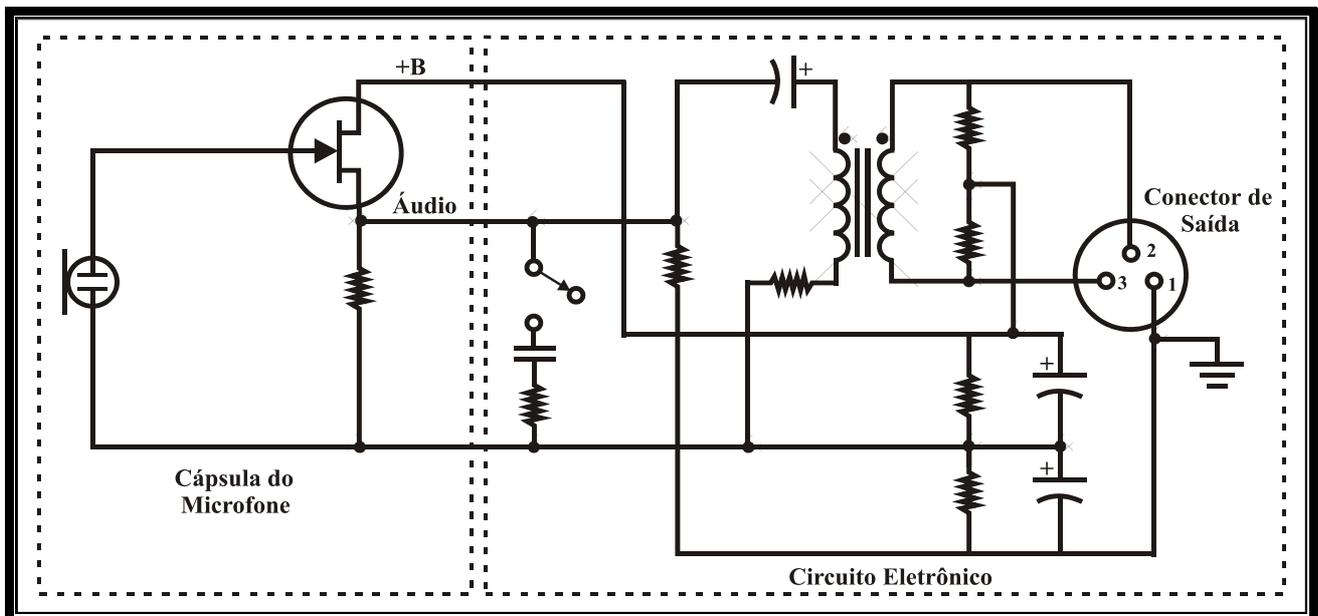


Figura 9 – Circuito Eletrônico Microfone Condensador PZM300 CROWN

Na figura 10 apresentamos algumas partes de um microfone condensador da AKG como ilustração de como é composto um modelo a condensador (capacitivo).

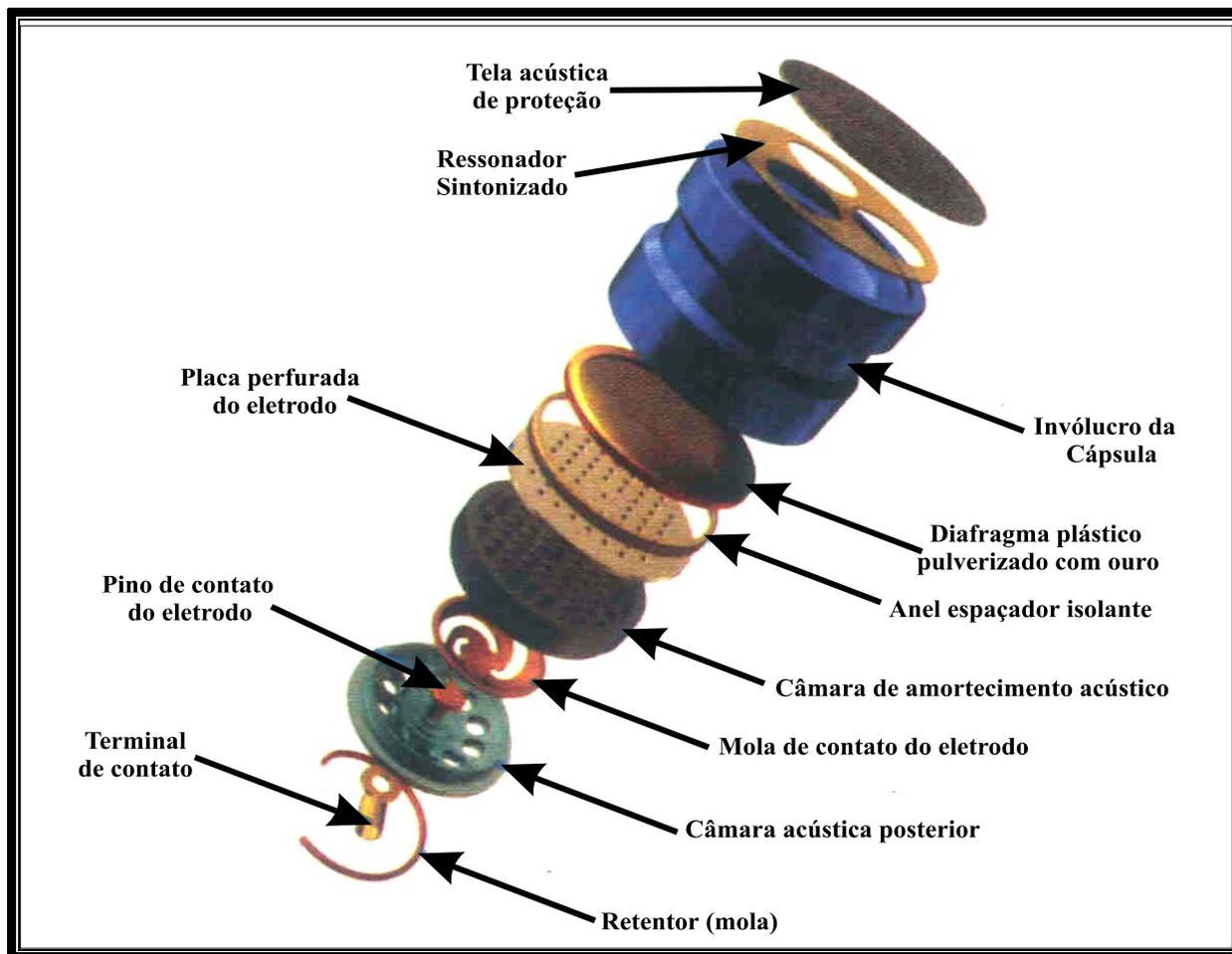


Figura 10 – Principais Partes Microfone Condensador AKG

4- Resposta em Frequência

A resposta em frequência nada mais é que a faixa de frequências que o dispositivo consegue reproduzir. A leitura que normalmente observamos na maioria dos gráficos é uma linha ampla, a qual representa a resposta em frequência do microfone, mas observe que esta leitura somente é válida para medições no eixo (on axis).

Existem microfones com vários tipos de resposta em frequência, quando ele é capaz de reproduzir ou responder a toda a faixa de frequências com pequenas ou leves variações de amplitude do sinal, pode-se considerar como um microfone com resposta plana ou flat. Estes microfones conseguem capturar os sinais das fontes sem alterar (salientar ou colorir) estes sinais. Os microfones que possuem variações na resposta em frequência ao longo do espectro de áudio possuem sua utilização, portanto, em alguns casos podem se tornar a melhor escolha. O motivo de alguns microfones apresentarem cortes em baixas, médias ou altas frequências não significa que sejam melhores ou piores, mas sim que cada um destes possui sua aplicação própria ou distinta. Por exemplo, um microfone que possua um ligeiro acréscimo na resposta em frequências entre 3 e 5 kHz (conhecido como presença) aumenta a inteligibilidade para uso de voz, este caso é muito utilizado em shows e serviços de chamada. **Obs:** microfones a condensador e microfones dinâmicos podem apresentar gráficos com resposta em frequência muito semelhantes, porém os microfones a condensador possuem uma resposta a transientes bem superior.

A resposta em frequência dos microfones também pode ser bastante afetada pela qualidade dos cabos e conexões utilizados. Para uma análise desta perda devemos levar em consideração o efeito da capacitância e da resistência do cabo sobre o sinal do microfone, assim, temos um filtro de frequências e que ainda varia de acordo com as impedâncias da carga, ou seja, conforme a situação podemos ter grandes perdas e nem perceber o problema.

A figura 11 ilustra os fatores que devemos levar em conta para obtermos a perda em função do cabo e das conexões.

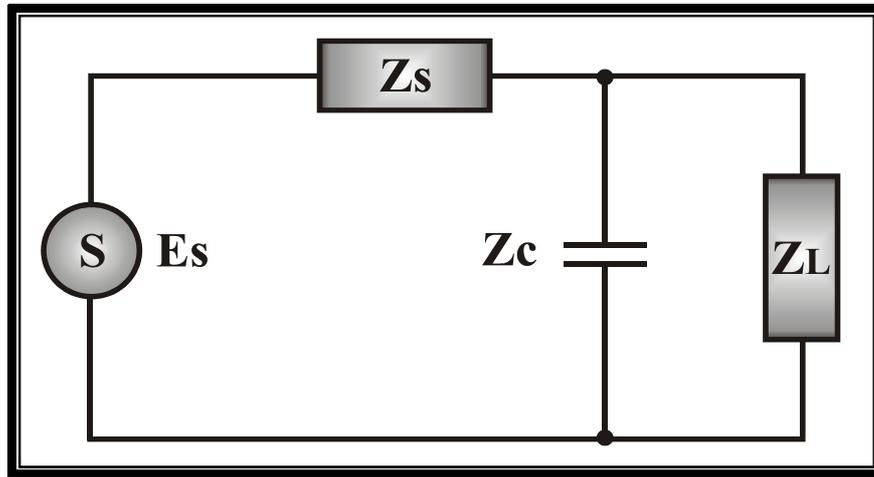


Figura 11 – Capacitância e Impedância do Cabo de Microfone

Na figura 11 temos:

- $Z_s \Rightarrow$ Impedância da fonte
- $Z_L \Rightarrow$ Impedância da carga
- $Z_C \Rightarrow$ Reatância
- $E_s \Rightarrow$ Tensão Fonte
- $S \Rightarrow$ Fonte

A reatância é calculada a partir de:

$$Z_c = X_c = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} \quad [1]$$

onde :

$f \Rightarrow$ Frequência;

$C \Rightarrow$ Capacitância;

$X_c \Rightarrow$ Reatância.

A perda em dB pode ser calculada a partir da seguinte expressão:

$$Perda_{(dB)} = 20 \log \frac{1 + Z_s \cdot Z_L}{Z_C + Z_L} \quad [2]$$

A partir destas equações apresentadas, podemos observar que se não tomarmos muito cuidado com o padrão de cabos que estamos utilizando (comprando sempre o mais barato), podemos estar pagando um preço maior pela qualidade de som que estamos conseguindo obter do sistema. Portanto, não adianta investir somente em microfones de boa qualidade, o cabeamento de interligação é parte imprescindível para um bom desempenho geral do sistema de captação.

As figuras 12 e 13 apresentam exemplos de gráficos de respostas em frequência para uma melhor compreensão.

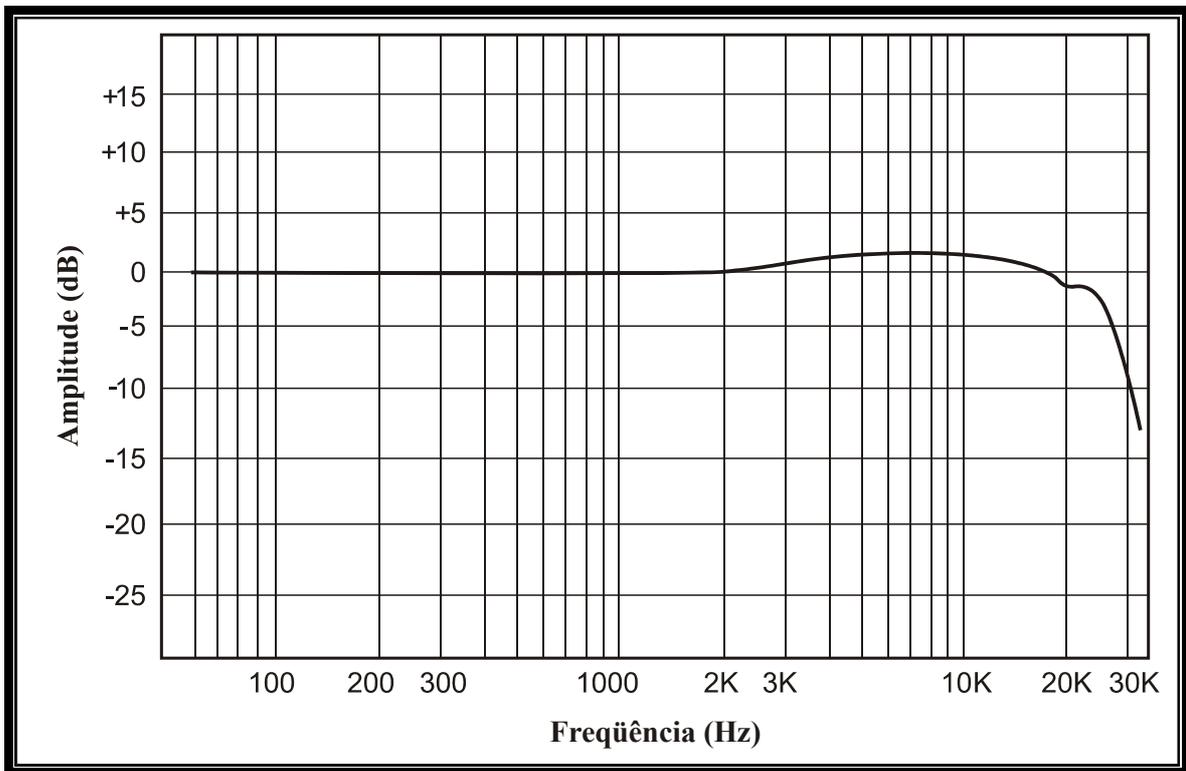


Figura 12 – Microfone Resposta em Frequência Plana (Flat)

No gráfico da figura 12 apresentamos um exemplo de microfone com resposta aproximadamente plana, este tipo de resposta é comum em microfones utilizados para medição, os quais chamamos de microfones de referência. Observamos que a sua resposta vai desde frequências bem baixas até frequências bem altas mantendo-se quase que totalmente plana, ocorre apenas um pequeno reforço na região aproximadamente entre 3kHz e 17kHz.

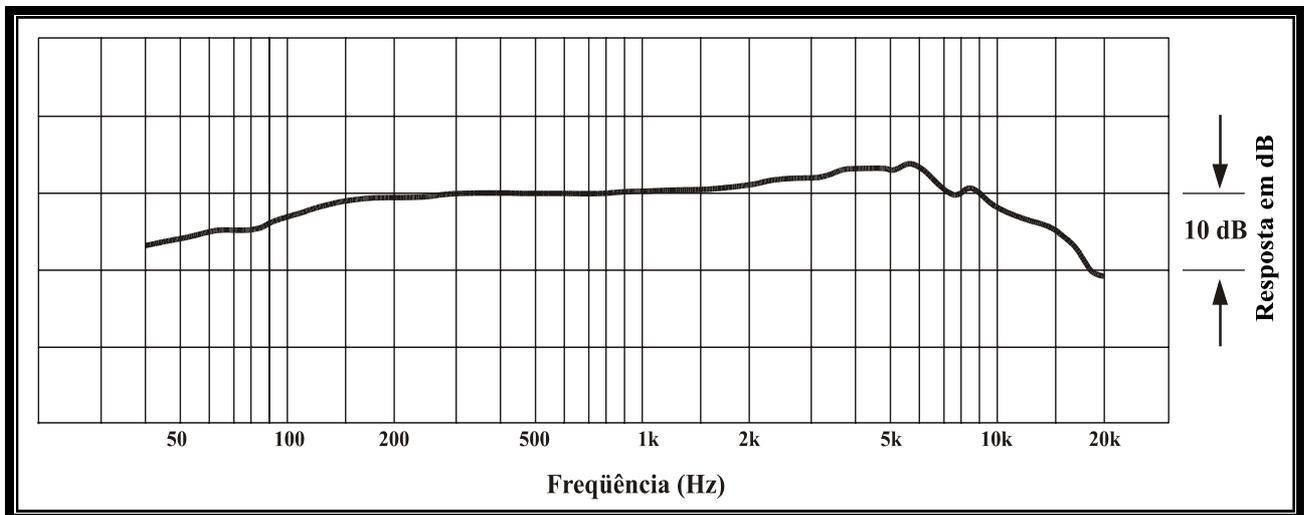


Figura 13 – Microfone Resposta em Frequência Não Plana (Não Flat)

No gráfico da figura 13 observamos que a resposta em frequência deste microfone já é bem menos plana do que a apresentada na figura 12. Portanto, a resposta em frequência é um fator muito importante na escolha de um microfone, em conjunto com a aplicação desejada. Caso o microfone escolhido não possua as características necessárias para determinada aplicação as conseqüências podem ser muito ruins e o trabalho pode ficar comprometido.

5- Impedância

A impedância também é um fator muito importante para o bom desempenho de um microfone. Nos sinais de linha com transformador e antigas linhas de transmissão de telefones, os circuitos deveriam possuir a mesma impedância entre fonte e carga. Já os pré-amplificadores para microfones devem possuir impedância de entrada em torno de 10 a 20 vezes maior que a impedância de saída do microfone. Isto faz com que as relações de resposta em frequência sejam mantidas mais uniformes, sendo que também fornece uma maior garantia de uma transferência de tensão maior entre fonte geradora e a carga.

Atualmente as impedâncias dos microfones variam entre 50 e 600 Ohms, alguns um pouco maior, desta forma a impedância de entrada dos pré-amplificadores deve estar em torno de 3000 Ohms. Quando temos impedâncias muito baixas forçamos o microfone a dissipar muita potência quando sons incidem sobre a membrana, dessa forma aumentando bastante a probabilidade de distorções do som captado. Por outro lado impedâncias maiores fazem com que o microfone tenha uma performance melhor, mas podemos perder as frequências mais altas, causar oscilações nos circuitos internos do microfone e também aumentar a captação de ruídos recebidos através dos cabos.

Dentre os inúmeros modelos de pré-amplificadores existentes no mercado atual podemos encontrar alguns que possuem seleção da impedância de entrada, a qual pode variar entre 50 a 600 Ohms, que são valores referentes às impedâncias das fontes. Com isso estes pré-amplificadores apresentam uma grande vantagem, pois podemos buscar o melhor desempenho para cada microfone utilizado. Alguns modelos de microfones possuem duas impedâncias referenciadas em seu manual, uma trata-se da impedância da fonte que é o microfone e a outra é a impedância de carga ideal para o pré de microfone que será utilizado no sistema. Normalmente as impedâncias estão referenciadas a frequência de 1000Hz, lembrando que a impedância depende da frequência, quando ocorre uma variação de frequência conseqüentemente ocorre uma variação da impedância. Para um aumento da frequência temos um aumento progressivo da impedância, isto cria um filtro passa-baixas que ainda sofre alterações quando o microfone é conectado ao cabo e este ao pré-amplificador. A figura 14 exemplifica a impedância Z_{out} de um microfone e a impedância Z_{in} de um pré-amplificador.

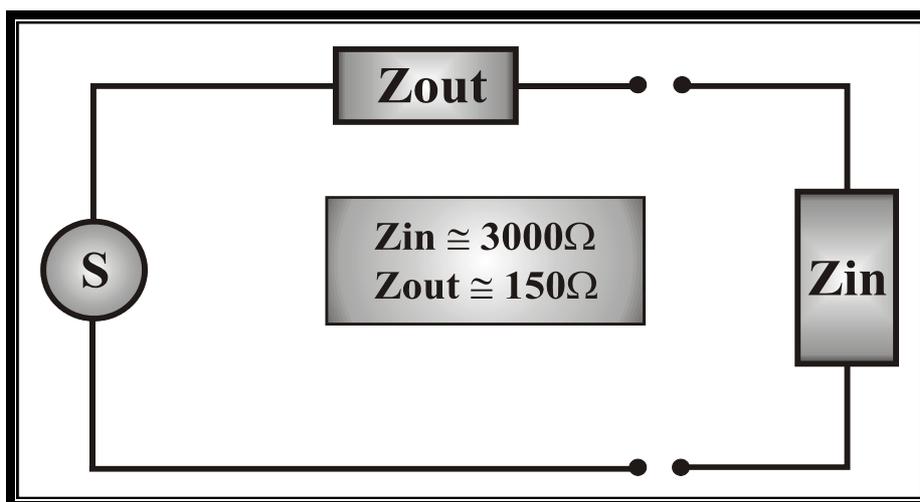


Figura 14 – Impedância Z_{in} e Z_{out}

Através do esquema apresentado na figura 106 é reforçada a idéia de utilização de uma impedância de carga de 10 a 20 vezes à impedância de saída (Z_{out}) do microfone. No esquema temos "S" representando a fonte geradora (microfone), Z_{out} é a impedância de saída do microfone e Z_{in} a impedância de entrada do pré-amplificador.

A tensão na carga pode ser calculada através da seguinte fórmula:

$$V_C = V_f \cdot \frac{Z_C}{Z_C + Z_f} \quad [3]$$

onde:

$V_C \Rightarrow$ Tensão na carga;

$V_f \Rightarrow$ Tensão gerada pela fonte;

$Z_C \Rightarrow$ Impedância de carga;

$Z_f \Rightarrow$ Impedância da fonte.

Para calcular a perda da tensão em função dos valores de impedância do sistema utilizamos a seguinte fórmula:

$$PT = 20 \log \left(\frac{V_{transf.}}{100} \right) \quad [4]$$

onde:

$PT \Rightarrow$ Perda de tensão;

$V_{transf.} \Rightarrow$ Percentual de tensão transferido à carga.

Suponha que a tensão gerada por uma fonte seja de 10mV, a impedância Z_{out} de saída seja 200 Ohms e a impedância de carga seja de 2000 Ohms. Qual será a tensão na carga e o nível de perda de tensão?

Solução:

Aplicando a fórmula 3 temos:

$$V_C = 10mV \cdot \frac{2000}{2000 + 200}$$

$$V_C = 10mV \times 0,909 = 9,09mV$$

Para uma relação de 10 entre Z_f e Z_C temos aproximadamente 9% de perda ou 0,82dB.

$$\text{Relação de perda em dB} \Rightarrow 20 \log \cdot \frac{10mV}{9,09mV} = 0,82dB$$

Suponha agora que a tensão gerada por uma outra fonte seja também de 10mV, a impedância Z_{out} de saída seja 200 Ohms, mas a impedância de carga seja de 4000 Ohms. Qual será a tensão na carga e o nível de perda de tensão?

Solução:

Aplicando novamente a fórmula 3 temos:

$$V_C = 10mV \cdot \frac{4000}{4000 + 200}$$

$$V_C = 10mV \times 0,9523 = 9,523mV$$

Para uma relação de 20 entre Z_f e Z_C temos aproximadamente 5% de perda ou 0,424dB.

$$\text{Relação de perda em dB} \Rightarrow 20 \log \cdot \frac{10mV}{9,523mV} = 0,424dB$$

Dessa forma podemos notar a importância de termos estas relações de impedâncias otimizando sempre a máxima transferência de tensão possível entre fonte geradora e carga, pois com isso estaremos aumentando a relação sinal/ruído (SN) do sistema.

Em gravação de shows ao vivo é muito comum encontrarmos sistemas que utilizam várias consoles (mesas) de mixagem ligadas em paralelo. Esta forma de ligação pode diminuir muito a impedância de carga para um determinado microfone. Como a relação sinal/ruído e resposta em frequência do microfone estão intimamente ligadas à impedância da carga e capacitância dos cabos e conexões, podemos ter uma mudança bastante grande nas características do microfone. Dessa maneira, nestes sistemas normalmente são utilizados circuitos distribuidores ativos (eletrônicos) ou passivos (transformador). **Obs:** Quando forem utilizados circuitos passivos, o microfone deve estar conectado diretamente ao distribuidor e ao mesmo tempo a uma das consoles, pois esta ficará encarregada de enviar a alimentação necessária caso o microfone seja do tipo que necessite de alimentação externa para funcionar, como é o caso dos condensadores.

6- Phantom Power

O termo "phantom power" (alimentação "fantasma") nada mais é do que uma alimentação, a qual utiliza o mesmo cabo que conduz o sinal para alimentar os circuitos de microfones condensadores. Estes microfones como vimos na seção 3.6 necessitam de uma alimentação externa para o seu funcionamento, pois possuem circuitos eletrônicos internos que amplificam o sinal gerado pela cápsula. A tensão de phantom está na faixa entre 9 e 56 Volts, porém existe atualmente uma tendência muito forte na indústria em padronizar esta tensão em 48 Volts DC, conforme norma DIN 45596/IEC 815.

Para os microfones utilizados em instrumentação (medição) normalmente a tensão necessária para sua operação é de 15 Volts DC. Este fato, se deve ao processo de fabricação dos mesmos. Nos casos de microfones que operam tanto com pilhas quanto com phantom power, a melhor performance é apresentada quando estes estão operando com o phantom power em 48 Vdc, o motivo desta melhor performance é a possibilidade de maior excursão do sinal, sem contar com outro fator de extrema importância que é o

mantimento da estabilidade, dada em função da não dependência de armazenamento de cargas, como é o caso das pilhas.

O envio da tensão de phantom power para o microfone é feito através do pino 2 (Hot - positivo) e pino 3 (Cold - negativo), isto para um conector do tipo XLR. A presença da tensão de phantom é dada normalmente por meio de resistores de $6.8k\Omega$, sendo que a tensão estará presente nestes condutores em relação ao terra, pino 1 do conector XLR. Este valor de $6.8k\Omega$ para os resistores pode sofrer pequenas alterações caso a tensão de phantom power utilizada seja menor que 48 Vdc.

Atualmente as consoles (mesas de som) profissionais disponibilizam este recurso possibilitando o acionamento por blocos de canais ou por canal individual. O caso por canal individual é o preferido, pois com ele evitamos o envio da tensão DC quando desnecessária, ou seja, para microfones que não necessitam de tensão de phantom power. Caso estivermos utilizando microfones dinâmicos em conjunto com microfones do tipo a condensador (que necessitam de alimentação para operarem), devemos sempre observar se o acoplamento destes está sendo feito através de um transformador, pois o transformador que tem característica a não indução de tensão DC, tem o objetivo de evitar danos nos microfones dinâmicos. Desta forma, garantimos que não haverá danos nos demais microfones que não necessitam da alimentação de tensão phantom externa.

Atente-se para um detalhe muito importante, quando utilizado um microfone dinâmico desbalanceado com phantom power, a tensão (48 Volts ou outra) será aplicada diretamente à bobina móvel do microfone, isso poderá causar dano ao microfone. Outro ponto muito importante é a necessidade de verificação freqüentemente, em todos os pinos de todos os canais da console, do funcionamento do phantom power, para que haja a mínima diferença de potencial entre o pino 2 e o pino 3 dos conectores XLR, pois caso haja uma diferença de potencial significativa, isso pode ocorrer se em um dos pinos o phantom não estiver funcionando corretamente, o risco de queima do microfone é bastante grande.

A figura 15 ilustra o circuito de phantom power.

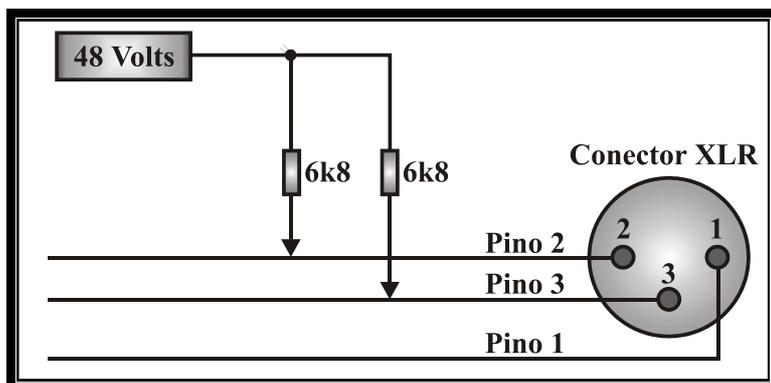


Figura 15 – Circuito Phantom Power

7- Temperatura

Para especificação das características técnicas de um microfone é considerada uma determinada temperatura ambiente, pois ao ocorrer mudança na temperatura ocorre também é claro uma alteração nas mesmas, e isso deve ser levado em conta. Este problema de alteração de característica técnica devido à alteração de temperatura, também ocorre com circuitos eletrônicos (devido à alteração dos componentes), instrumentos acústicos expostos a variações de temperatura ambiente, e em muitos outros campos, por isso não tem nada de novo, pois a temperatura é um fator bem conhecido e sempre levado em conta nos projetos, medições, análises, etc.

Atualmente os microfones operam geralmente na faixa de temperatura entre -10°C e $+65^{\circ}\text{C}$ (alguns modelos podem trabalhar em temperaturas ainda mais extremas), porém suas características técnicas podem ser alteradas. Os microfones a condensador são mais susceptíveis a mudança de suas características em função da variação da temperatura e da umidade, a variação destes fatores pode inserir ruídos ou até falhas temporárias nestes microfones. **Obs:** Em manuais de microfones é comum vermos a especificação técnica de temperatura e umidade juntas, sendo que o formato de colocação desta especificação pode ser expresso da seguinte maneira: Este microfone pode operar numa extensão de temperatura entre -29°C e 57°C (-20°F e 135°F) e com umidade relativa do ar entre 0% e 95%.

8- Pressão Sonora

Trata-se do SPL Máximo (máximo nível de pressão sonora) que pode ser aplicado a um microfone. Como em muitos modelos de microfones temos a possibilidade de aplicação de filtros de baixa freqüência e atenuadores de ganho, o valor do máximo SPL pode ter mais de um valor especificado. O valor de SPL máximo varia muito de modelo para modelo, sendo que para cada marca e modelo de microfone o valor será específico. Neste campo podemos encontrar microfones com SPL máximo mais baixo, mas também

microfones que podem suportar mais de 160 dB SPL. A distorção harmônica total considerando a máxima pressão admitida pode variar de 0,5% até 3%, sendo que estes valores podem alterar muito o SPL máximo de um microfone. Os microfones dinâmicos são os que podem suportar maiores pressões sonoras se comparados aos microfones condensadores, o motivo é sua construção mecânica, e também por não estarem presos ou limitados à capacidade de amplificação dos circuitos eletrônicos, os quais são necessários para o funcionamento dos microfones condensadores.

Quando o SPL máximo de um microfone é ultrapassado, o valor de distorção harmônica total aumenta drasticamente, assim provocando um som de péssima qualidade além da possibilidade de causar danos ao próprio microfone pelo excesso de deslocamento, como se fosse um alto-falante com excesso de deslocamento do seu cone.

9- Ruído Mecânico

Na captação do sinal de áudio por microfones, sempre ocorre uma penetração de ruídos mecânicos indesejáveis por meio de pedestais, provenientes da vibração do palco, provocados pelo bumbo da bateria, por graves do amplificador do baixo, movimentos do artista em sua coreografia, ruídos provocados por um motor de um trio-elétrico, etc. Alguns objetos que são acessórios devem possuir características que minimizem a captação de ruídos externos gerados por outros equipamentos, pois estes ruídos principalmente em apresentações ao vivo, podem danificar os alto-falantes (causando excesso de excursão no conjunto mecânico) do sistema e comprometer o desempenho. Para que estes ruídos sejam minimizados pode-se utilizar filtros passa-altas (mas a cápsula do microfone continuará recebendo todo o impacto), pedestais antivibração, garras ou prendedores especiais construídos à base de borracha presa a uma armação e que também são antichoques e outros acessórios antivibração. Os recursos eletrônicos como: redução de ruídos (noise gate), re-equalização (cortando graves), etc., são soluções convencionais, mas que sem dúvida estarão atacando de frente a dinâmica do sinal e por conseqüência, diminuindo sua qualidade e sua naturalidade. Para estes problemas temos que ter em mente o velho ditado que diz: **"Para problemas acústicos, use soluções acústicas."**

Os isoladores físicos, entre o microfone e o pedestal, conseguem filtrar muitos ruídos indesejáveis, chegando alguns modelos até uma razão de aproximadamente 15dB. A versatilidade de formas de montagem e regulagens torna estes acessórios compatíveis com a maioria dos microfones.

10- Ruído de Fundo

O ruído de fundo refere-se ao ruído característico do microfone (equivalent noise level – nível de ruído equivalente), geralmente expresso em dBA. Na maioria dos casos é um dado técnico importante que não é levado em conta na escolha de um microfone. A variação deste ruído é dada em função da disposição dos circuitos eletrônicos, internos ou externos ao microfone. Sempre que acontece um "pop", este é um ruído gerado principalmente por sons das letras "b", "p" e "t", as quais forçam muito o deslocamento da membrana, o motivo de tal deslocamento é que estes geram sopros. Para minimizar este problema é utilizada uma espuma para a filtragem destes sopros, sendo que esta é posicionada internamente junto à grade do microfone. Acessórios bastante utilizados são espumas externas denominadas de anti-pop filters (filtros de "pop"). Estes acessórios podem ser de encaixe na própria grade do microfone ou também podem ser colocados à distância do microfone por meio de suportes fixados em pedestais. Esta técnica é muito utilizada em estúdios de gravação, pois reduz drasticamente os níveis de ruído gerados pelos sopros principalmente de voz.

11- Resposta a Transientes

A resposta a transientes está relacionada com a capacidade de um microfone responder rapidamente às ondas de som recebidas. Quando comparamos microfones dinâmicos e microfones condensadores, observamos que os condensadores possuem uma capacidade muito maior de resposta a sons rápidos, o motivo deve-se ao fato de que o som chega ao diafragma fazendo este se movimentar proporcionalmente ao sinal recebido, só que a velocidade de movimentação depende do peso e da massa do conjunto receptor e esse conjunto chega a ter massa mil vezes maior nos microfones dinâmicos em relação aos condensadores. Em um microfone condensador o diafragma é muito mais leve que num dinâmico, o que permite um deslocamento muito mais rápido, e conseqüentemente uma resposta rápida a sons rápidos (transientes).

A massa muito maior do microfone dinâmico faz com que este também tenha uma parada de movimentação (amortecimento) bem mais lenta, a sua frenagem é demorada e difícil, oposta ao microfone condensador que é rápida. Isto é o mesmo que compararmos um carro esporte e um caminhão, ambos com a mesma potência, mas o caminhão com um peso bem maior que o carro. A capacidade de aumentar a velocidade mais rapidamente é a do carro por ter menor peso em relação ao caminhão.

A captação de sinais com muitos transientes com microfone dinâmico faz com que a voltagem de saída do microfone apresente muito ripple (ondulações) na resposta em frequência, desta forma podemos dizer que o microfone dinâmico não apresenta uma boa resposta a transientes. Portanto, para captação de sons que tenham ataques rápidos e uma grande extensão de altas frequências o microfone a condensador é uma boa

idéia, em vez de um microfone dinâmico. A figura 16 exemplifica como se dá à resposta a um impulso para um microfone do tipo a condensador e um do tipo dinâmico.

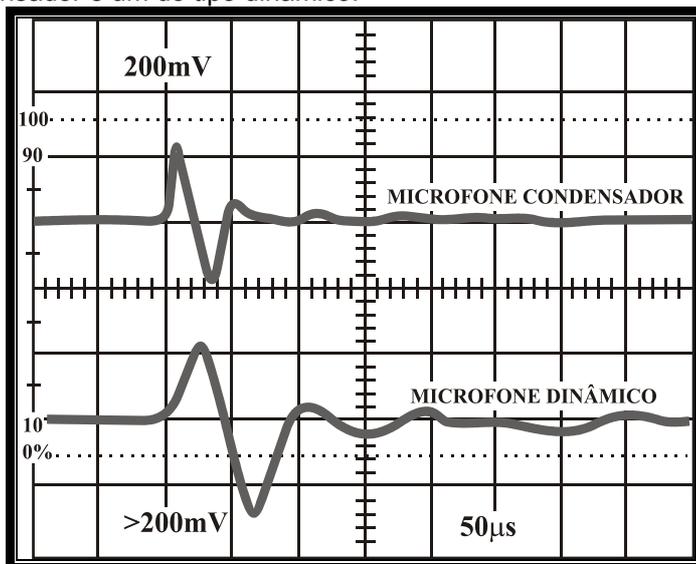


Figura 16 – Resposta Transiente

Na figura 16 podemos observar que a resposta para o mesmo impulso captado é muito mais rápida no microfone a condensador do que no dinâmico. Num segundo plano também nos mostra que o amortecimento é muito mais lento no microfone dinâmico, o que provoca muitas oscilações no sinal gerado pelo microfone.

12- Umidade

A umidade é um fator que sem dúvida deve ser muito levado em conta no manuseio e cuidado com os microfones. Os microfones condensadores possuem uma grande sensibilidade a altos índices de umidade, por isso devem ser armazenados sempre em ambientes bem arejados. Dependendo do caso e local (ambiente), pode haver a necessidade de utilização de um desumidificador elétrico e "sílica gel".

Nos microfones a condensador devemos ter em mente que o componente mais caro é a cápsula. Se este tipo de microfone for submetido a altos níveis de umidade os danos causados à cápsula serão irreversíveis e esta terá que ser trocada, dessa forma podemos avaliar que o prejuízo será grande. Portanto, tome muito cuidado na conservação dos microfones, pois eles são peças sensíveis de um sistema de áudio e que merecem muita atenção.

13- Sensibilidade

A sensibilidade é a expressão do nível do sinal de saída do microfone quando excitado por uma determinada pressão sonora. Normalmente este valor é expresso em dBV ou dBu e a pressão sonora utilizada para medição da sensibilidade é tipicamente 94 ou 74 dB SPL. O nível de pressão é dado por:

$$L_p = 74\text{dB SPL} = 0,1\text{ Pascal} = 1\mu\text{B} = 1\text{dyn} / \text{cm}^2$$

$$L_p = 94\text{dB SPL} = 1\text{ Pascal} = 10\mu\text{B} = 10\text{dyn} / \text{cm}^2$$

Para que possamos comparar dois microfones medidos com diferentes referências, torna-se necessária apenas a adição ou subtração de 20dB do nível dado em dBV.

A figura 17 apresenta um modelo esquemático para calcular e medir a sensibilidade de um microfone.

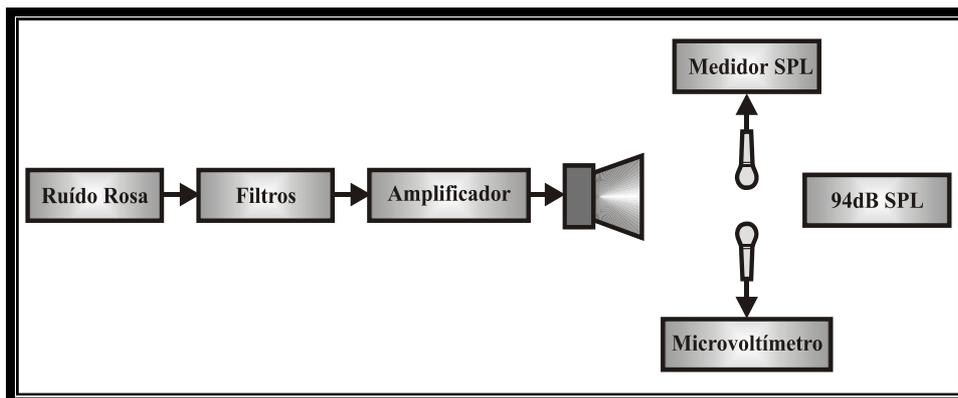


Figura 17 – Medida da Sensibilidade

O procedimento deve ser o seguinte:

- Posicionar o microfone do medidor de SPL a aproximadamente 1,5 metros da caixa acústica;
- Posicionar o microfone a ser medido a também aproximadamente 1,5 metros da caixa acústica;
- Ligar o microfone que está sendo testado a um microvoltímetro;
- Aplicar o ruído rosa ao conjunto mas filtrando o sinal, deve ser deixado passar apenas a banda de frequência de 250Hz a 5000Hz;
- Ajustar para 94dB SPL medindo com o medidor de SPL;
- Observar o nível de tensão medido pelo microvoltímetro e aplicar na fórmula 5;

A fórmula para o cálculo da sensibilidade é a seguinte:

$$S_V = (20 \log E_{OUT}) - L_P + 74 \quad [5]$$

onde:

$S_V \Rightarrow$ Nível acústico do microfone referente a 1 Volt para 1 dyn / cm²;

$E_{OUT} \Rightarrow$ Tensão de saída do microfone;

$L_P \Rightarrow$ Nível de pressão sonora aplicada durante a medição (94 ou 74 dB SPL).

A especificação técnica de sensibilidade é muito importante na escolha de um microfone, pois dependendo da aplicação temos a necessidade de um microfone com grande sensibilidade (fonte sonora bastante baixa). Vamos agora a um exemplo prático para melhor compreensão da medida de sensibilidade.

- Suponha que aplicamos 94dB SPL em um determinado microfone e que o valor de tensão medido no microvoltímetro foi de 0,001 Volt (1mV). Qual será a sensibilidade em decibéis?

Solução:

$$S_V = (20 \log 0,001)$$

$$S_V = -60dB / V / 10dinas / cm^2$$

Ou seja, a sensibilidade deste microfone é -60dB, com referência a 1 Volt e 10 dinas por centímetro quadrado (1Pa = 94dB SPL).

Para referenciar a 1 dina por centímetro quadrado (0,1Pa = 74dB SPL) basta subtrair 20dB (diferença existente entre as pressões sonoras de 94 e 74 dB SPL) ao valor encontrado com a referência de 10 dinas.

Solução:

$$S_V = -60dB - 20dB$$

$$S_V = -80dB / V / 1dina / cm^2$$

Atualmente nos manuais é comum encontrarmos a especificação de sensibilidade dada da forma seguinte. Exemplo: Sensibilidade em circuito aberto = -32dB (25.1mV) ref. 1V a 1Pa*

- 1Pascal = 10dinas/cm² = 10microbares = 94dB SPL.

Ou seja, temos um valor com referência que é 1 Volt de amplitude, a um Pascal de pressão.

14- Filtro High-Pass

O filtro passa-altas pode ser encontrado tanto nos microfones do tipo a condensador como nos microfones dinâmicos. Ele tem a função de eliminar a amplificação de frequências indesejáveis, isso de acordo com a fonte sonora que estamos captando. Este filtro pode ter uma ou mais frequências de corte, sendo que para a sua atuação é disponibilizada uma chave externa ao microfone. Este filtro é muito importante quando estamos captando uma fonte sonora qualquer e queremos eliminar algumas baixas frequências já na captação.

A figura 18 exemplifica o filtro high-pass utilizado nos microfones.

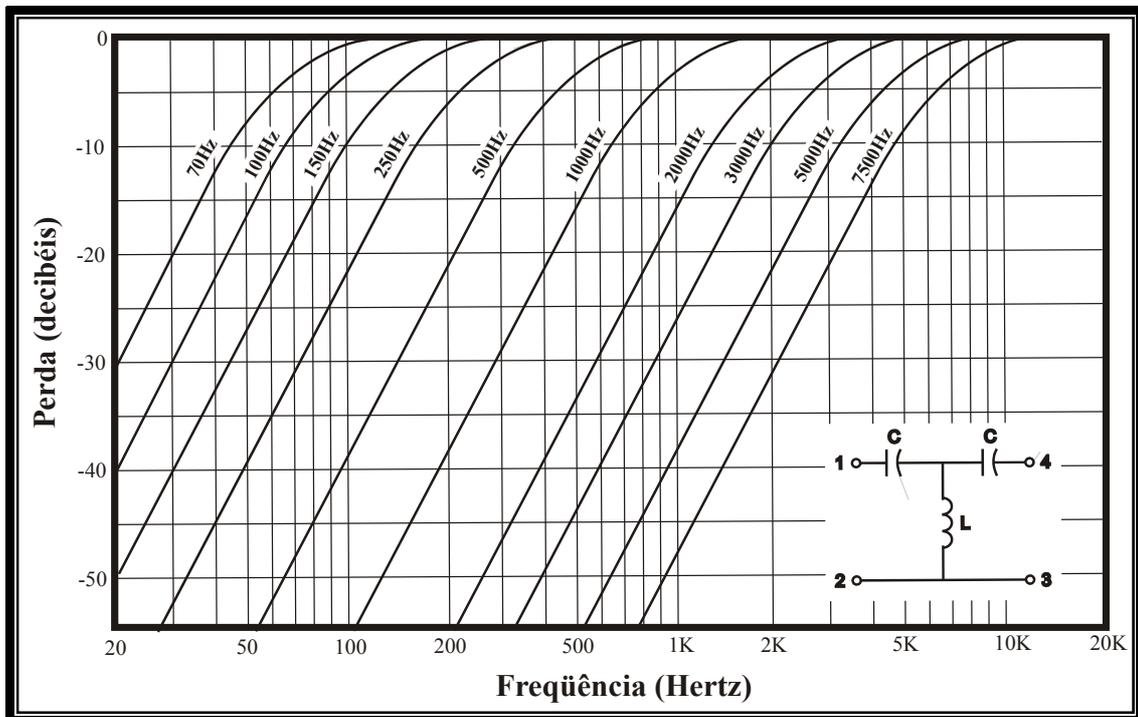


Figura 18 – Filtro High-Pass (Passa-Altas)

Para microfones que não possuem este recurso, atualmente a maioria das consoles profissionais disponibilizam um filtro high-pass, dessa forma pode-se fazer corte de baixas frequências indesejáveis no canal da console.

15- Polaridade

Conforme convenção da AES (Audio Engineering Society – Sociedade de Engenharia de Áudio), no conector XLR o pino 2 é quem conduz o sinal “hot – positivo”, o pino 3 conduz o sinal “cold – negativo” e o pino 1 é o terra (malha). Os pinos 2 e 3 conduzem o mesmo sinal, porém com polaridade invertida. Observe a figura 19 para melhor entender à polaridade.

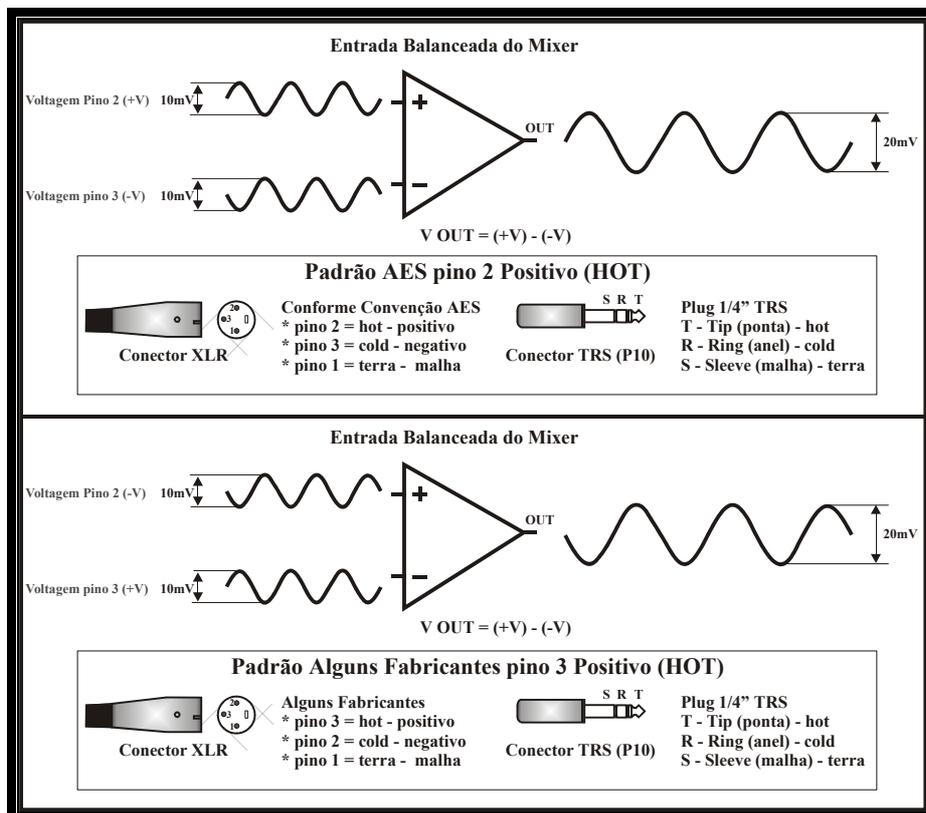


Figura 19 – Polaridade

Na figura 19 podemos observar que o valor de tensão final em ambas as formas de ligação será o mesmo, porém estaremos com a polaridade de um dos sinais invertida em 180° em relação ao outro. Se dois microfones estiverem sendo utilizados para captar uma mesma fonte sonora e cada um deles estiver ligado de forma diferente será gerado um cancelamento dos sinais quando estes forem somados no mixer. Portanto, tome bastante cuidado para que a polaridade dos cabos utilizados nas conexões seja sempre a mesma, de preferência o padrão AES.

16- Efeito da Proximidade

O efeito proximidade é apresentado pelos microfones unidirecionais, sendo que este é um aumento na resposta de baixas frequências em função da proximidade da fonte sonora. Este efeito é bastante utilizado em benefício dos cantores, que quando lhes convém aproximam mais o microfone e ganham com isso um reforço de baixas frequências. Nos casos em que este efeito é prejudicial, pode ser sanado com utilização de um microfone omnidirecional (não apresenta este efeito), com filtros existentes nos canais das consoles ou com filtros existentes nos próprios microfones. Um fator muito importante que devemos ressaltar, é que quanto mais dependente da velocidade, mais um microfone apresentará o efeito de proximidade. Dessa forma o mais afetado com este efeito é o microfone bidirecional.

A figura 20 ilustra como ocorre o efeito de proximidade.

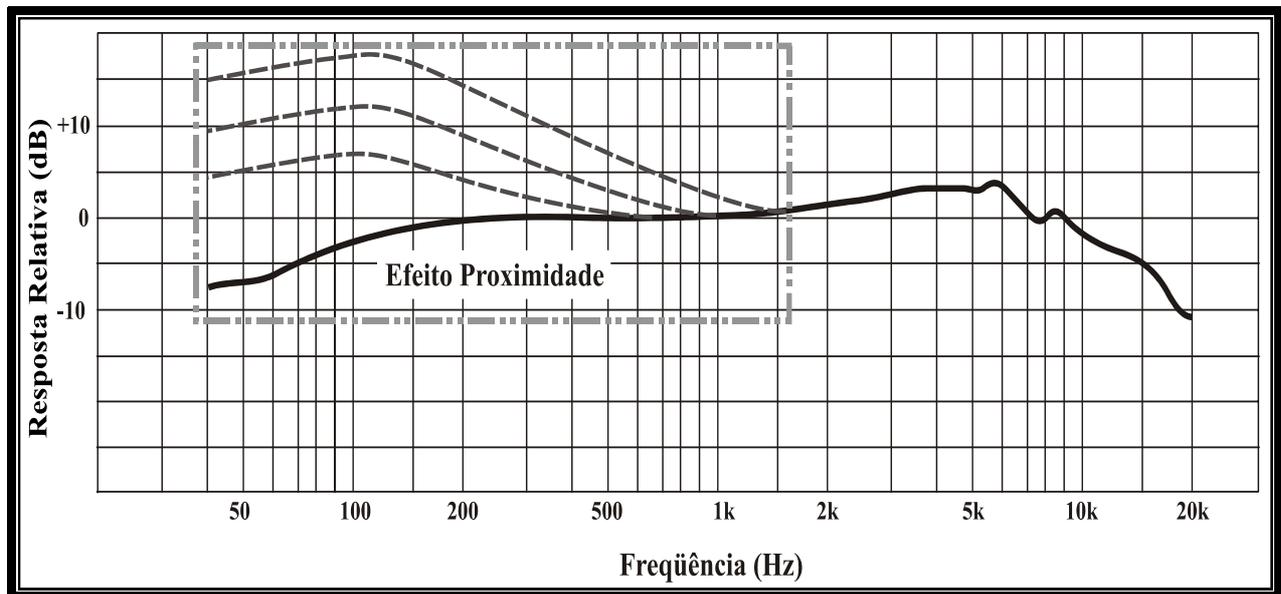


Figura 20 – Efeito Proximidade

17- Fase

Um dos grandes problemas em se utilizar mais de um microfone para captar a mesma fonte sonora está na fase, porque o tempo de chegada do som nos dois microfones será diferente e conseqüentemente teremos uma soma destes sinais defasados gerando um filtro pente (comb filter). Para os casos em que é utilizado mais de um microfone deve-se optar sempre por microfones unidirecionais ou criar barreiras entre os microfones e fontes. Vamos ver um exemplo: Suponha que uma fonte sonora esteja gerando uma frequência de 500Hz e que dois microfones estejam captando este sinal. Se os dois microfones estiverem a uma distância de 34.4cm um do outro qual será o resultado da soma dos sinais?

Solução

Conforme fórmula do comprimento de onda

$$\lambda = \frac{V}{f} \quad [6]$$

Para o nosso caso :

$V \Rightarrow 344m/s$ (velocidade do som no ar a 20° C) e $f \Rightarrow 500Hz$;

$$\lambda = \frac{344}{500} = 0,688metros = 68,8cm$$

Para haver soma sem cancelamento entre os sinais os dois microfones deveriam estar separados por uma distância de 68,8 centímetros, como eles estão separados por 34,4cm um estará a meio comprimento de

onda em relação ao outro, ou seja, em 180° de defasamento do sinal, com isso o somatório dos sinais tenderá a zero. A figura 21 exemplifica como ocorre o cancelamento em virtude da fase do sinal.

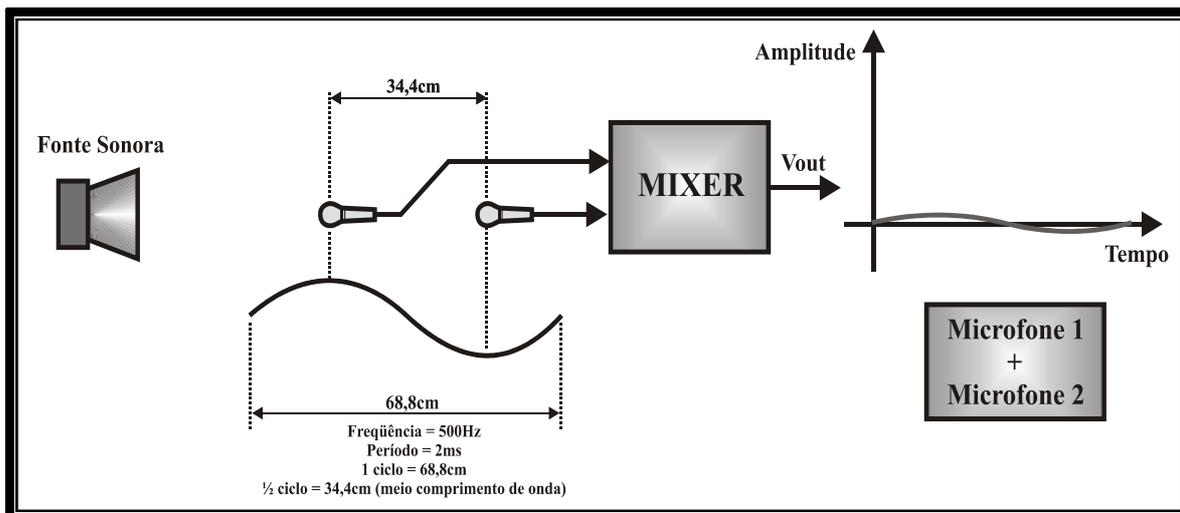


Figura 21 – Fase

Na figura 21 podemos observar que um microfone está exatamente 180° defasado em relação ao outro, o que faz com que o somatório dessa frequência seja próximo de zero. Quando estivermos captando um programa de áudio (em vez de uma única frequência) o problema será muito agravado, visto que em um programa de áudio está presente todo o espectro de frequências e o comb filtering ocorrerá em todo o espectro. Caso o cancelamento maior seja em 180° solucionamos invertendo a polaridade de um dos microfones. Isso pode ser feito invertendo-se o pino 2 com o pino 3 do cabo do microfone (também pode-se utilizar um adaptador inversor de polaridade), ou atualmente na maioria das consoles de mixagem profissionais já possuem a opção de inversão de polaridade no próprio canal por meio de uma chave.

18- Distância Crítica

A distância crítica é o local onde o sinal direto e o sinal refletido no ambiente produzidos por uma fonte sonora possuem a mesma amplitude. Dessa forma o cancelamento pode ser grande, pois os dois sinais chegarão ao microfone possuindo a mesma amplitude mas defasado um em relação ao outro, o que sem dúvida causará um grande cancelamento do sinal. A melhor solução para este problema é trocar o microfone que está sendo utilizado por um do tipo unidirecional ou aproximar mais o microfone à fonte sonora, pois dessa forma teremos mais sinal de fonte do que do ambiente.

19- Fator da Distância

A maior rejeição de sons provenientes fora do eixo se dá em microfones do tipo unidirecionais, por isso estes podem ser posicionados a maiores distâncias da fonte sonora geradora. A relação entre microfones omnidirecionais e unidirecionais para captação de som ambiente é dada ao dobro da distância, ou seja, os microfones unidirecionais devem estar o dobro de distância mais longe da fonte para captarem a mesma quantidade de som ambiente.