# ALTO-FALANTES

# QUALA MELHOR LIGAÇÃO

**Homero Sette Silva** 

■ Veja neste artigo como os alto-falantes podem ser associados, sob os pontos de vista elétrico e acústico, de modo a melhor atender às suas necessidades.

Para atender às exigências da maioria das situações práticas, que requerem a utilização de múltiplos falantes, somos obrigados a associá-los adequadamente.

Basicamente, as possibilidades de associação podem ser resumidas nas configurações Série, Paralela e na combinação de ambas, denominada Série-Paralela. Como o alto-falante é um transdutor eletroacústico, o que dissemos acima é válido não somente sob o ponto de vista elétrico como também do acústico. O tipo da associação poderá influir nas características de impedância, sensibilidade, eficiência e potência, do falante resultante.

As figs. 1 e 2 mostram como os alto-falantes podem ser associados sob os pontos de vista elétrico e acústico, respectivamente, estando as características resultantes resumidas no quadro 1, admitindo-se que os falantes sejam idênticos.

## ■ Ligação Série, Elétrica

Dois ou mais alto-falantes estão eletricamente associados em série quando a corrente circulando pela bobina de um deles é a mesma que circula pelas bobinas dos demais. Como conseqüência disso, se um deles tiver a bobina interrompida (ou se a ligação ao borne for desfeita), todos os altofalantes da série deixarão de funcionar, o que é a grande desvantagem desse tipo de associação.

Sob o ponto de vista da impedância, a resultante será igual à soma das impedâncias individuais. No caso de n falantes iguais (n = 2, 3, 4 ...) a impedância equivalente será obtida mul-

Quadro 1 - Associações de Alto-Falantes

ELÉTRICA	ACÚSTICA
PARALELO	PARALELO
Impedância = Z/n ; Potência = n•PE	Eficiência = n•No ; Fs, Qts, 2•Vas
SÉRIE	ISOBÁRICA PUSH-PULL
Impedância = n•Z; Potência = n•PE	Eficiência = No/2; Fs, Qts, Vas/2
SÉRIE-PARALELO	ISOBÁRICA PULL-PULL
Impedância = Z (n=4); Potência = 4•PE	Eficiência = No/2; Fs, Qts, Vas/2
Potência Acústica = Potê	ncia Elétrica x Eficiência

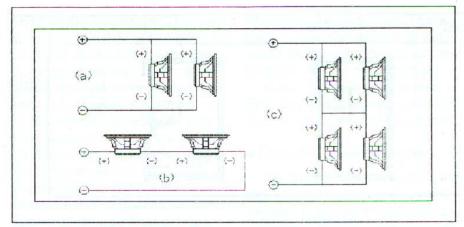


Fig. 1 - Associação elétrica de alto-falantes: a) paralela; b) série e c) série-paralela

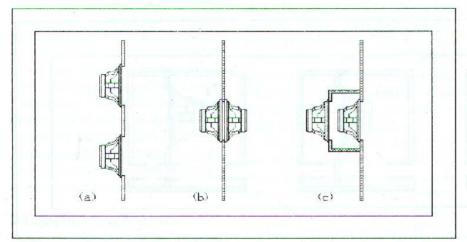


Fig.2 - Associação acústica de alto-falantes: a) paralela; b) série, push-pull e c) série, pull-pull.

tiplicando-se por n a impedância de um deles.

Desse modo, dois alto-falantes de 4 ohms, em série, darão lugar a uma impedância de 8 ohms (2 x 4 = 8).

A potência total também ficará multiplicada por n, no caso de falantes iguais.

Assim, supondo que cada falante do exemplo anterior admitisse 100 Watts, os dois em série suportariam um total de 200 Watts.

Como em toda associação de altofalantes, é importante garantir que estejam ligados com a mesma polaridade, para que não haja inversão de fase no conjunto. No caso da associação série, basta que o borne negativo (preto) do primeiro seja ligado ao borne positivo (vermelho) do seguinte, e assim sucessivamente.

Segundo a norma brasileira, quando o terminal (+) do falante for ligado ao borne positivo de uma fonte de tensão contínua (pilha de 1,5 V, por exemplo), e o terminal (-) ao polo negativo, o cone deverá afastar-se do conjunto magnético, indo na direção do observador que estiver olhando para a calota (domo) do falante.

### Ligação Paralela, Elétrica

Quando, no mesmo canal de um amplificador, temos duas saídas para alto-falantes, estas estão geralmente em paralelo, ou seja, o terminal (+) do falante A estará ligado ao terminal (+) do falante B, assim como o terminal negativo de um estará ligado ao terminal negativo do outro.

Este tipo de associação faz com que a tensão na saída do amplificador seja a mesma em todos os falantes que estiverem em paralelo, de modo que se um deles for desconectado, todos os demais continuarão a funcionar normalmente.

No caso de dois falantes iguais, a impedância resultante será a metade da impedância de um deles, e a potência total será o dobro da admitida por cada um.

# SOM, SOM, TESTANDO ...

Para verificar se você entendeu o que foi abordado até aqui, responda às seguintes questões:

Um falante de 8 ohms, 100 Watts, ligado na saída de um amplificador com impedância nominal igual a 4 ohms, está recebendo 70 Watts do amplificador.

- a) Qual a potência em cada um dos falantes quando outro, idêntico, for associado em série, supondo que o nível de tensão na saída manteve-se o mesmo?
- b) Idem, para um falante em paralelo com o primeiro.

### · Respostas:

a) Como a potência é dada por E<sup>2</sup>/R, e sendo a resistência equivalente dos dois falantes em série duas vezes maior que a de um deles, temos que a potência total, fornecida pelo amplificador, caiu para a metade (E<sup>2</sup>/2R = 70/2 = 35 W). Logo, cada falante receberá a metade da potência total, ou seja, 17,5 Watts, que é igual à quarta parte da potência que estaria recebendo um só falante, ligado diretamente no amplificador (70/4 = 17,5 W).

Se estiverem sobrando agudos no seu sistema e/ou os tweeters queimarem com frequência, experimente ligá-los em série, pois as potências elétrica e acústica serão reduzidas de 6 dB. No caso de crossover passivo, o aumento na impedância de carga tenderá a diminuir a frequência de corte, o que deve ser levado em conta.

b) Na associação paralela de dois falantes, a impedância de carga será igual à metade daquela correspondente a um único, ou seja, 4 ohms, no caso. Desse modo, a potência total fornecida pelo amplificador será o dobro (E<sup>2</sup>/0,5R = 140 W), e cada falante receberá a metade, ou seja, os mesmos 70 Watts originais.

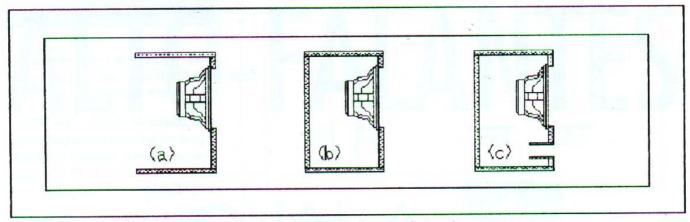


Fig.3 - Caixas acústicas de radiação direta: a) aberta; b) fechada e c) refletora de graves.

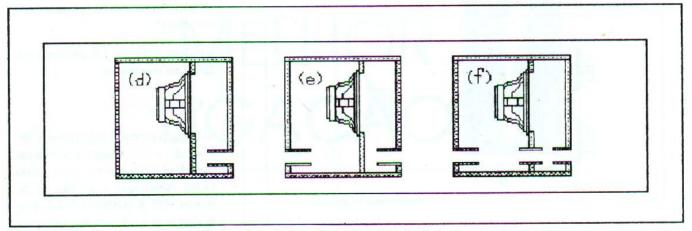


Fig.4 - Caixas Bandpass: d) sintonia simples; e) sintonia dupla e f) tripla sintonia.

Generalizando, para *n* falantes iguais, a impedância resultante será igual à de um deles, dividida por *n*, e a potência total será *n* vezes maior.

Assim, 4 falantes de 8 ohms em paralelo corresponderão a uma impedância de 2 ohms (8/4 = 2), de modo que será obrigatória a utilização de um amplificador capaz de alimentar cargas de 2 ohms.

A ligação em paralelo de um maior número de falantes que o permitido pela impedância nominal do amplificador provocará severa distorção e dano eventual ao amplificador.

# Ligação Série-Paralela, Elétrica

Inúmeras são as possibilidades de associarmos diversos falantes em série-paralela. No entanto, vamos apenas abordar o caso mais típico, mostrado na figura 1(c), que consiste na ligação série, de dois alto-falantes, associada em paralelo com a resultante

de outro par de falantes, também em série.

Nesta situação, a impedância equivalente do conjunto de quatro falantes (idênticos) é igual à impedância de um deles, suportando uma potência quatro vezes maior que a admitida por um só.

O significado prático disso é que, para o amplificador, não faria diferença se ligássemos aos seus terminais um único falante, ou os quatro, em série-paralelo, pois enxergaria a mesma impedância equivalente (8 ohms, para falantes com este valor de impedância) e estaria fornecendo a mesma potência, em ambos os casos. A diferença seria que, no caso de 100W fornecidos pelo amplificador, este valor estaria sendo dividido por quatro, na associação série-paralela, de modo que cada um dos falantes receberia apenas a quarta parte da potência total, ou seja, 25 W.

Além disso, a eficiência do conjunto seria quatro vezes maior que a obtida com apenas um alto-falante, supondo-se presente o acoplamento nas baixas frequências. Essas duas características combinadas permitiriam que um nível elevado de potência acústica (até 16 vezes maior) pudesse ser alcançado.

A ligação do ramo central, mostrada na figura 1(c), não é obrigatória, sendo usada para evitar que parem dois falantes, no caso de só um deles ter sua bobina aberta; a desvantagem é que o falante que ficar operando, sem outro em paralelo, passará a receber quase o dobro da potência que receberia normalmente.

# Ligação Paralela, Acústica

Através do quadro 1, podemos constatar que a utilização de múltiplos falantes, acusticamente acoplados em paralelo, instalados em uma mesma caixa, ou em caixas diferentes (desde que a distância entre elas seja menor que os comprimentos de onda dos sinais a serem reproduzidos), multiplica a eficiência de um falante pelo número

deles: dois falantes (n=2) acusticamente em paralelo terão o dobro da eficiência de um só, e suportarão o dobro da potência elétrica de cada um deles, o que resultará em uma potência acústica total quatro vezes maior.

Em situação semelhante, com 4 alto-falantes, o rendimento e a potência elétrica máxima serão, respectivamente, quadruplicados, produzindo 16 vezes a potência acústica obtida com um só, o que corresponde a um acréscimo de 12dB na potência acústica.

A justificativa para o aumento do rendimento em falantes acusticamente em paralelo é simples: a eficiência de um alto-falante é diretamente proporcional ao seu volume equivalente (Vas), que depende diretamente da compliância mecânica (Cms). Como a compliância é análoga a uma capacitância, que se soma às demais associadas em paralelo, ficando n vezes maior para n falantes idênticos, isto faz com que o Vas fique multiplicado por n, e assim também o rendimento.

# ■ Ligação Série, Acústica

Dois falantes podem ser associados acusticamente em série, através da montagem compound ou isobárica, assim denominada em virtude de ficarem os cones submetidos à mesma pressão acústica existente na câmara de acoplamento (que deverá ter o menor volume possível).

A montagem isobárica admite duas possibilidades, conforme mostra a fig. 2: push-pull, quando os falantes estão face a face, sendo as bobinas ligadas fora de fase (caso contrário o deslocamento resultante seria nulo) e pull-pull, quando o cone de um está voltado para a parte posterior do outro (o que deve ser evitado no caso de falantes com furos de ventilação).

Em ambos os casos, o rendimento do conjunto cairá para a metade, em virtude das compliâncias ficarem em série, no modelo equivalente, o que leva a uma capacitância com a metade do valor, para dois falantes idênticos.

A vantagem dessa associação reside no fato de que o volume equivalente resultante será a metade do Vas de um deles, permitindo assim a obtenção da mesma resposta em uma caixa com metade do volume. Caso os falantes estejam em push-pull haverá ainda a vantagem adicional da diminuição da distorção, devido ao cancelamento de parte dos harmônicos.

Como dois falantes suportarão o dobro da potência elétrica, a potência acústica poderá ser mantida a mesma.

## ■ Tipos de Caixas Acústicas

Os alto-falantes, independentemente da maneira como estiverem associados, podem ser montados em diversos tipos de caixas acústicas, o que vai influir acentuadamente na resposta de baixas frequências do falante e na potência elétrica limitada pelo deslocamento. Em outras palavras, um falante em uma caixa fechada poderá suportar uma potência elétrica muitas vezes maior que aquela admissível em um baffle infinito, sem ultrapassar o valor de XMAX especificado.

O significado prático disso é que um falante capaz de suportar 200 Watts RMS poderá danificar-se com apenas 5 Watts, por exemplo, dependendo da frequência do sinal aplicado e do tipo de caixa em que estiver mon-

A figura 3 mostra alguns dos tipos mais comuns de caixas acústicas de irradiação direta, enquanto na fig. 4 temos as de irradiação indireta, no caso do tipo Bandpass.

A caixa aberta, geralmente usada com instrumentos musicais, ou em automóveis, sofre das limitações impostas pelo deslocamento do cone, que tende a ser elevado, principalmente com falantes de Qts alto (maior que 0,7), que são justamente os preferidos para essa aplicação, devido à tendência de melhorar a resposta de graves.

A caixa fechada, mais fácil de projetar e alinhar, possui uma resposta transitória melhor que a do tipo Refletor de Graves (Bass Reflex), mas costuma fornecer menos graves (frequência de corte F3 mais elevada).

A Caixa Refletora de graves é considerada a melhor solução de compromisso, considerando volume físico, resposta de frequência e eficiência. O duto deve ser cuidadosamente sintonizado na frequência (Fb) desejada e não deve ficar próximo da parede do fundo, utilizando-se pouco ou nenhum material

absorvente (lã de vidro) como revestimento interno. A utilização de um radiador passivo (conjunto móvel sem bobina) impede que ruídos de média frequência (gerados no duto ou no interior da caixa) sejam acoplados ao meio exterior.

A Caixa Bandpass permite que um rendimento superior ao de referência do falante (no) seja obtido sem as limitações impostas pelas dimensões, gefalmente elevadas, das cornetas de baixa frequência. A utilização de dutos em mais de uma câmara permite maior flexibilidade na obtenção da resposta desejada, implicando em maior dificuldade de projeto e sintonia.

Qualquer uma das associações, mostradas no quadro 1, pode ser utilizada nas caixas das figs. 3 e 4.



O autor agradece a José Luiz Vendrametto, da Attack do Brasil, pelas críticas e sugestões ao texto, e a Eduardo Weber, da Selenium, que desenhou as figuras do texto, utilizando o Design Cad versão 2.6.

# INFORMAÇÃO SEM FRONTEIRAS

Há seis anos H.Sheldon firmou compromisso com profissionais do áudio e da música. Neste tempo sempre procurou suprir necessidades de informação que a área tanto precisava. Com isso todos podiam se tornar cada vez mais qualificados e atualizados. O respeito à opinião de cada um também sempre foi uma meta, por isso não deixe de opinar, criticar e sugerir.

# H.SHELDON respeito na informação