



MICROFONES CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES

Este é o artigo que escrevi para apresentação no Primeiro Seminário de Engenharia de Audio da UFMG. Vocês não terão acesso aos arquivos de foto e fórmulas por serem arquivos grandes. Esta apresentação estará disponível na revista Audio Música e Tecnologia ou nos anais do SemEA.

Denio G. Costa

DGC Audio

Rua General Andrade Neves, 227, Gutierrez

Cep: 30 430-070, Belo Horizonte, MG – Brasil

(5531) 3374 2020

www.dgcaudio.com.br / dgc@dgcaudio.com.br

Resumo - Este documento tem por objetivo fornecer conceitos básicos utilizados na construção de microfones, baseados em princípios eletromagnéticos e eletrostáticos, formas de captação dos sinais acústicos, interação entre circuitos de fonte e carga, diagramas polares, aplicações práticas e técnicas de captação.

Abstract - This document was written with the purpose of providing the basic concepts about construction of microphones, based upon electromagnetic and electrostatic principles, means and techniques of picking up acoustic signals, interaction between load and source circuits, polar diagrams and practical applications.

I. INTRODUÇÃO

A escolha do microfone e sua disposição na captação das fontes de áudio têm grande influência na definição da qualidade do sinal, tanto para sonorização quanto para gravação.

Em sonorização ao vivo são diversas as técnicas e objetivos utilizados na captação. Maximizar o sinal da fonte de áudio em relação ao ruído de fundo, reflexões e ruído ambiente, evitar realimentação, são parte destes objetivos.

Na gravação, a transparência e fidelidade do sinal captado são fatores relevantes na escolha dos microfones. Em ambas situações o timbre é muito importante. Ele é responsável pela característica sônica do sinal registrado.

Na escolha do microfone deve-se avaliar a aplicação prática, impedâncias dos circuitos, se dinâmico ou condensador, resposta em frequências, resistência mecânica, diagrama polar (ângulo de captação em função da frequência), níveis de pressão sonora, resposta a transientes, ruído de fundo, ruído mecânico, temperatura, umidade, sensibilidade além das técnicas de captação.

Não apresentarei sistemas de microfones sem fio. Nenhum sistema de microfone sem fio será superior ao utilizado com fio do mesmo modelo, no máximo igual. Entendemos que o diferencial será o rádio, suas limitações técnicas e facilidade de uso.

II. MICROFONES CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES

Inventado por David Hughes, os microfones são transdutores eletroacústicos que transformam energia acústica em energia elétrica através do deslocamento de sua membrana proporcionalmente

as ondas de som capturadas.

São quatro considerações básicas que devem ser observadas na escolha de um microfone: Impedância, princípio de operação, resposta em frequências e diretividade.

III. IMPEDANCIA

Oposição à passagem de corrente elétrica em um determinado circuito. Seu módulo varia de acordo com a frequência.

Diferente de sinais de linha com transformador e antigas linhas de transmissão de telefones, onde os circuitos deveriam ter a mesma impedância entre fonte e carga. Os pré-amplificadores para microfones devem possuir impedância de entrada em torno de 10 a 20 vezes maiores que a impedância de saída do microfone (Figura 1). As impedâncias dos microfones, atuais, variam entre 50 e 600 Ohms, assim sendo, os pré-amplificadores devem ter impedâncias de entrada em torno de 3000 Ohms (1).

Estas relações mantêm a resposta em frequência mais uniforme garantindo também uma transferência de tensão maior entre fonte e carga.

Impedâncias muito baixas fazem com que o microfone dissipe muita potência, quando sons incidem sobre a membrana, aumentando a probabilidade de distorções. Já impedâncias maiores fazem com que sua performance seja melhor, no entanto, pode-se perder frequências mais altas, causar oscilações nos circuitos internos do microfone e aumentar a captação de ruídos nos cabos.

Existem alguns pré-amplificadores que possuem seleção da impedância de entrada variando entre 50 a 600 Ohms (valores referentes às impedâncias das fontes). A vantagem disso é o melhor desempenho para cada microfone utilizado.

Em alguns manuais de microfones encontram-se duas impedâncias, uma de fonte, que é a do microfone e outra sendo impedância de carga ideal para o pré de microfone utilizado.

As impedâncias são referenciadas a 1000 Hz, já que esta grandeza varia com a frequência. Há um aumento progressivo da impedância com o aumento da frequência ocasionando um filtro passa baixa que é alterado com a inserção do cabo para microfone, conectores e pré onde este microfone será conectado.

Figura 1. Impedância (Z_{out} e Z_{in})

IV. TRANSFERÊNCIA DE TENSÃO ENTRE FONTE E CARGA

Como foi dito utilizamos impedâncias de carga entre 10 a 20 vezes maior que a impedância da fonte. A seguir o cálculo da tensão na carga.

Onde:

V_c – Tensão na carga

V_f – Tensão gerada pela fonte

Z_c – Impedância da carga

Z_f – Impedância da fonte

A seguir cálculo da perda da tensão em função dos valores de impedância utilizados.

Onde:

PT – Perda em tensão

Vtransf - Percentual de tensão transferido à carga.

Para impedâncias iguais teremos uma perda de 6 dB. Para valores onde Z_c/Z_f sejam iguais a 10 o percentual de transferência varia para aproximadamente 91% o que nos leva a uma perda de apenas 0,82 dB. Já para uma razão de 20 a perda será de 0,423 dB.

Dai a importância de se ter estas relações de impedâncias otimizando sempre a transferência de tensão possível entre fonte e carga aumentando assim a relação sinal/ruído do sistema.

A relação sinal/ruído e a resposta em frequências do microfone variam, como vimos, com a variação das impedâncias da fonte e carga e também com a capacitância dos cabos inseridos entre os circuitos. Mas é comum vermos sistemas utilizando duas, três ou até mesmo quatro consoles de mixagem (mesas de som) ligadas em paralelo. Como em gravação de shows ao vivo. Isto faz com que a impedância da carga diminua em até quatro vezes o que altera completamente as características do microfone.

Nestas situações o ideal é utilizar circuitos distribuidores ativos (circuito eletrônico) ou passivos (transformador). Para circuitos passivos é importante que o microfone esteja conectado diretamente ao distribuidor e ao mesmo tempo a uma das consoles. Desta maneira garantimos que microfones condensadores que necessitam de alimentação externa (Figura 14) possam funcionar [7].

V. PRINCÍPIO DE OPERAÇÃO

O tipo de transdutor é definido pelo princípio de operação que basicamente são; Piezoresistivo (carbono), Piezoelétrico (cerâmica ou cristal), eletromagnético (ímã móvel), Eletrodinâmico (bobina móvel) e Eletrostático (condensador e eletreto) [7], [8].

Portanto o princípio de operação determina como o microfone captura o som acústico e o converte em sinal elétrico. Microfones dinâmicos operam segundo o princípio da lei de Faraday e microfones condensadores operam segundo o princípio eletrostático [1], [2].

A. Microfone Dinâmico – Princípio eletromagnético

Possuem diafragma, bobina móvel e ímã que formam um gerador elétrico de ondas de som. As ondas sonoras movem o conjunto diafragma-bobina móvel que se encontra dentro de um campo magnético gerando, em seus terminais, uma energia elétrica proporcional às ondas de som (Figura 2).

Este sinal pode ser utilizado diretamente sem o uso de qualquer circuito complementar ou pré-amplificador. Geralmente o que se utiliza é um transformador casador de impedâncias e balanceador de sinal, entre a bobina e o circuito de entrada dos pré-amplificadores.

Alguns fabricantes já utilizam o neodímio capaz de fornecer campos magnéticos com ímã de menor tamanho diminuindo o tamanho e o peso do dispositivo.

A membrana deve ser construída com material resistente, porém elástico para evitar deformidades com grandes pressões sonoras e fadiga com uso.

O sistema de suspensão deve ser capaz de eliminar os ruídos provenientes do manuseio do microfone, principalmente em aplicações ao vivo [6].

Alguns microfones possuem chave externa para filtro de baixas frequências "bass roll off" variando entre 50 e 150 Hz em média.

Figura 2. Microfone Dinâmico

Pode-se dizer que um microfone é como um alto-falante que no lugar de gerar sinais os captura. Pode-se verificar esta afirmativa ligando, por exemplo, um fone de ouvido na entrada de microfone de uma mesa de mixagens. Apesar da baixa qualidade haverá som ao se falar neste fone de ouvido. O oposto acontece se ligarmos um microfone a uma saída de fones de ouvido, ou outro amplificador qualquer. Ouviremos som, porém, muito cuidado nestes testes pois os microfones podem ser danificados.

Este formato de construção é mecanicamente resistente, possui boa sensibilidade e pode suportar altos níveis de pressão sonora sem que haja distorção e sofrem efeito da fadiga mecânica.

A resposta a transientes e em frequências altas e baixas é limitada. Para compensar isto são utilizadas pequenas câmaras ressonantes, a fim de estender a resposta em frequências destes microfones [6].

1) Microfones de fita

Uma fita muito fina e corrugada é montada em um gap sob um campo magnético (figura 3). Esta fita é fixada por suas extremidades, porém seu corpo fica livre para se movimentar. Quando o sinal incide sobre a fita, esta vibra proporcionalmente à intensidade do som, atravessando as linhas do campo magnético onde são induzidas as variações resultantes. Isto faz surgir em seus terminais uma pequena tensão. Por isso este tipo de microfone necessita de um transformador elevador de sinal e casador de impedâncias, já que a impedância da fita é muito baixa [7].

Figura 3. Microfone de fita

É um dispositivo muito frágil, até mesmo um sinal ou vento mais forte podem danificá-lo. Apesar da melhora na resistência mecânica dos atuais modelos de microfone de fita, ainda somente são utilizados em estúdios de gravação.

Possui baixo nível de ruído, excelente qualidade sônica especialmente em altas frequências

2) Microfones eletromagnéticos de ímã móvel

Nos microfones eletromagnéticos a bobina é fixa e o diafragma é conectado a uma armadura. Quando o diafragma recebe a incidência das ondas sonoras se move e conseqüentemente move a armadura [7]. A armadura se movendo varia a relutância (propriedade de um circuito magnético em resistir à magnetização) do campo magnético que é envolvido por uma bobina fixa (Figura 4).

Figura 4. Microfone de ímã móvel

3) Microfones canceladores de ruídos ou diferenciais

São microfones que possuem duas cápsulas montadas em oposição com polaridade invertida e operam com o princípio de cancelamento de fase. Eles amplificam sinais gerados muito próximos a uma das bobinas, (menos de 5 cm) e rejeitam sons de fontes sonoras mais distantes (Figura 5). São utilizados em comunicações em locais com alto nível de ruídos, como em guerras, cabines de aeronaves, parques industriais etc.

Figura 5. Microfone diferencial

B. Microfone Condensador (capacitor) ‐ Princípio eletrostático

Em nossos corpos o acúmulo de energia eletrostática é muito conhecida. Quando esfregamos uma régua no cabelo e a aproximamos de pedaços de papel picados ou quando tocamos a porta do carro após longo contato com o banco é comum sentirmos uma descarga elétrica de alta tensão e muito rápida [1], [2].

Microfones eletrostáticos (condensadores e eletreto) utilizam diafragma condutivo e uma placa paralela fixa, (backplate) carregada eletricamente para formar um capacitor sensível às variações das ondas sonoras (Figura 6).

O microfone de eletreto possui como característica armazenar carga permanentemente e não necessitar de energia externa. A alimentação que o eletreto utiliza é para energizar o circuito pré-amplificador. As placas são polarizadas por meio de bombardeio de elétrons em sua fabricação [8].

O diafragma pode ser de plástico coberto de material condutor, como o ouro, ou de metal muito fino (medido em microns). A placa fixa é de metal rígido ou de metal em conjunto com uma cerâmica.

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.

As ondas sonoras que chegam ao microfone, movimentam o diafragma, variando a distância entre as placas, gerando assim o sinal elétrico. As amplitudes dos sinais gerados por estes movimentos são muito pequenas sendo necessário o uso de um circuito pré-amplificador de sinal. Este circuito pode estar dentro do corpo do microfone ou em caixa separada.

Figura 6. Microfone Condensador (capacitor)

Os diafragmas utilizados nos microfones a condensador podem variar de tamanho. Os microfones profissionais possuem, em média, diafragma de 1 polegada (2,54 mm) de diâmetro.

Como em todo circuito eletrônico é necessário o uso de alimentação para que o conjunto funcione. No caso dos microfones esta alimentação pode ser fornecida por pilha, bateria, fonte de alimentação externa ou pelo próprio pré-amplificador onde o microfone será ligado, denominado phantom power (Figura 14).

Os circuitos pré-amplificadores utilizados nos microfones condensadores podem utilizar transistores, circuitos integrados, válvulas ou serem mistos. Mas todos serão circuitos ativos (Figura 7).

Figura 7. Circuito eletrônico do microfone condensador PZM 300 - Crown

Microfones a condensador possuem maior sensibilidade que microfones dinâmicos. Porém, possuem menor resistência mecânica. São muito mais fiéis com relação à resposta a transientes que microfones dinâmicos, pois estes últimos possuem massa muito superior que aumenta sua inércia, conseqüentemente diminuindo sua capacidade de responder a rápidas variações.

A largura da faixa de resposta em frequências também é superior. Microfones utilizados em instrumentação são condensadores, pois este tipo possibilita a utilização em frequências mais altas, proporcionando um menor desvio de fase e uma resposta mais precisa a transientes.

A maior limitação de um microfone condensador está em seu circuito eletrônico. Os circuitos operam com nível de tensão limitado, que quando ultrapassado ocasiona distorções. Por isso alguns microfones condensadores possuem interna ou externamente uma chave redutora de nível, denominada PAD. Esta redução varia de acordo com o modelo do microfone e está em torno de ‐10 à ‐20 dB.

Entre a cápsula e o circuito eletrônico de um microfone condensador pode haver altos níveis de sinal trafegando sem distorção.

Como este microfone utiliza circuito pré-amplificador o que se observa é um maior nível de ruído (hiss) quando se captura sinais de baixa amplitude em lugares muito silenciosos. Claro que há microfones com circuitos melhor desenvolvidos em que os níveis de ruído são muito baixos.

Os microfones eletrostáticos possuem alta impedância e baixa tensão de saída da placa. Por isso estes dispositivos possuem amplificadores de sinal que também funcionam como casadores de impedância em suas saídas (figura 7).

1) Piezoelétrico (Cerâmica ou Cristal)

O microfone piezoelétrico, também conhecido como cerâmico ou cristal, gera uma força eletromotriz a partir da deformação de um cristal. Este cristal possui características piezoelétricas (eletricidade por pressão) [3].

A tensão gerada pela deformação do cristal é proporcional ao deslocamento das ondas de som. Estes dispositivos podem receber pressão direta ou através de diafragma acoplado ao cristal (Figura 8).

Se o cristal for exposto a uma temperatura igual ou superior a 55°, perderá todas as suas características permanentemente, portanto são muito sensíveis ao calor e a umidade.

Os microfones que utilizam cerâmica de bário, apresentam características similares aos cristais e são mais resistentes à variação de temperatura.

Atualmente 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, além de possuírem alta impedância de saída.

Figura 8. Microfone Piezoelétrico

2) Piezoresistivo (Carvão)

Um dos mais antigos tipos de microfone. Consiste em um recipiente com pequenos grãos de carbono puro, através dos quais circula uma corrente elétrica.

É alimentado através de uma bateria que mantém uma tensão 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 (Figura 9).

A resistência do carbono então é variável, convertendo a tensão da bateria em uma variação de corrente correspondente que é uma representação elétrica do som.

A corrente é elevada por meio de um transformador, responsável também por casar a impedância e bloquear a corrente contínua da bateria.

Não possuem excelente qualidade sônica, porém são extremamente baratos e robustos. Por esta razão são muito utilizados em equipamentos não profissionais.

Durante muitos anos este microfone foi o padrão da telefonia. Atualmente vêm sendo substituídos por

microfones dinâmicos.

Figura 9. Microfone Piezoresistivo

Os microfones de carvão podem perder sua eficiência e tornarem-se barulhentos se os grãos de carbono ficarem compactados. É possível recuperar a sonoridade espalhando estes grãos. Pode se conseguir este resultado batendo o invólucro do microfone em superfície densa.

3) Pressure Zone Microphone - PZM (microfone por zona de pressão)

Um pequeno microfone condensador é montado muito próximo a uma placa que reflete o som que nela incide (boundary). A cápsula está montada na zona de pressão (Figura 10.a e 10.b).

Figura 10.a. Microfone PZM visto por cima

Figura 10.b. Microfone PZM visto de lado

Neste formato de microfone o som que incide sobre a cápsula chega praticamente ao mesmo tempo que o som refletido pela placa, estando os dois em fase.

A vantagem deste formato é um som sem interferências de fase e sem coloração fora do eixo.

Utilizando um microfone convencional em pedestal, há incidência de sons diretos e sons refletidos pelo piso. Estes sons refletidos não incidirão sobre a cápsula ao mesmo tempo que os sons diretos. Isto causará o efeito do filtro pente, adulterando a resposta em frequências do microfone (Figura 11).

Figura 11.

Muitas vezes utilizamos o microfone posicionando-o no chão para realizarmos algumas medições, diminuindo interferências na leitura.

O formato de captação deste microfone é semi-esférico (Figura 12). Pode ser mais definido quando se estende a área da placa, utilizando acrílico ou montando o microfone sobre uma mesa, teto, piso ou parede.

A resposta em baixas frequências, deste tipo de microfone, depende da extensão da superfície onde ele está montado. Quanto maior a superfície melhor sua resposta. Placas menores fazem com que frequências cujo comprimento de onda é superior a área da placa, sejam captadas de modo omnidirecional.

Figura 12. Captação semi-esférica

Para maior controle da área de captação, pode-se estreitar o ângulo entre as placas ou acrescentar mais placas fazendo com que atuem como "gomos de uma laranja".

Mike Lamm e John Lehman (Dove & Note Recording Company ‐ Houston) desenvolveram, com grande sucesso, diversas configurações utilizando placas. Conseguiram emular situações de estéreo natural, X-Y, M-S, Figura 8 e outros formatos de captação, utilizando dois microfones PZM e placas refletoras (XXVI). Esta técnica de arranjos é conhecida como "L2 Mic Array" [3]. Ela é aplicada para captação de fontes sonoras como pianos, grupos vocais, gravação de platéia, sons percussivos, TV, cinema, etc.

VI. RESPOSTA EM FREQUÊNCIAS

Trata-se da faixa de frequências que o dispositivo é capaz de reproduzir. Se observarmos os gráficos

da maioria dos microfones veremos uma ampla linha que representa sua resposta em freqüências, leitura válida para medições no eixo (on axis).

Quando um microfone responde toda a faixa de freqüências com pequenas variações de amplitude podemos dizer que este microfone é plano (flat). Estes microfones captam os sinais das fontes sem "colorir" estes sinais.

Existem microfones que possuem resposta em freqüências variando ao longo do espectro. Em algumas situações são a melhor escolha. Os microfones podem apresentar corte ou acentuação nas baixas, médias ou altas freqüências. Não significa que um seja melhor que outro, apenas que têm características distintas para aplicações distintas.

Um microfone com ligeiro acréscimo na resposta em freqüências entre 3 e 5 KHz aumenta a inteligibilidade para uso de voz. Muito utilizado em shows e serviços de chamada. Este acréscimo nesta região também é conhecido como "presença".

Microfones condensadores e dinâmicos podem apresentar gráficos de resposta em freqüência semelhantes, porém a resposta a transientes (VIII) do microfone `a condensador é superior [4], [5].

A resposta dos microfones também pode ser afetada pela qualidade dos cabos utilizados. Tém-se o efeito da capacitância e resistência do cabo sobre o sinal do microfone, ou seja, um filtro de freqüências que também varia de acordo com as impedâncias da carga [3].

Figura 13. Capacitância e impedância do cabo de microfone

Onde:

Zs = Impedância da fonte

ZL = Impedância da carga

F = Freqüência

C = Capacitância

Xc = Reatância

VII. PHANTOM POWER

O "phantom power" é uma alimentação "fantasma" que utiliza o mesmo cabo que conduz o sinal para alimentar os circuitos de microfones condensadores. É uma tensão entre 9 e 56 Volts onde existe uma tendência na indústria em padronizar em 48 Volts DC, conforme norma DIN 45596/IEC 815. Alguns microfones utilizados em instrumentação operam com tensões de 15 Volts DC.

Microfones que operam tanto com pilhas quanto com phantom power, apresentam melhor performance quando operam com o phantom power em 48 V devido a possibilidade de maior excursão do sinal. Outro fator importante é a estabilidade oferecida por não dependerem de cargas armazenadas.

Em um cabo para microfone balanceado, com conectores XLR, a tensão do "phantom power" utilizará o condutor "hot" pino 2 e "cold" pino 3, para ser conduzida. Por meio de resistores de 6.8 K $\frac{1}{2}$ a tensão estará presente nestes condutores em relação ao terra, pino 1 (Figura 14). O valor destes resistores podem sofrer pequenas alterações se o phantom power utilizado for de tensão menor que 48 V.

As mesas de som que disponibilizam tal recurso possibilitam seu acionamento por blocos ou por

canal, este último é preferido, pois evita o envio da tensão DC quando desnecessária.

Quando microfones dinâmicos estiverem sendo utilizados juntamente com os do tipo a condensador, que necessitam de alimentação para operarem, deve-se observar se o acoplamento está sendo feito por um transformador a fim de se evitar danos nestes microfones.

Se em conjunto com microfones condensadores estiver sendo utilizado microfones dinâmicos e estes possuírem transformadores, não haverá risco de dano já que transformadores têm por característica não induzir tensões DC.

Ao utilizar um microfone desbalanceado com phantom power acionado, haverá 48 Volts sendo aplicados à bobina móvel (Figura 14). É prudente verificar, frequentemente, o funcionamento do phantom power em ambos os pinos de cada XLR de toda a console de mixagens, mantendo mínima a diferença de potencial.

Figura 14. Circuito de Phantom Power

VIII. RESPOSTA A TRANSIENTES

Habilidade de um microfone em responder rapidamente às ondas de som recebidas.

Quando um sinal incide sobre o diafragma faz com que este se movimente proporcionalmente ao sinal recebido. A velocidade deste movimento dependerá do peso e massa deste conjunto receptor. Microfones dinâmicos chegam a ter massa mil vezes maior que microfones condensadores. Como o diafragma de um microfone condensador é mais leve que o dinâmico, permite que ele se desloque mais rapidamente [4], [5].

O mesmo acontece no momento em que o microfone deve parar de se movimentar (amortecimento). A massa do microfone dinâmico faz com que sua frenagem seja mais difícil e demorada, o oposto do microfone condensador.

Analogicamente a um carro esporte e um caminhão que podem ter a mesma potência porém carregam pesos diferentes e possuem arrancada e parada em tempos muito distintos. De acordo com a mudança no tráfego o carro esporte pode acelerar e chegar à velocidade máxima muito mais rapidamente. Ambos trafegam pelo trânsito, mas o carro esporte responde mais rapidamente.

Se utilizarmos um microfone dinâmico para captar um sinal rico em transientes em seus terminais o sinal apresentará ripple na resposta.

IX. PRESSÃO SONORA

SPL MAX - Máximo nível de pressão sonora que pode ser aplicado a um microfone.

A máxima pressão sonora aplicada aos microfones pode ter mais de um valor especificado. Isto se deve à possibilidade do uso dos filtros de baixa frequência e dos atenuadores de ganho.

Para cada marca e modelo de microfone este valor será específico. Veremos microfones que suportam mais de 160 dB SPL (sound pressure level).

Microfones dinâmicos suportam maiores pressões sonoras que os condensadores por sua construção mecânica e por não estarem limitados à capacidade de amplificação dos circuitos eletrônicos utilizados nos microfones condensadores.

A distorção harmônica total (THD) para a máxima pressão apresentada pode variar de 0,5% à 3%. Estes percentuais alteram bastante o SPL máximo de um microfone.

X. RUÍDO DE FUNDO

O ruído de fundo característico (equivalent noise level), dado em dB A nem sempre é considerado na escolha de um microfone. Este ruído varia de acordo com a disposição dos circuitos eletrônicos, se interna ou externamente.

O "pop" é um ruído gerado pelos sons das letras "b", "p" e "t" que forçam drasticamente o deslocamento da membrana por gerar sopros. Utiliza-se espuma como filtro interno junto à grade do microfone (wind screen). Como acessório têm espumas externas denominadas anti-pop filter.

Os anti-pop filter podem ser de encaixe na grade do microfone ou podem ser utilizados à distância por meio de suportes fixados aos pedestais, muito utilizados em estúdios de gravação.

XI. RUÍDO MECANICO

Microfones utilizados em apresentações ao vivo devem ter alta imunidade à transmissão de ruídos mecânicos. Este tipo de ruído pode danificar os alto-falantes por causar sobre excursão nos conjuntos mecânicos.

Os ruídos mecânicos podem ser minimizados por meio de filtros passa alta. Porém a cápsula receberá todo o impacto.

O ideal é utilizar garras especiais a base de tiras de borracha suspensas em armação (Anti shock mount) além de pedestais anti vibração.

XII. TEMPERATURA

As características do microfone são especificadas considerando-se uma determinada temperatura ambiente. A variação da temperatura irá alterar estas características. O mesmo acontece com instrumentos acústicos expostos a variações de temperatura ambiente.

Geralmente microfones operam em temperaturas entre -10° e $+ 65^{\circ}\text{C}$, porém suas características podem se alterar.

Grandes variações na temperatura e umidade podem afetar os microfones condensadores, inserindo ruídos ou falhas temporárias.

XIII. UMIDADE

Microfones condensadores são muito sensíveis a altos índices de umidade. Devem ser armazenados em ambientes arejados. Em alguns ambientes é necessário utilizar desumidificador elétrico e "silica gel".

A umidade pode causar danos irreversíveis à cápsula, precisando então ser substituída. Considere que este é o componente mais caro deste tipo de microfone.

XIV. SENSIBILIDADE

É dada em dBV e expressa o nível de saída de sinal do microfone quando excitado por uma determinada pressão sonora, tipicamente 94 ou 74 dB SPL (4).

Para comparar microfones medidos com diferentes referências basta, adicionar ou subtrair 20 dB do nível dado em dBV.

Para calcular/medir a sensibilidade de um microfone apresentamos o modelo da Figura 14.

Figura 15. Modelo de medida de sensibilidade

Posicionar o microfone do medidor de SPL e o microfone a ser avaliado a aproximadamente 1,5 metros da caixa acústica. Ligar o microfone em teste a um microvoltímetro. Aplicar ruído rosa ao conjunto amplificador/caixa acústica, filtrar o sinal deixando passar entre 250 e 5000 Hz. Medir, utilizando o medidor de pressão sonora, 94 dB SPL. Observe o valor medido pelo microvoltímetro.

Onde:

Sv - Nível acústico do microfone referente a 1 Volt para 1 dyn/cm²

Eout - Tensão de saída do microfone

Lp - Nível de pressão sonora aplicada durante a medição (94 ou 74 dB SPL)

Exemplo:

Se aplicamos 94 dB SPL em um microfone e o valor medido no microvoltímetro for de 1 mV (0,001 V) podemos calcular:

$$Sv = (20 \log 0,001) \text{ \&endash; } 94 + 74$$

$$Sv = - 80 \text{ dB/V/1 dyn/cm}^2$$

XV. CONEXÕES

O tipo de conector encontrado na maioria dos microfones profissionais é o XLR de 3 pinos, fabricado por diversas industrias como: Cannon, Neutrik, Canare, Amphenol, Switchcraft e outras.

Alguns microfones condensadores que possuem pré-amplificador externo podem utilizar sistema de multipinos, controlando ganho, diagrama polar e phantom power [6].

Microfones miniatura utilizam conectores menores, como o mini XLR de 3 a 7 pinos.

XVI. FILTROS HIGH PASS

Os filtros passa altas podem ser encontrados tanto nos microfones condensadores quanto nos dinâmicos (Figura 16).

De acordo com a fonte sonora a ser captada, utiliza-se o filtro para que não haja frequências indesejáveis amplificadas. Os filtros são passivos e podem ter uma ou mais frequências de corte e disponibilizam uma chave de atuação [3].

Figura 16. Gráfico e circuito filtro passa alta

XVII. DIAGRAMA POLAR (DIRETIVIDADE)

Os microfones apresentam diferentes respostas de frequências e amplitude em função da direção da fonte de áudio (Figura 17). É denominado "eixo" a parte frontal ` a cápsula do microfone e representa um ângulo de 0 ° (zero grau). A parte posterior representa um ângulo de 180 ° .

Figura 17. ngulos de captação em um microfone

Os formatos básicos de captação são: omnidirecional, unidirecional e bidirecional. Os demais formatos de captação são variações destes três.

Transdutores de pressão expõem apenas a parte frontal da cápsula à fonte sonora e são denominados omnidirecionais.

Transdutores de gradiente de pressão expõem ambas as partes, posterior e anterior, da cápsula à fonte sonora e são denominados direcionais.

A. Omnidirecional

O microfone com diagrama omnidirecional apresenta semelhante amplitude no nível de saída quando excitado em qualquer ângulo. Este microfone cobre 360 ° e capta o máximo de som em todo o ambiente.

Se for utilizado em aplicações ao vivo deverá ser posicionado bem próximo da fonte sonora para que o ambiente interfira pouco no balanço entre som direto e som ambiente.

Figura 18. Captação omnidirecional

É extremamente suscetível a realimentações (microfonias). Um exemplo de microfone com diagrama polar omnidirecional é o utilizado em lapela. Este formato de captação não apresenta variação na resposta em frequências com mudança de lugar da fonte geradora. Quando o orador movimenta sua cabeça o microfone continua apresentando a mesma resposta.

B. Unidirecional

Este tipo de captação permite ao microfone grande sensibilidade aos sons provenientes do eixo e muito pouca sensibilidade aos sons vindos das demais direções (Figura 19a e 19b). Dentre eles o mais comum é o cardioide e seu diagrama de captação se assemelha ao formato de um coração. Possui alta sensibilidade a 0 ° e baixa sensibilidade a 180 °.

Figura 19 a e 19 b. Captação cardioide, supercardioide e hipercardioide

Microfones com diagrama polar cardioide tendem a captar 30% menos som ambiente que os omnidirecionais.

São utilizados quando o controle da diretividade é importante, como acontece em um ambiente em que se tenha vários instrumentos sendo captados individualmente e o vazamento de sons entre eles não é desejado.

São preferidos quando é necessário o uso de caixas acústicas de monitor (retorno), por serem mais imunes aos efeitos de realimentação (feedback).

Outra variação encontrada são os formatos supercardioide e hipercardioide. Microfones cardioides abrangem, aproximadamente, 130 ° de cobertura, supercardioides 115 ° e hipercardioides 105 ° .

As maiores rejeições acontecem nos seguintes ângulos: cardioide a 180 °, supercardioide a 125 ° e hipercardioide a 110 ° .

A sensibilidade de captação entre sons diretos e ambiência se apresentam da seguinte forma: cardioide 33 %, supercardioide 27 % e hipercardioide 25 %. Assim quanto menor a intensão de se

captar o som ambiente mais direcional deverá ser o microfone.

Microfones com diagrama polar hiper ou supercardioide são mais sensíveis a sons gerados em suas partes posteriores. O super cardioide rejeita –12 dB e o hipercardioide rejeita –6 dB.

Se a intensão for captar menos sons ambientes mas que são gerados na parte posterior do microfone o cardioide pode ser a melhor opção.

Dentro da família de microfones direcionais estão os Shot-Gun que são extremamente direcionais (transdutores de interferência). Possuem um tubo com cortes longitudinais fixado à frente da cápsula. Estes cortes formam um labirinto até chegar à cápsula. Cada corte possui um comprimento diferente. Os sons que incidem no eixo da cápsula são amplificados, independente da frequência. Os sons gerados em suas laterais sofrerão cancelamentos já que incidirão nas ranhuras laterais indo ao labirinto para depois chegarem à cápsula em tempos diferentes.

Como cada ranhura possui um comprimento diferente para chegar até a cápsula, são gerados cancelamentos construtivos que aumentam a diretividade do microfone. A eficiência desta diretividade é dependente da frequência e do tamanho do tubo. Quanto mais baixa a frequência maior o comprimento de onda e maior deverá ser o tubo para ser capaz de cancelar estas frequências.

Alguns microfones omnidirecionais podem utilizar uma parábola, geralmente de acrílico, para torná-lo diretivo. A parábola tem por finalidade concentrar as ondas de som geradas pela parte posterior do microfone. Estes microfones são utilizados para captar sons em estádios de futebol, gravações externas de cinema, novelas, empresas de segurança etc.

C. Bidirecional

Este formato permite total captação nos extremos 0 ° e 180 ° rejeitando sons provenientes das laterais a 90 ° e 270 °. É também conhecido como figura 8.

Como as cápsulas estão opostas fisicamente e com polaridades invertidas, todos os sinais provenientes das laterais incidirão sobre as duas cápsulas com igual amplitude e serão cancelados. Sinais gerados em frente a uma das cápsulas incidirão em muito menor amplitude na outra cápsula, diminuindo os cancelamentos.

Figura 20. Captação Bidirecional (figura 8)

Em termos percentuais possui a mesma quantidade de captação de som ambiente que o cardioide, 33%.

Pode ser utilizado para captar duas fontes sonoras como no caso de dois cantores durante gravação ou de um programa de entrevistas.

D. Microfone Binaural Estéreo

Possui diretividade diferente dos microfones convencionais por se aproximar das características de percepção do ouvido humano. Dois microfones omnidirecionais são instalados dentro dos "ouvidos" de um manequim (Figura21).

Figura 21. Microfone Binaural

Por razões físicas microfones de pressão possuem tanto equalização de campo difuso quanto de campo livre. A equalização de campo difuso faz com que o microfone tenha resposta plana para sons gerados a sua volta e apresente reforço nas frequências existentes nos sons gerados a sua frente. A equalização de campo livre apresenta resposta plana para os sons gerados à frente do microfone e

apresenta perda nas altas frequências geradas ao seu redor.

XVIII. POLARIDADE

Segundo convenção da AES (Sociedade de Engenharia de Audio), ficou determinado que no conector XLR o pino 2 conduz o sinal "hot", o pino 3 conduz o sinal "cold" e o pino 1 é o terra. Nesta configuração o pino 2 e o 3 conduzem o mesmo sinal, porém com inversão de polaridade.

Mas ainda hoje encontramos, por padrão do fabricante ou erro de montagem, microfones onde o sinal "hot" se encontra no pino 3. Deve-se efetuar medição de polaridade e se necessário sua correção para que todos os microfones estejam, eletricamente, com a mesma polaridade.

XIX. FATOR DE DISTANCIA

Microfones unidirecionais possuem maior rejeição a sons provenientes fora do eixo. Podem ser posicionados a maiores distâncias da fonte sonora. Para se ter a mesma captação de som ambiente com microfones omnidirecionais e unidirecionais têm-se uma relação de o dobro da distância.

XX. COLORAÇÃO FORA DO EIXO

Os microfones não possuem resposta em frequências uniforme em todos os ângulos. Fora do eixo as altas frequências são mais afetadas, resultando em um som pouco natural.

XXI. EFEITO PROXIMIDADE

Os microfones unidirecionais apresentam o efeito proximidade que é o aumento na resposta de baixas frequências em função da proximidade da fonte sonora. Alguns cantores utilizam esta característica como técnica no uso do microfone para acentuar as baixas frequências quando lhes convém. Mas se não é o objetivo, este efeito pode ser minimizado filtrando-o no canal da console de mixagens, no microfone ou então utilizando um microfone omnidirecional, que não apresenta este efeito.

Figura 22. Efeito proximidade

XXII. DISTANCIA CRÍTICA

Distância crítica é o local onde o sinal direto e o sinal refletido no ambiente possuem a mesma amplitude.

A troca do microfone por um unidirecional ou a aproximação do microfone à fonte são as alternativas para que se tenha mais sinal de fonte que ambiente no balanço da captação.

XXIII. FASE/COMPRIENTO DE ONDA

Quando há mais de um microfone captando o sinal de uma mesma fonte sonora pode haver problemas de fase. O tempo de chegada do sinal em cada microfone será diferente e o efeito da soma destes sinais é denominado comb filtering (filtro pente).

Deve-se optar por microfones unidirecionais ou criar barreiras entre os microfones e fontes.

Se uma fonte sonora gera a frequência de 1000 Hz (Figura 17) e dois microfones captam este sinal estando distantes entre si em 17 cm aproximadamente, qual será o resultado da soma destes sinais ?

Primeiro é necessário saber qual o comprimento de onda de 1000 Hz (5).

Onde:

λ - Comprimento de Onda

V_s – Velocidade do Som

F – Freqüência

Haverá soma dos sinais se os microfones estiverem colocados à mesma distância. No caso haverá cancelamento porque os microfones estão a 17 cm um do outro e esta distância corresponde a 1/2 comprimento de onda, ou seja, 180 ° de desvio de fase. Ao somarmos os sinais dos microfones o sinal resultante tenderá a zero Volts.

Observe que o primeiro microfone está captando um sinal no semiciclo positivo e o segundo microfone está no semiciclo negativo.

Figura 23. Comprimento de onda

Porém com programa de áudio haverão mais problemas por que não há apenas uma única freqüência e sim todo um espectro e ocorrerão os comb filtering.

Quando há cancelamentos em 180 ° torna-se fácil solucionar, basta inverter a polaridade (ϕ) de um dos microfones. Pode-se inverter em um dos lados do cabo para microfone os condutores do pino 2 pelo do pino 3. Em alguns modelos de mesas de mixagem há o recurso de inversão por meio de chave. Pode-se também utilizar um adaptador inversor de polaridade.

XXIV. REALIMENTAÇÃO (FEEDBACK)

A realimentação ou microfonia como é conhecida, ocorre quando um sinal é capturado pelo microfone, amplificado e novamente capturado pelo microfone (Figura 24). Assim inicia-se um ciclo de captção e amplificação do mesmo sinal, um looping. A amplitude deste sinal têm crescimento gradativo e tende, dependendo da situação, a ir para infinito. É extremamente prejudicial a alto-falantes e circuitos eletrônicos.

Figura 24. Realimentação (Microfonia)

A. Número de microfones abertos antes da realimentação

Sempre que o número de microfones abertos em um sistema é dobrado, deve-se reduzir em 3 dB o nível geral do sistema para que seja evitada a microfonia (6). Como os microfones apresentam amostras do som ambiente teremos o dobro de captção.

Onde:

GR- Redução no ganho

NOM - Número de microfones abertos

B. GANHO ACÚSTICO NECESSÁRIO (GAN)

Pode-se calcular a perda de pressão com a distância (Inverse Square Law) e determinar o ganho necessário para que dois ouvintes, em posições distintas, possam perceber o som do orador (7).

Figura 25. Ganho Acústico Necessário

Onde:

GAN &endash; Ganho Acústico Necessário

EAD - Distância entre orador e primeiro ouvinte

Do - Distância entre orador e segundo ouvinte

C. Ganho Acústico Potencial (PAG)

Identifica o máximo de ganho possível antes da realimentação quando utilizado sistema de amplificação. Envolve o número de microfones abertos e a distância dos microfones em relação às caixas acústicas.

Onde:

D1 &endash; Distância entre a caixa acústica e o microfone

D2 &endash; Distância entre a caixa acústica e o último ouvinte

Do &endash; Distância entre o orador e o último ouvinte

Ds &endash; Distância entre o orador e o microfone

NOM &endash; Número de microfones abertos

-6 &endash; Margem de 6 dB para evitar microfonia

D. Regra 3 para 1

Quando for necessário utilizar vários microfones em um mesmo ambiente, por exemplo na captação de um coral (captação por área), esta regra pode ser útil para minimizar efeitos de interferências e cancelamentos (Figura 26).

A distância entre os microfones deverá ser três vezes a distância de um dos microfones em relação à fonte sonora. Isto faz com que um microfone capte a fonte do outro porém com -9 dB de intensidade. Há redução considerável no efeito pente do sinal.

Se for uma superfície reflectora o microfone deverá estar no mínimo a uma vez e meia a distância que se encontra da fonte do sinal. Assim a regra será a mesma já que o sinal percorrerá 3 vezes a distância entre microfone e fonte de sinal.

Figura 26. Regra 3 para 1

Exemplo:

SPL DM1 = 100 dB SPL

DM1 = 1 m

DM2 = 3 m

Onde:

DM1 = distância entre fonte e microfone 1

DM2 = distância entre os microfones

XXV. APLICAÇÕES PRÁTICAS

A. O ponto de partida para escolha de um microfone é identificar suas necessidades, buscar em manuais as especificações técnicas que as atendam e finalmente experimentar um a um. Isto se deve ao fato de que apesar de termos diversos microfones com a mesma especificação técnica o timbre será sempre diferente. É uma característica única, ou seja, é a assinatura do fabricante.

B. Microfones são dispositivos de captação de sinais acústicos e por sua vez estão sujeitos aos seus efeitos. Quando uma única fonte sonora é captada com mais de um microfone o resultado da somatória dos sinais está sujeito aos efeitos de cancelamentos gerados pelas variações nas fases.

C. Vejamos a captação do som de uma caixa de bateria. Há o som da pele de attack e da pele de resposta. É comum a captação com dois microfones onde um capta o som da pele superior e outro o som da pele inferior onde se encontra a esteira.

Nesta situação deve-se inverter a polaridade de um dos microfones, preferencialmente o da esteira para que haja melhor resultado elétrico na soma dos sinais. No momento da batida na caixa, avaliando o primeiro instante da onda, teremos compressão no microfone da esteira e rarefação no microfone da pele superior.

D. No posicionamento de monitores (caixas de retorno de palco), deve-se conhecer e analisar os diagramas polares destas caixas e dos microfones utilizados no sistema. Os microfones com diagrama polar cardioide possuem maior imunidade à captação de sinais a 180° do eixo, ou seja, sua parte posterior. Assim, o ideal é trabalhar com apenas uma fonte sonora atrás deste microfone e não duas fontes laterais. O nível máximo de pressão sonora antes da realimentação será maximizado.

E. Ao utilizar microfones supercardioides, dispor dois monitores nas laterais é preferível. Como o microfone possui maior rejeição nesta região, consegue-se maiores níveis de pressão sonora antes da realimentação.

F. Para sonorizações ou gravações ao vivo onde muitos microfones estarão abertos ao mesmo tempo, como acontece com orquestras sinfônicas deve-se cuidar da disposição das caixas acústicas no ambiente para que se possa aumentar o nível médio de SPL antes da realimentação que neste caso é muito crítica.

G. Microfones utilizados em medição (instrumentação) devem ter resposta em frequências plana e estendida. São microfones condensadores com diagrama polar omnidirecional. É comum também serem utilizados no piso durante medições para que não haja interferência das reflexões do piso em suas medidas.

H. Amplificadores para instrumentos musicais geram altos níveis de pressão sonora em curtas distâncias. Na captação dos sinais nestes amplificadores escolha microfones capazes de suportar estes níveis de pressão. Dependendo da distância do microfone em relação ao alto-falante, haverá interferência do ambiente na captação. Se for uma caixa acústica com diversos alto-falantes o timbre será diferente se captado pelo alto-falante superior ou inferior em função das reflexões no piso. Neste caso até mesmo o material do piso poderá alterar a sonoridade do sinal captado.

I. Em sonorização ao vivo procure utilizar o microfone o mais próximo possível da fonte para aumentar a relação entre sinal direto e sinal refletido.

J. Utilize garras anti-shock, principalmente em locais onde houver piso de madeira, evitando-se

captação de ruídos por transmissão.

K. Utilize filtros como espumas (wind screen) para reduzir sinais indesejados como sopros e ventos.

L. Em estúdios de gravação o formato de captação omnidirecional é também utilizado para misturar sinais diretos e sons característicos da sala. Este controle é feito variando-se a distância entre a fonte, o microfone e as paredes da sala.

M. No caso de púlpito ou mesa de leitura, posicione o microfone ligeiramente `a esquerda ou `a direita. Evitando captação frontal. Neste caso utiliza-se microfones com haste flexível. Outra opção é fixá-lo na base da madeira para evitar reflexões que geram filtros. Os microfones de superfície são utilizados para altar, logo abaixo da base para leitura.

XXVI. TÉCNICAS DE CAPTAÇÃO ESTÉREO

Utiliza-se dois ou mais microfones para criar a imagem estéreo dando mais profundidade e espacialidade aos sinais captados. Os três métodos mais utilizados são A/B , X-Y e M-S.

A. A/B

Chamada de par espaçado, utiliza dois microfones cardioides ou omnidirecionais espaçados em torno de 1 a 3 metros (Figura 27). Esta distância varia de acordo com o tamanho da fonte sonora. Um deles é endereçado ao canal esquerdo e o outro ao direito.

A desvantagem desta técnica é a probabilidade de cancelamentos de fase dos sinais nos microfones. Isto se deve `a distância relativa entre eles e o tempo de chegada do sinal em cada um. Para conferir estes cancelamentos e/ou somatórias, compara-se o sinal estéreo com o mono.

Figura 27. Captação par espaçado

B. X-Y

Esta técnica utiliza dois microfones cardioides de mesma marca e modelo, montados o mais próximo possível um do outro e angulados entre 95 e 130 graus. Este ângulo irá variar em função do tamanho da fonte sonora. Também nesta configuração cada um dos microfones será endereçado para um lado (esquerdo/direito).

Como as cápsulas estão muito próximas, os sinais de áudio chegam praticamente ao mesmo tempo `as duas, minimizando os problemas de fase. Se a fonte de sinal for muito larga a separação do estéreo pode ser afetada.

Figura 28. Captação X-Y

C. M-S (Mid-Side)

Esta técnica utiliza um microfone cardioide e um microfone bidirecional, geralmente montados em um mesmo suporte em um arranjo coincidente. O microfone cardioide (Mid) fica direcionado para o eixo da fonte sonora e o bidirecional é montado direcionado para as laterais esquerdo, e direito, desta fonte. Existem microfones estéreos já com esta configuração interna (Figura 29).

Os dois sinais são misturados para que se obter a imagem estéreo. Variando-se os níveis entre os dois microfones altera-se a imagem, tornando-a estreita ou larga sem que se movam os microfones. Esta técnica é completamente compatível com o sinal somado (mono) e é muito aplicada em broadcasting e filmagens.

Figura 29. Captação Mid-Side

CONCLUSÕES

Aliando fundamentos à prática comprova-se a importância na escolha do microfone adequado. São considerados: escolha correta do diagrama polar, sua posição em relação à fonte e demais fontes existentes no mesmo ambiente, escolha do timbre do microfone, cuidados com temperatura e umidade. Foram apresentados diversos exemplos de utilização em sonorização e estúdio de gravação, reunindo informações de diversos fabricantes de todo o mundo. Não há microfone para todas as aplicações, sempre haverá relação de compromisso durante a escolha. Acredito na pesquisa e idealização de projetos de microfones que captem sons se aproximando do formato de percepção do ouvido humano. Na captação de sons como na instrumentação, novas técnicas e novos conceitos ainda estão por descobrir.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao DELT/UFMG - Departamento de Engenharia Eletrônica - pelo convite e oportunidade em participar com este artigo durante o Primeiro SemEA. À minha esposa Marta Rocha, pelo incentivo e dedicação. Ao fabricante Shure Brothers através de seu distribuidor Pride Music por disponibilizar os microfones utilizados na apresentação e ao Eng. Henrique Elizei pela revisão do texto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] D. Halliday, R. Resnick e K. S. Krane - Física 3 (4.º edição)
- [2] D. halliday, R. Resnick e J. Merrill - Gravitação, ondas e termodinâmica (3.º edição) - Fundamentos de Física
- [3] D. Davis & C. Davis - Sound System Engineering (second edition)
- [4] Shure B. Inc. - Techniques for music studio recording - Microphone
- [5] Shure B. Inc. - Techniques for sound reinforcement - Microphone
- [6] AKG Acoustics GmbH & featuring the project studio line - Recording Microphones
- [7] G. Davis & R. Jones & Sound Reinforcement Handbook & Second Edition & Yamaha
- [8] S. do Valle - Microfones Tecnologia e Aplicação & (1º edição) & Rio de Janeiro & Editora M&T (1997)
- [9] G. Neumann & Microphone Catalog 2001 / CD Rom