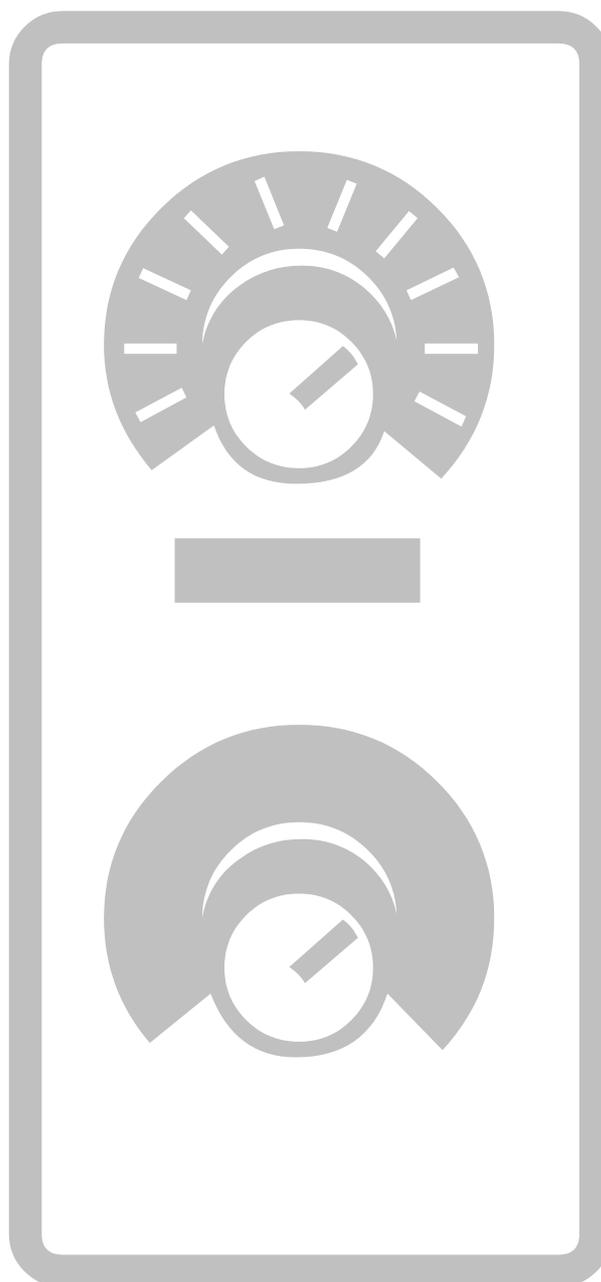


SISTEMAS DE SOM



**Uma publicação da Acutron para todos os utilizadores de sistemas
electroacústicos**

Índice

1	A quem se destina este manual	3
2	Dimensionar um sistema de som	3
3	Componentes de um sistema de som	5
3.1	<i>Microfone.....</i>	5
3.1.1	<i>Microfone Dinâmico.....</i>	5
3.1.2	<i>Microfone de Condensador</i>	5
3.2	<i>Amplificador.....</i>	6
3.3	<i>Altifalantes.....</i>	7
3.4	<i>Atenuadores</i>	8
3.5	<i>Selectores de zona.....</i>	8
3.6	<i>Sensores de ruído</i>	8
3.7	<i>Controladores automáticos de substituição de amplificadores.....</i>	8
3.8	<i>Equalizadores.....</i>	8
4	Tipos de ligação aos altifalantes	9
4.1	<i>Sistemas de baixa Impedância.....</i>	9
4.1.1	<i>Ligação dos altifalantes em Paralelo.....</i>	9
4.1.2	<i>Ligação dos altifalantes em série</i>	10
4.1.3	<i>Ligação Mista.....</i>	10
4.2	<i>Sistemas de Tensão Constante.....</i>	11
5	Considerações Electroacústicas	12
5.1	<i>O Som</i>	12
5.2	<i>Pressão Sonora.....</i>	13
5.3	<i>Características acústicas do espaço</i>	17
5.3.1	<i>Reverberação</i>	17
5.3.2	<i>Realimentação acústica (Feedback).....</i>	18
6	Cálculo e instalação dos transdutores.....	18
6.1	<i>Colunas de som.....</i>	18
6.2	<i>Altifalantes encastráveis.....</i>	18
6.3	<i>Determinar o ruído ambiente.....</i>	19
6.4	<i>Determinar pressão sonora a produzir pelo sistema</i>	19
6.5	<i>Determinar a uniformidade da pressão sonora admissível.....</i>	19
6.6	<i>Calcular a distância entre altifalantes</i>	19
6.7	<i>Definir a potência dos altifalantes.....</i>	21
6.8	<i>Cabos a utilizar na montagem.....</i>	22
7	Procedimentos de verificação em sistemas de linha de 100V	22
7.1	<i>Verificação dos cabos</i>	22
7.2	<i>Verificação das ligações.....</i>	23
7.3	<i>Verificação dos altifalantes e projectores</i>	23
7.4	<i>Verificação da linha</i>	23
7.4.1	<i>Verificar o isolamento em relação á massa</i>	23
7.4.2	<i>Verificar a impedância da linha</i>	23

1 A quem se destina este manual

Este manual é de utilização multifacetada. Destina-se ao projectista de sistemas de reforço electroacústico, ao utilizador dos mesmos e ao técnico de instalação. Pretende dar uma visão tão sucinta e prática quanto possível, não abdicando de apresentar as fórmulas e conceitos teóricos onde necessário, permitindo assim ao utilizador a expansão da sua abrangência a aplicações mais avançadas.

Trata-se de um trabalho em constante actualização, isto porque um trabalho deste teor nunca pode ser considerado perfeito ou completo. Contamos consigo, o leitor para sugerir a incorporação de secções pertinentes e a correcção das existentes. Tais sugestões deverão ser enviadas a suporte@acutron.pt

2 Dimensionar um sistema de som

Para dimensionar um sistema de som, é necessário proceder a algumas considerações:

1. Estabelecer as funções necessárias do sistema, tendo em conta o tipo de aplicação e às especificações do cliente.
2. Analisar as características do espaço a sonorizar
3. Escolher os altifalantes, com base no ambiente e dimensão do espaço, no tipo de mensagem a transmitir (voz, música ou ambos) e o nível de ruído do espaço.
4. Escolher o(s) amplificador(es), que preencha(m) os requisitos definidos nos pontos anteriores e definidos nos pontos 5 e 6.
5. Definir as fontes sonoras (microfones, sintonizadores, leitores de CD, etc.)
6. Definir o tipo de sistema de distribuição (baixa impedância, 100V) e a secção dos cabos de ligação a utilizar.

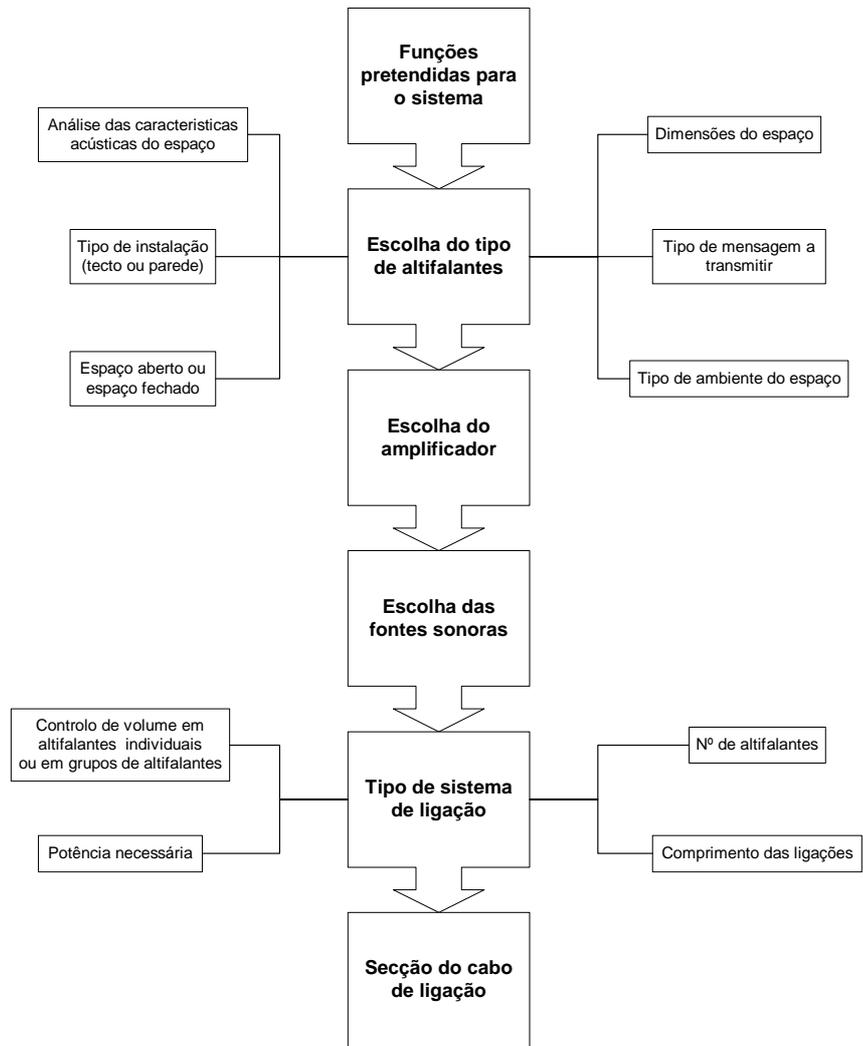


Fig.1- Análise de um sistema de som

É importante salientar que a qualidade dos sistemas de som está dependente da qualidade dos seus componentes. A qualidade dum sistema corresponderá assim à do seu elo mais fraco. A **Acutron Electroacústica** fornece apenas componentes de qualidade, devidamente seleccionados para que no final todo o sistema seja um sistema de qualidade.

Outra limitação à qualidade do sistema de som será o próprio espaço a sonorizar porque em casos extremos, mesmo um sistema de qualidade não é capaz de satisfazer em ambientes que provocam uma elevada degradação do sinal. Nestes casos será necessário proceder a modificações estruturais do espaço.

3 Componentes de um sistema de som

Um sistema de som é constituído por vários componentes. Cada componente é responsável por uma função específica no sistema, mas existem 3 componentes fundamentais em grande parte dos sistemas de som. Eles são os microfones, o amplificador e os altifalantes.

3.1 Microfone

O microfone transforma as variações de pressão sonora em oscilações eléctricas (tensão ou corrente) e é usado para a captação de uma ou múltiplas fontes sonoras, como a voz, instrumentos musicais, etc.

Existem dois tipos principais, os microfones dinâmicos e os de condensador, para além de outros, como os eletromagnéticos ou os de fita, menos utilizados.

3.1.1 Microfone Dinâmico

Qualquer tipo de microfone possui um diafragma que oscila com a variação de pressão sonora. No casos dos microfones dinâmicos, o diafragma é responsável pelo movimento solidário de uma bobine, que está a ser percorrida por um fluxo magnético constante. Variações da posição da bobine que é percorrida pelo fluxo magnético provocam um aparecimento de uma corrente aos terminais da bobine. A variação de corrente pode ser transformada em variação de tensão se for utilizada uma resistência aos terminais da bobine. Essa variação de tensão será proporcional à variação de pressão sonora.

Este é o tipo de microfone presentemente utilizado no terminal MIC2 da Acutron, o qual é alimentado e comandado através de um simples cabo de microfone de 1 par.

3.1.2 Microfone de Condensador

Este tipo de microfones funciona com o princípio de variação de capacidade proporcional à variação de pressão sonora. Para isso o microfone possui duas placas condutoras separadas por um isolante. Uma das placas será o diafragma, que ao oscilar faz com que a distância entre placas varie, variando assim efectivamente a capacidade entre placas. Ao submetemos as placas a uma tensão contínua constante, a variação de capacidade provoca uma variação na corrente, que será proporcional à variação da pressão sonora.

Devido às variações de corrente serem de intensidade bastante baixa e à inerente elevadíssima impedância dos mesmos é necessário que estes microfones possuam um pré-amplificador, que será alimentado ou por baterias ou pelo amplificador/misturadora através do uso de uma fonte dita "phantom"(fantasma). Isto pode representar uma desvantagem em determinadas aplicações onde esta não se encontre disponível.

Este tipo de microfones possuem excelentes características, mas têm um custo bastante superior aos modelos dinâmicos e são menos robustos, o que geralmente limita o seu uso apenas em aplicações profissionais.

Os microfones em geral são avaliados segundo as seguintes características técnicas:

Qualidade- A qualidade de um microfone depende da gama de frequências que ele consegue captar. Um microfone de excelente qualidade é capaz de captar todo o espectro audível com uma grande linearidade e uma baixa distorção. Pode um microfone da melhor qualidade não ser a melhor escolha para uma dada aplicação. A existência de ruído perturbador em zona da banda onde o microfone não capte pode

transformar um microfone de banda limitada superior a outro potencialmente de maior qualidade, evitando filtros eléctricos com os problemas de dinâmica inerentes nos pré-amplificadores.

Directividade- A directividade do microfone dita a sua capacidade de captação em várias direcções. O tipo de directividade mais utilizado é o cardióide, mas em casos em que seja necessária a captação de várias fontes sonoras de várias direcções, utilizam-se microfones omnidireccionais. O uso deste tipo de captação nos microfones está sujeito a um estudo prévio do sistema, devido a fenómenos que estão descritos em 5.3. Microfones ainda mais directivos (hipercardióides ou de linha) serão usados em casos onde se pretenda uma rejeição acrescida do som de origem lateral.

Sensibilidade- A sensibilidade de um microfone é expressa em mV/Pa (20 Pa = 0dB). Quanto maior a sensibilidade maior a tensão que o microfone produz para um valor de pressão sonora, resultando assim na capacidade de captação fontes sonoras fracas, com baixo ruído, devido a amplificação do sinal.

A sensibilidade também depende da directividade. Os microfones cardióides são bastante sensíveis a fontes sonoras com um ângulo de incidência no microfone de 0° (à frente), mas muito pouco sensíveis para ângulos de incidência de 180° (lado), permitindo por exemplo o posicionamento de reprodutores do próprio sinal nestas zonas sem o risco de realimentação acústica ("feedback").

3.2 Amplificador

Fontes de sinal com os microfones, leitores de CD, gravadores de cassete, DAT e MiniDisc, não possuem a capacidade de produzir energia suficiente para a ligação directa de altifalantes. É assim necessário o uso de um amplificador que transforme os sinais de baixa potência das fontes de sinal em sinais com potência suficiente para alimentar os altifalantes do sistema.

Os amplificadores amplificam sinais de tensão normalizada de linha de 0,775 V (0dBu=0dBm referido a 600 Ohm), mas quando a fonte de sinal não possui esse valor de tensão, é por vezes necessário o uso de um pré-amplificador entre a fonte de sinal e o amplificador. Esse pré-amplificador pode estar integrado no amplificador, transformando o que seria uma entrada de linha (*LINE*), numa entrada de microfone (*MIC*), com uma sensibilidade acrescida. O amplificador SLICE1154 da Acutron já possui pré-amplificadores, mas programáveis, de modo a poderem ser utilizados quando necessário. Um exemplo de um pré-amplificador separado será o modelo de ganho programável DA-28 da Acutron.

O amplificador também pode possuir um equalizador que permita uma modificação espectral do sinal antes de ser amplificado, como é o caso do amplificador SLICE 1154 da **Acutron Electroacústica**, ou da misturadora MIX8.

Os parâmetros mais importantes num amplificador são:

Inteligibilidade- A capacidade do dispositivo difundir o som de um modo perceptível para os que ouvem. Tem a ver com potência, relacionada ela mesma com a eficiência dos transdutores e o ruído perturbador, com a resposta em frequência (só na banda de interesse) e com ausência de distorção.

Potência - A potência do amplificador deverá ser superior à potência total dos altifalantes do sistema se este nunca trabalhar por negligência em saturação. A Acutron Electroacústica possui amplificadores de 2x75 W (SLICE 2152) e de 2x150 W (SLICE 2302) para sistemas de 4/8 , e de 1x150W (SLICE 1154 e SLICE 1151) e 1x300W (SLICE 1301), para sistemas de linha de 100V. Os sistemas não são intermutáveis.

Resposta em frequência - A resposta em frequência do amplificador mede a gama de frequências que o amplificador é capaz de amplificar linearmente. Os amplificadores SLICE da Acutron Electroacústica possuem uma resposta em frequência 20Hz a 20kHz, salvo no que respeita aos modelos de linha de 100V, os quais, por inerência dos transdutores que lhe estão normalmente acoplados, possuem um filtro interno o qual limita a banda a 150Hz no extremo grave. Este filtro retira os componentes inaudíveis que de outro modo fariam baixar o nível de som audível no sistema, devido a ocupação inútil de banda.

Distorção harmónica e de intermodulação - É o valor em percentagem de modificação indesejável do sinal, que o amplificador produz, medido a potências entre as usuais (10 vezes menores que a máxima) e a máxima. Os amplificadores SLICE da Acutron Electroacústica produzem tipicamente uma distorção menor que 0,2%, mesmo em condições desfavoráveis, devido à ausência de

transformadores de acoplamento com os altifalantes, os quais deterioram substancialmente a qualidade em termos de banda passante e distorção, e de circuitos internos de correcção de alta velocidade que melhoram a distorção de intermodulação, mesmo a transitória (TIM, CCIF).

Numero de entradas - O número de entradas será o número de fontes de sinal que o amplificador poderá amplificar. Sem importância num grande sistema pois este depende de outros dispositivos para desempenhar esta função, pode ser determinante num pequeno sistema que utilize um único amplificador.

Protecção - A protecção depende dos dispositivos de protecção que o amplificador possui para garantir a integridade do amplificador e da carga em caso de sobretensões nas entradas, na alimentação, nos altifalantes em caso de excesso de temperatura ou de mau funcionamento interno. Os amplificadores SLICE da Acutron Electroacústica, possuem protecção para todos estes fenómenos, controlados por microprocessador. Falamos de dispositivos que medem continuamente a impedancia de carga dos altifalantes sem necessitar de portadoras a alta frequência para o fazer, não deteriorando assim a qualidade do sinal audível. A existência de circuitos minimizando os transitórios de ligação segundo as normas IEC, as descargas atmosféricas nas linhas dos altifalantes e vigiando os sinais fora de banda são nos amplificadores SLICE uma constante.

Fiabilidade – A fiabilidade do amplificador está relacionado com a qualidade dos componentes usados no seu fabrico e com os testes de qualidade que esta sujeito. Os amplificadores que a Acutron Electroacústica produz, possuem componentes de excelente qualidade e são testados para funcionarem em condições adversas com grande fiabilidade. A Acutron apresenta valores de fiabilidade de cerca de 50 000 h para os seus amplificadores, produto de projecto apurado, triagem fina de materiais e técnicas usadas na sua manufactura como o envelhecimento acelerado, segundo processos que ultrapassam o rigor da norma ISO9001.

Funcionalidade – Possuir um amplificador sem o número de entradas necessário, sem os sinais de alarme necessários numa instalação compatível CE, sem os sinais de gongo entrada a entrada necessários para as chamadas, sem prioridades programáveis no caso de entradas múltiplas, sem os níveis de entrada programáveis, sem comando de volume à distância ou sem as interfaces série necessárias para o telecomando ou a telemedida pode ser um handicap difícil ou oneroso de ultrapassar. Os amplificadores SLICE possuem todas estas prerrogativas quer de série (alarme, gongo, prioridades, programação de nível), quer opcionalmente (/485 – porta série, /RVC comando de volume à distância, necessários em grandes instalações).

3.3 Altifalantes

Apesar de existirem altifalantes electromagnéticos, de condensador, de fita e até de ionização directa do ar, cingiremos o nosso estudo aos electrodinâmicos, de longe os mais usados.

Existem duas categorias principais de altifalantes electrodinâmicos, dependendo do seu acoplamento ao ar:

- *Directo ou de caixa*
- *Tipo corneta*

Os altifalantes do tipo cone móvel são usados nas colunas de som, altifalantes de encastrar e projectores de som. Produzem som com grande fidelidade e até com directividade limitada, principalmente nas colunas de som, mas são menos eficientes e sensíveis que os tipo corneta. Os altifalantes tipo corneta, são cerca de 10 a 30 vezes mais eficientes (produzem mais som para a mesma potência eléctrica aplicada) que altifalantes de cone móvel bem projectados, devido ao uso daquilo que pode ser descrito como um “transformador acústico”, mas não produzem o som com tanta fidelidade (banda de reprodução mais limitada). São mais usados em locais de grande ruído ambiente e ao ar livre. É todavia possível a utilização de altifalantes de corneta em sistemas de grande fidelidade desde que se divida a banda a transmitir em várias sub-bandas, cada uma tratada separadamente por uma corneta e um amplificador dedicado (multi-amplificação). Este processo é inerentemente caro mas resolve problemas impossíveis de tratar de outra forma.

As características mais importantes nos altifalantes são:

Dispersão ou Directividade - É a dispersão do som que o altifalante produz. É medido em graus em relação ao seu centro, sobre o plano horizontal e vertical, ou através de um factor de directividade (Q).

Este fenómeno é inteiramente similar àquele que já descrevemos no caso dos microfones.

Os altifalantes directivos são úteis em casos onde se necessite de servir determinadas áreas evitando atingir superfícies reflectoras próximas, as quais, modificando os tempos de trajecto, perturbem a inteligibilidade.

Tipo- O tipo do transdutor depende do tipo de aplicação e das características necessárias. Por exemplo para o uso de altifalantes em tectos falsos, utilizam-se altifalantes encastráveis. Os projectores, de aplicação em sítios de difícil fixação e ao ar livre, as colunas de montagem saliente e as colunas multi-altifalantes mais directivas são alguns deles.

3.4 Atenuadores

Estes são dispositivos introduzidos entre o amplificador e o altifalante ou grupo de altifalantes, tipicamente em sistemas de linha de 100V. Deve ser indutivo por comutação, de modo a não perder potência e ser robusto (os atenuadores potenciométricos apresentam desgaste e consomem potência). Finalmente devem estar especificados para a soma das potências dos altifalantes a que são ligados.

A linha AT de atenuadores e SAT de selectores /atenuadores da Acutron obedecem a estes requisitos, podendo ainda estar equipados com um relés de comutação de emergência (sufixo R).

3.5 Selectores de zona

Destinam-se a permitir o direccionamento das mensagens num sistema de linha de 100V para várias zonas, podendo manter o programa nas zonas não endereçadas. Podem possuir vários terminais de endereçamento, com prioridade entre eles, que permitam a vários operadores, de várias localizações físicas, a exploração do sistema em modo de mensagens. Os selectores podem, em pequenos sistemas funcionar por comutação pós-amplificadores, necessitando apenas de 2 amplificadores para todas as zonas, ou comutar antes dos amplificadores, em grandes sistemas. Neste último caso necessitam de pelo menos um amplificador por zona de interesse.

A Acutron fabrica os selectores de zona ZONE8 e ZONE16, acoplados aos terminais ZONE8R e ZONE16R, destinados a este fim.

3.6 Sensores de ruído

São dispositivos usados para medir o ruído e permitir a subida-descida automática do nível de reprodução conforme o ruído perturbador.

A Acutron fabrica o modelo NLCD, digital e microprocessado, capaz de filtrar, medir e armazenar o valor do ruído, o qual pode ser usado por um controlador para remotamente dosear o nível nos amplificadores SLICE1XX1/485/RVC.

3.7 Controladores automáticos de substituição de amplificadores

Em instalações onde se necessita de funcionamento ininterrupto mesmo em caso de avaria de amplificadores, deverá ser utilizado o GateKeeper da Acutron, capaz de monitorizar o estado de até 8 amplificadores de linha de 100V, substituindo qualquer amplificador avariado na hora da avaria.

3.8 Equalizadores

Para melhorar a frequência de resposta dever-se-ão utilizar equalizadores paramétricos, que pela sua flexibilidade permitem a manipulação do espectro. O modelo SHAPER da Acutron possui 2 canais independentes, sendo gerido por software, possuindo memórias e permitindo a inserção opcional de atrasos entre canais.

4 Tipos de ligação aos altifalantes

A **Acutron Electroacústica** fabrica e fornece amplificadores para colunas de baixa impedância (4Ω ou 8Ω), e amplificadores de tensão de saída constante à potência máxima ($100V$) para sistemas deste tipo.

4.1 Sistemas de baixa Impedância

Este tipo de sistema apenas se utiliza quando é necessário um pequeno número de altifalantes (2-4), colocados a curta distância do amplificador. Inicialmente de custo mais baixo devido à ausência dos transformadores de saída, apresenta hoje preço idêntico aos de linha, sendo agora normalmente mais usual em altifalantes de grande potência (caso dos altifalantes para espectáculo).

Esta limitação deve-se à própria natureza do sistema, que como o nome indica apresenta altifalantes de baixa impedância, normalmente 4Ω ou 8Ω , o que não permite que sejam ligados sobre uma mesma linha mais que 2 ou 3 altifalantes em série ou paralelo. Para se poder ligar um maior número de altifalantes, será necessário recorrer a ligações mistas (série e paralelo, na mesma linha), de maneira que a impedância resultante das ligações dos altifalantes do sistema, esteja entre os limites de impedância de carga nominal do amplificador a utilizar (*normalmente entre 4Ω e 8Ω*).

Quando se procede ao dimensionamento de um sistema de som de baixa impedância, deve-se utilizar nas ligações em série ou paralelo, altifalantes da mesma impedância, facilitando assim os cálculos das potências, distribuídas pelo sistema e distribuindo igualmente a potência do amplificador pelos mesmos.

Neste tipo de sistemas, as distâncias entre os altifalantes e o amplificador têm de ser curtas, porque as perdas nos cabos são proporcionais ao quadrado da corrente que os percorre. No caso de sistemas de baixa impedância de grande potência, os valores de corrente nos cabos serão bastante elevados.

$$P = U * I = \frac{U^2}{Z} = I^2 * Z \quad (\text{Fórmula 1.1})$$

Para limitar a dissipação de potência nos cabos, deve-se utilizar nas ligações, cabo de secção adequada. Qualquer sistema de audio, devido às frequências de trabalho (20Hz-20kHz) corresponderem a comprimentos de onda enormes em relação às dimensões dos cabos é por inerência um sistema de parâmetros concentrados e não beneficia com o uso de cabos de geometrias optimizadas para alta frequência, ao contrário do que muitos fabricantes de cabos pretendem fazer crer.

4.1.1 Ligação dos altifalantes em Paralelo

Numa ligação de altifalantes em paralelo, a ligação faz-se ligando os pólos positivos dos altifalantes ao pólo positivo do amplificador, procedendo-se da mesma forma com os pólos negativos dos altifalantes e do amplificador.

Neste tipo de ligação, todos os altifalantes possuem a mesma tensão aos seus terminais, produzindo a mesma pressão acústica se idênticos.

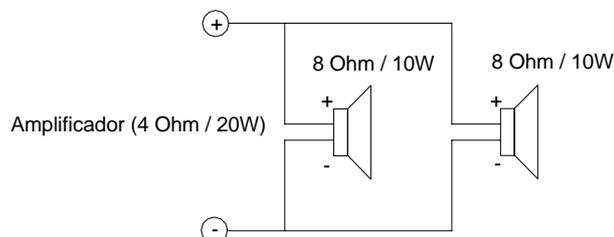


Fig.2- Ligação de altifalantes em paralelo

A impedância total da linha será dada pela seguinte equação:

$$Z_t = \frac{1}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \dots + \frac{1}{Z_n}} \quad (\text{Fórmula 1.2})$$

sendo Z_t a impedância total e Z_1, Z_2, \dots, Z_n as impedâncias de cada altifalante

No caso dos altifalantes terem a mesma impedância, a impedância total pode ser calculada usando a seguinte equação:

$$Z_t = \frac{Z_{\text{altifalante}}}{n} \quad (\text{Fórmula 1.3})$$

onde:

Z_t é a impedância total
 $Z_{\text{altifalante}}$ é a impedância de cada altifalante
 N número de altifalantes

4.1.2 Ligação dos altifalantes em série

A ligação dos altifalantes em série consiste em ligar o pólo negativo “-” do altifalante 1 ao pólo positivo “+” do altifalante 2, o pólo negativo “-” do altifalante 2 ao pólo positivo “+” do altifalante 3, e assim sucessivamente entre todos os altifalantes do sistema. O pólo positivo do primeiro altifalante irá ligar ao pólo positivo do amplificador, e o pólo negativo do último altifalante irá ligar ao pólo negativo do amplificador.

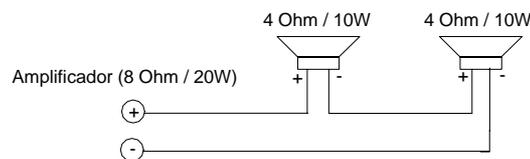


Fig.3- Ligação de altifalantes em série

Neste tipo de ligação, a impedância total será igual á soma das impedância de todos os altifalantes.

$$Z_t = Z_1 + Z_2 + Z_3 + \dots + Z_n \quad (\text{Fórmula 1.4})$$

onde Z_t é a impedância total e Z_1, Z_2, \dots, Z_n a impedância de cada altifalante

A tensão em cada altifante será a mesma se eles tiverem impedâncias idênticas.

4.1.3 Ligação Mista

Neste tipo de ligação são usados os dois tipos de ligação descritos anteriormente. O cálculo da impedância total processar-se-á usando as fórmulas dadas anteriormente, começando por calcular a impedância total de cada ramo ligado em série, calculando em seguida as ligações em paralelo, substituindo cada ligação série pela sua impedância equivalente como se de um único altifalante se tratasse.

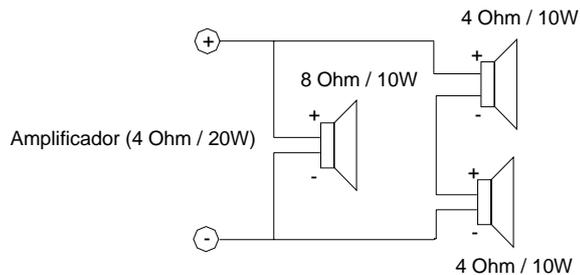


Fig.4- Ligação mista de altifalantes

De salientar que neste tipo de sistema é necessário proceder a novos cálculos sempre que se queira alterar as características do sistema (*nº de altifalantes, potência dos altifalantes, etc.*), porque qualquer alteração provoca uma variação da potência e mais importante ainda, da impedância total do sistema, podendo-se correr o risco da nova impedância total ou da nova potência, não estarem dentro dos limites de funcionamento do amplificador, resultando em danos no mesmo.

Devido às limitações que este tipo de sistema impõe, em casos que sejam necessário um grande número de altifalantes ou grande distância entre o amplificador e os altifalantes utiliza-se o sistema de tensão constante que será descrito de seguida.

4.2 Sistemas de Tensão Constante

Este tipo de sistemas possuem grandes vantagens em relação aos sistemas de baixa impedância, porque se baseiam nos sistemas de transporte de energia, em que o valor da tensão utilizado no transporte é bastante superior ao valor da tensão no consumidor. Isso permite que a corrente que circula nos cabos seja inferior ao que seria se o transporte fosse efectuado a baixa tensão, porque quanto maior o valor da tensão, menor o valor da corrente, para a mesma potência ($P=U \cdot I$), diminuindo assim as perdas nos cabos. É assim possível a utilização de cabos de menor secção relativamente aos cabos recomendados para os sistema de baixa impedância.

Cada altifalante possui um transformador de linha, que adapta a impedância do altifalante (normalmente baixa) à impedância da linha, inversamente proporcional à potência do altifalante.

A **Acutron Electroacústica** possui uma gama de amplificadores e altifalantes de tensão constante (usualmente designados por de linha de 100V) de alta qualidade (principalmente devido à ausência do transformador de saída), para qualquer tipo de aplicação. De facto o transformador é um componente problemático e dispendioso quando se fala em baixa distorção e grande banda passante, sendo mais fácil fabricá-lo em pequenas potências (casos dos utilizados nos altifalantes) que nos de grande potência utilizados nos amplificadores.

Neste tipo de sistemas, os altifalantes são todos ligados em paralelo ao amplificador. O único limite relativo ao número de altifalantes ligados á mesma linha consiste na precaução elementar em que o valor das potências somadas dos altifalantes não exceda o valor da potência do amplificador.

Este tipo de sistema permite ainda que se possa seleccionar em passos de 3dB (meia potência) a potência individual de cada altifalante no sistema, ideal para nivelar o som produzido pela instalação, de modo a maximizar o conforto acústico e a inteligibilidade.

Isto é possível porque a **Acutron Electroacústica** utiliza altifalantes com transformador interno, que no secundário, possuem várias ligações (5 ligações + 1 comum). Cada ligação fornece ao altifalante apenas uma determinada potência, que resulta no nível de pressão acústica que o altifalante irá fornecer. Por exemplo se o altifalante possuir 6W de potência nominal, podem ser seleccionadas potências de 6W, 3W, 1.5W, 0.75W e 0.25W.

Neste tipo de sistemas é possível utilizar sobre a mesma linha vários tipos de transdutores, como altifalantes, colunas ou cornetas, sem afectar as características da linha.

Outra maneira de se calcular o número máximo de altifalantes sobre a mesma linha é através do cálculo da impedância da linha, utilizando a fórmula:

$$Z_{\text{linha}} = \frac{U^2}{P} = \frac{P}{I^2} \quad (\text{Fórmula 1.5})$$

em que:

Z_{linha}	é a impedância da linha
U	é a tensão
P	a potência
I	é a intensidade da corrente

Para uma dada potência (segunda parte da fórmula), a impedância da linha não pode ser inferior ao valor de Z calculado, sendo esta inversamente proporcional ao valor da potência.

Exemplo:

Num sistema de 100V, equipado com um amplificador com uma potência nominal de 150W, temos que:

$$Z_{\text{linha}} = \frac{100^2}{150} = 66,66\Omega$$

A impedância mínima que a linha pode possuir, será de 66,66 Ω .

O valor da impedância da linha é o valor resultante do paralelo das impedâncias dos altifalantes.

O valor da impedância de cada altifalante é o valor da impedância vista do primário do seu transformador de linha, por exemplo:

- Sobre uma linha instalámos dois altifalantes de 6 Watts de potência nominal, o valor da impedância do primário de cada um será:

$$Z_{\text{transformador}} = \frac{100^2}{6} = 1666,66\Omega$$

Portanto, na linha, teremos uma impedância de aproximadamente:

$$Z_{\text{linha}} = \frac{1666,66}{2} = 833,33\Omega$$

Recomenda-se que se proceda á medição da impedância da linha antes de se ligar o amplificador, e à comparação dos valores medidos com os valores calculados. Se a linha estiver em perfeitas condições (cabos bem ligados, contactos firmes, etc.), a impedância medida será próxima da impedância calculada. Estas recomendações estão descritas em 7. Não efectuar esta verificação significa pôr em risco o andar de saída do amplificador. Os amplificadores da Acutron, se bem que tenham protecção contra sobrecargas, podem ser danificados por fugas à terra dos terminais das linhas, os quais podem anular o sistema de protecção, ou por funcionamento prolongado em condições de sobrecarga (visível pelo disparo intermitente da saída e consecutivo rearme).

5 Considerações Electroacústicas

5.1 O Som

O fenómeno físico que designamos por som consiste na transmissão de vibrações geradas por um objecto oscilante, através de um meio que propaga essas oscilações. As oscilações do meio são, no nosso caso (humanos), captadas pelos nossos órgãos auditivos.

O meio de transporte tem de ser um meio “elástico”, de maneira a poder oscilar com o objecto que produz essas oscilações. Diferentes tipos de material vão oscilar de maneira diferente, podendo qualquer um deles servir de meio de transporte entre o objecto oscilante e o receptor. A diferença entre eles para além da pressão, que iremos descrever mais adiante, será a velocidade de propagação, como exemplo, o som propaga-se na água a uma velocidade de 1520 m/s, enquanto que no ar, que será o meio preferencial no nosso estudo, será de 345 m/s.

As oscilações do meio, são como ondas que se formam num lago, quando atingido por uma pedra, e caracterizam-se por diferenças de pressão do meio.

Tratando-se de um fenómeno repetitivo, dá-se o nome de período, á diferença de tempo entre as repetições. Dá-se o nome de frequência ao número de repetições por segundo, que pode ser calculado pela fórmula:

$$Freq_{Hz} = \frac{1}{Periodo} \quad (Fórmula 2.1)$$

A unidade da frequência é o Hz, que corresponde a ciclos / segundo. O ouvido humano consegue, detectar sons com frequências entre 20Hz e 20000Hz (20kHz), consideramos como graves os sons de variação baixa, e como agudos os sons de variação alta.

Um som simples é constituído por uma única frequência, enquanto que um som complexo, é constituído por vários sons simples (várias frequências) cada um com a sua amplitude característica que pode variar no tempo.

5.2 Pressão Sonora

Outro conceito que nos interessa estudar é o de nível de pressão sonora que um sistema de som produz. Essa pressão, como sensorialmente percebida não é uma grandeza linear, ou seja, não teremos o dobro de pressão auditiva se duplicarmos o número de fontes sonoras colocadas á mesma distância, mas sim se multiplicarmos por 10 o número de fontes sonoras. A pressão percebida caracteriza-se por uma função logarítmica. A unidade de representação da pressão sonora será o dB, ou dB SPL (Decibels of Sound Pressure Level). O valor de 0 dB corresponde ao valor mínimo de pressão que pode ser detectado pelo ouvido humano.

Nos sistemas de som o objecto oscilante que provoca essas variações de pressão é o cone ou diafragma presente nos altifalantes, que oscila com a variação de tensão aplicada. Os altifalantes caracterizam-se por possuir uma determinada sensibilidade em dB/1W/1m. O valor dessa sensibilidade é obtido medindo a pressão sonora produzido pelo altifalante a 1 metro no seu eixo, quando excitado por ruído rosa* (“pink noise”), a uma potência eficaz de 1W.

Se o altifalante produzir uma pressão sonora de 70dB medidos a 1 metro / 1 Watt, representa-se da seguinte maneira:

$$SPL_{1m/1W} = 70dB$$

A relação entre o aumento da potência em Watts, e o aumento da pressão sonora que o altifalante produz, é definido pela fórmula:

$$aumento \text{ da Pressão}_{dB} = 10 \log Potência_{Watts} \quad (Fórmula 2.2)$$

Considera-se que um aumento de 3dB na pressão sonora é o aumento mínimo perceptível em termos de percepção auditiva. Este aumento corresponde a um aumento da potência do altifalante para o dobro.

Por exemplo, ao aumentar-mos a potência de um determinado altifalante de 10 Watts para 20 Watt, em termos de aumento de pressão sonora, temos:

$$aumento \text{ da pressão}_{dB} = 10 \log \frac{20W}{10W} = 3dB$$

Concluimos que, se em vez de duplicarmos a potência do altifalante, utilizarmos 2 altifalantes de 10 Watts de potência, o aumento da pressão sonora será igual (3dB, se estes estiverem afastados um do outro, senão outros fenómenos se produzem, decorrentes do aumento de directividade, produzindo um aumento no eixo de até 6dB).

O valor de 3dB representa num sistema em que seja necessário a difusão inteligível de mensagens o valor mínimo de pressão que o sistema terá de produzir acima do valor de pressão sonora ambiente (ruído ambiente), de maneira a que as mensagens transmitidas, possam ser perceptíveis. Por motivos de inteligibilidade das mensagens, e variações de pressão sonora ambiente, deve-se dimensionar o sistema para produzir uma pressão sonora 6 a 10dB acima do ruído ambiente.

Para calcular-mos a atenuação da pressão sonora com a distância, utilizamos a fórmula:

$$\text{atenuação}_{dB} = 20 \log \text{distância}_{\text{metros}} \quad (\text{Fórmula 2.4})$$

Se quisermos saber a pressão sonora, que um altifalante com um $SPL_{1m/1W}$ de 70dB, produz a uma distância de 10 metros, temos:

$$SPL_{10m/1W} = 70 - 20 \log 10 = 50dB$$

Dois altifalantes iguais colocados lado a lado, produziram uma pressão de 53dB.

Em casos nos quais necessitamos de saber o aumento da pressão sonora num ponto, provocado por dois altifalantes que produzem pressões diferentes nesse ponto, primeiro temos que calcular o valor de pressão que cada altifalante produz nesse ponto.

Esta situação corresponde à fórmula:

$$SPL_{total} = 20 \times \log_{10} \sqrt{10^{\left(\frac{A}{10}\right)} + 1} \quad (\text{Fórmula 2.5})$$

onde:

SPL_{total} é o nível total produzido pelas 2 fontes

A é a diferença em dB entre a fonte de maior pressão sonora (à qual será referenciado o aumento de pressão) e a de menor pressão (notar o sinal negativo antes da fracção)

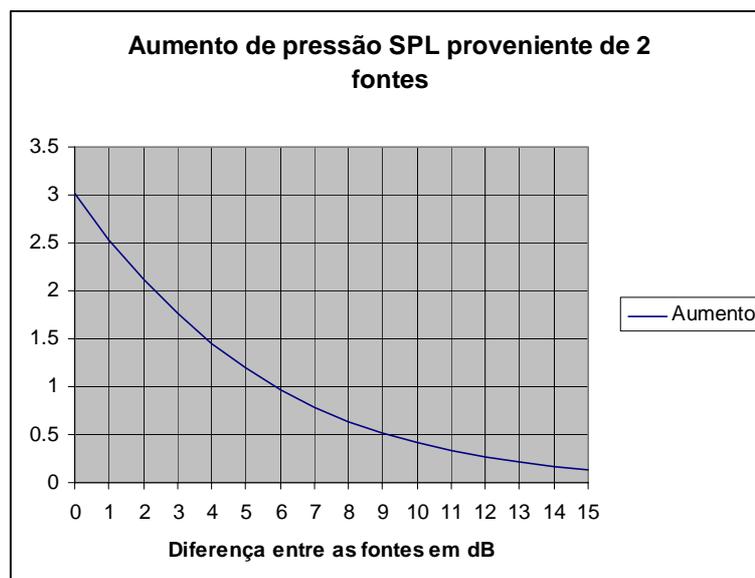


Figura 5- Cálculo da pressão sonora

Exemplo:

Supomos que temos 2 altifalantes, o primeiro produz uma pressão sonora de 70 dB num ponto, enquanto o outro produz 77dB de pressão sonora no mesmo ponto. A diferença de pressão entre os dois altifalantes é de 7 dB, o que corresponde segundo o gráfico a um aumento de aproximadamente 0,8 dB, portanto a pressão sonora no ponto será de:

$$77dB + 0.8dB = 77.8dB$$

Apresentamos de seguida uma série de gráficos que podem servir de referência para o cálculo da pressão sonora em determinados espaços.

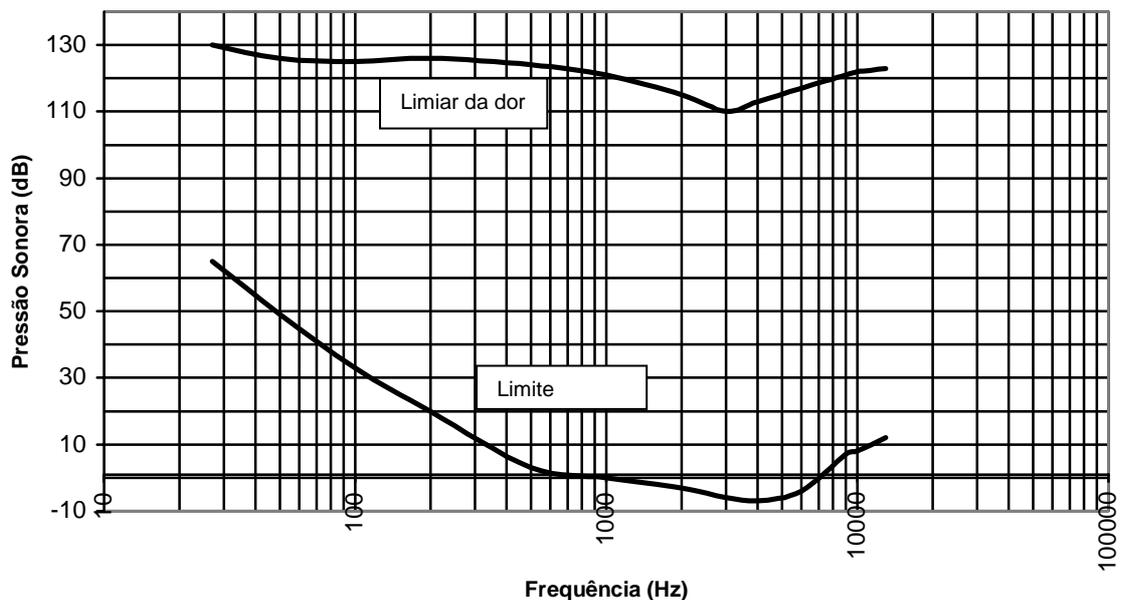


Gráfico 2 – Área Sensível do ouvido humano

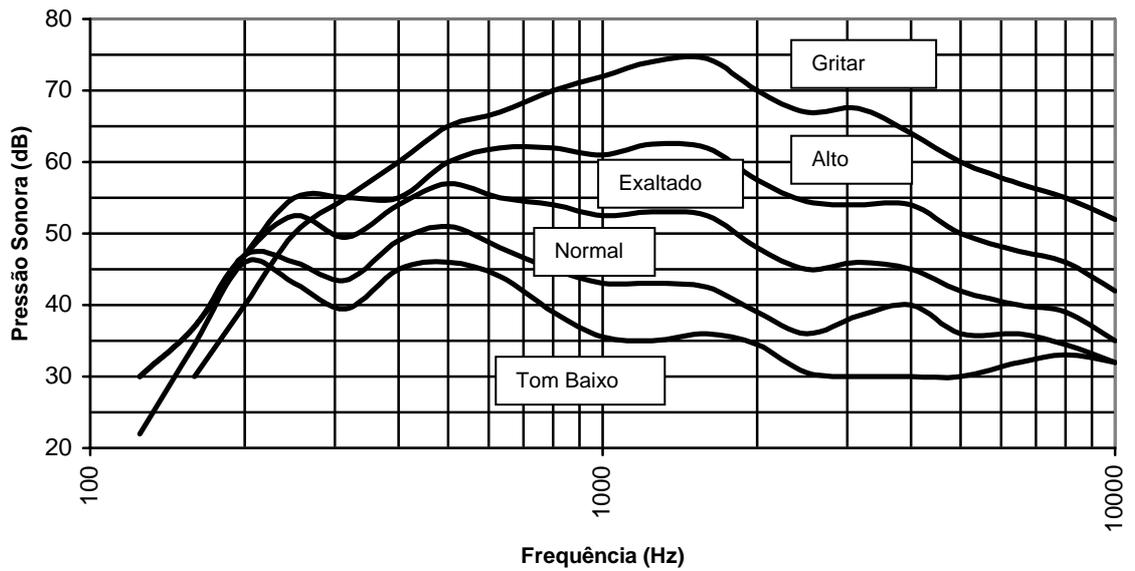


Figura 6 – Distribuição em frequência da voz feminina

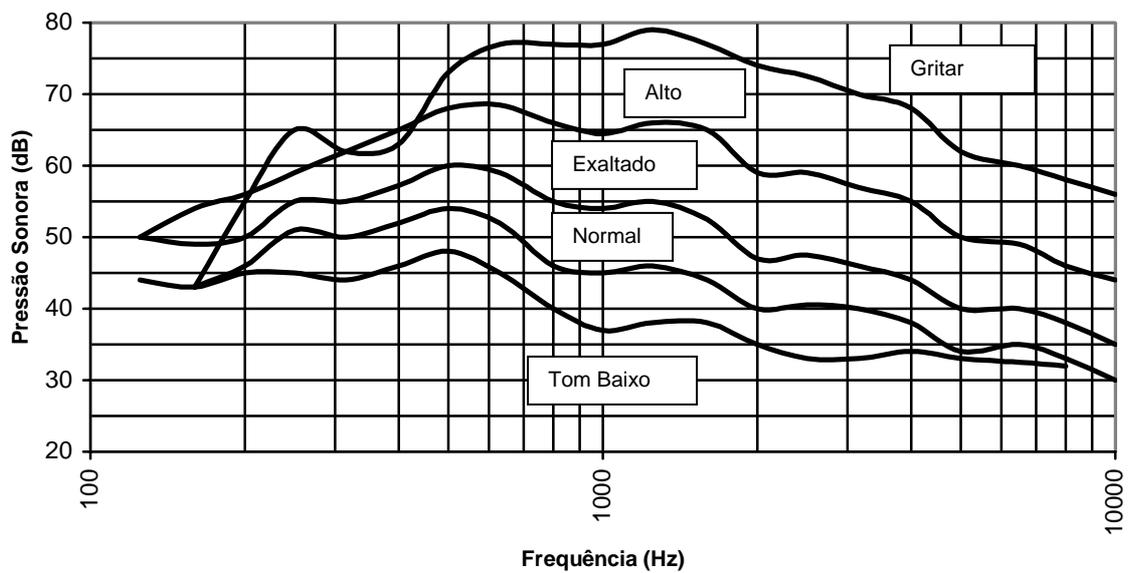


Figura 7 – Distribuição em frequência da voz masculina

Localização	Mínimo (dBA)	Máximo
Em Casa	25	45
No Escritório	35	50
Na Cabina de um Avião	75	85
Numa Fábrica	65	100
Falar a 1 m	55	65
Gritar a 1 m	75	85
Máquina de Secar a 1 m	55	65
Aspirador a 1 m	65	80
Motoserra a 1 m	100	120
Máquina de Lavar 1 m	55	75
Carro a 8m / 90 kmh	70	80
Avião a 300 m	95	110
Trânsito a 90 m	40	60
Ambiente Rural	25	35

Figura 9 – Tabela de valores médios de ruído em diversos locais

5.3 Características acústicas do espaço

Existem dois tipos de ambientes para a difusão sonora, espaço aberto e espaço fechado. No espaço aberto as ondas sonoras propagam-se sem encontrarem nenhum obstáculo, conseqüentemente a recepção sonora corresponde sempre a ondas directas da fonte. Em espaços fechados a recepção sonora pode ser directa ou indirecta da fonte sonora. Será indirecta porque serão ondas reflectidas em obstáculos (paredes, móveis, etc.). Estas reflexões podem contribuir para a degradação do sinal ou diminuir a sua inteligibilidade. Em casos extremos, pode ocorrer a completa anulação do sinal (interferências destrutivas).

O número de reflexões e a sua intensidade estão ligadas com o tipo de espaço, o material de revestimento das paredes chão e tecto, o mobiliário existente no espaço e com as dimensões do local. Em casos em que as reflexões degradam o sinal consideravelmente será necessário proceder á modificação de um destes factores, embora o mais económico com resultados satisfatórios, será o material de revestimento das paredes e tecto. Materiais moles e irregulares permitem uma considerável atenuação das ondas reflectidas pelo menos na banda média-alta das frequências de trabalho. Em espaços novos, há que tomar cuidado de modo às ressonâncias relacionadas com o comprimento de onda correspondente a cada dimensão estarem regularmente espaçadas na banda de trabalho, não correspondendo a harmónicas das outras. Como normalments existem 3 dimensões (comprimento, largura, altura), deverão estes encontrarem-se espaçados entre si por um factor de raiz cúbica de 2, de modo a distribuir as ressonâncias por terços de oitava consecutivos.

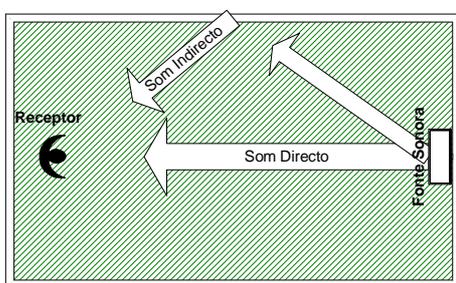


Fig.10– Espaço com paredes de material rígido

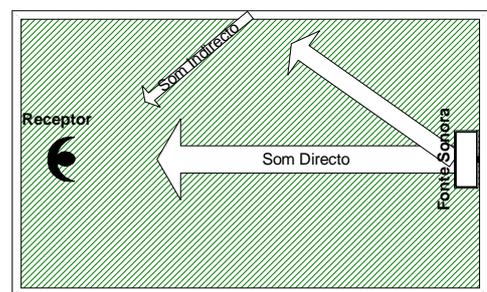


Fig.11 – Espaço com paredes de material mole

5.3.1 Reverberação

A reverberação, é o fenómeno que o som produz, quando o som não é captado pelo receptor directamente, mas sim indirectamente, depois de ter sido sujeito a inúmeras reflexões. O tempo de

reverberação é o tempo decorrido entre o final da emissão do sinal original na fonte, e a recepção do sinal reflectido no receptor com uma atenuação de 60dB.

A diferença de 60dB entre o sinal original e o sinal reflectido representa o nível de atenuação para que o sinal se torne imperceptível em relação ao sinal original.

O tempo de reverberação depende do nível de absorção que o espaço proporciona aos sinais reflectidos. Se o tempo de reverberação for entre 0 e 50ms, a onda indirecta provoca um reforço do sinal original, se for entre 50 e 80ms o som original sofre uma degradação de inteligibilidade que pode levar á sua anulação. Com tempos de reverberação maiores que 80ms, o resultado será a geração de eco perceptível como sinal distinto do original.

Para reduzir o nível de som indirecto só através do sistema de reforço electroacústico será necessário diminuir a dispersão do sinal, especialmente se os transdutores funcionarem com grandes potências. Isso é possível com a utilização de colunas de som ou outro tipo de transdutores direccionais que limitem a difusão sonora às áreas consideradas necessárias.

5.3.2 Realimentação acústica (Feedback)

O fenómeno de realimentação acústica ("feedback"), acontece quando um sistema é realimentado pelo próprio sinal gerado, com um ganho maior que 1.

Falamos do caso em que o sinal difundido pelos altifalantes do sistema é captado por um microfone o qual após amplificação produz uma potência semelhante à do sinal original, originando um "assobio", que pode povocar danos ao sistema. Para que este fenómeno não suceda, é necessário que o sinal captado pelo microfone seja abaixo em potência do sinal que o originou. Para isso o ganho dos microfones deverá ser o mínimo necessário e a difusão sonora nunca deverá ser na direcção dos microfones. Em todos os casos em que seja possível os microfones deverão estar sempre o mais próximos o possível da fonte, podendo para isso ser utilizados microfones de lapela.

6 Cálculo e instalação dos transdutores

6.1 Colunas de som

As colunas de som devem ser instaladas na parede, preferencialmente a uma altura de 1,5 metros para pessoas sentadas, e 1,7 metros para pessoas em pé. A potência da coluna a utilizar depende da pressão sonora pretendida como foi explicado em 4.2.

Para uma melhor difusão sonora a coluna deverá estar ligeiramente apontada para baixo, e não deve ser instalada em cantos, porque os cantos intensificam as baixas frequências. Se não for possível evitar a sua instalação em cantos deve-se compensar o excesso de graves com a regulação de tonalidade do amplificador ou através de um equalizador.

6.2 Altifalantes encastráveis

Os altifalantes encastráveis são os mais utilizados em sistemas de difusão de mensagens urgentes e música ambiente, em locais que possuem tectos falsos. Este tipo de instalação é geralmente mais caro, devido ao maior número de altifalantes usados, mas é de longe o tipo de instalação que permite uma maior uniformização do som, e a menor probabilidade de reverberação, devido aos níveis de trabalho serem mais baixos que noutros modos de distribuição.

A escolha dos altifalantes depende do local da aplicação e do nível de pressão sonora pretendido, por exemplo, em locais em os altifalantes estarem sujeitos a humidade (casas de banho), utilizam-se altifalantes com membrana em polipropileno resistente á humidade.

A distribuição típica deste tipo de altifalantes está exemplificada na *figura 7*.

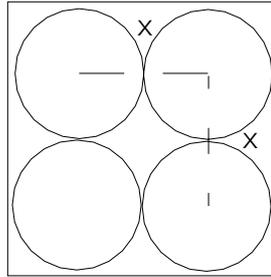


Fig. 12- Distribuição típica dos altifalantes

Os círculos representam a área de cobertura de cada altifalante, e X representa a distância entre altifalantes.

Para o cálculo da quantidade de altifalantes a utilizar num local, será necessário proceder aos seguintes passos:

- ✓ Determinar o ruído ambiente
- ✓ Determinar a pressão sonora a produzir pelo sistema
- ✓ Determinar a uniformidade da pressão sonora admissível
- ✓ Calcular a distância entre altifalantes
- ✓ Definir a potência dos altifalantes

6.3 Determinar o ruído ambiente

Este ponto foi descrito em 5.2 .

6.4 Determinar pressão sonora a produzir pelo sistema

Com o ruído ambiente (médio) do local a sonorizar já definido, a pressão sonora que o sistema deverá produzir, será o ruído ambiente, mais 6-10dB.

6.5 Determinar a uniformidade da pressão sonora admissível

A uniformidade da pressão sonora será, para a mesma potência, a diferença entre a pressão sonora máxima e a pressão sonora mínima que o poderemos encontrar no local.

Para a maioria das aplicações, uma dispersão de 6 dB ou seja 3dB é aceitável (aeroportos, centros comerciais, estações de comboio, etc..), mas em casos que seja necessário uma maior uniformidade da pressão em todo o local, como por exemplo em salas de conferência, recomenda-se de se defina como dispersão máxima 3 dB ou seja 1,5dB.

6.6 Calcular a distância entre altifalantes

A variação de pressão sonora produzida ao longo do trajecto num agregado linear de altifalantes calcula-se a partir de fórmulas, com base na figura 13.

$$\Delta P = 10 \log_{10} \frac{8}{4 + k^2} \quad (\text{Fórmula 3.1})$$

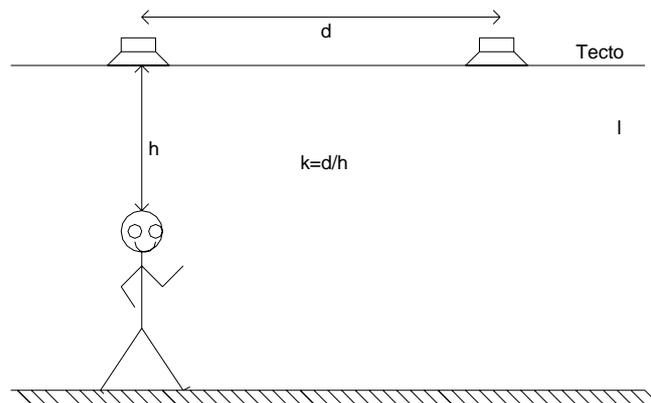


Fig. 13 - Cálculo da distância entre altifalantes

A fórmula 3.1 ignora o efeito das reflexões nas superfícies circundantes, e a contribuição de linhas de altifalantes adjacentes, não muito importantes para as relações usuais.

Esta fórmula conduz ao seguinte gráfico, onde em abcissas temos a relação k entre a distância d e a altura ao ouvinte h :

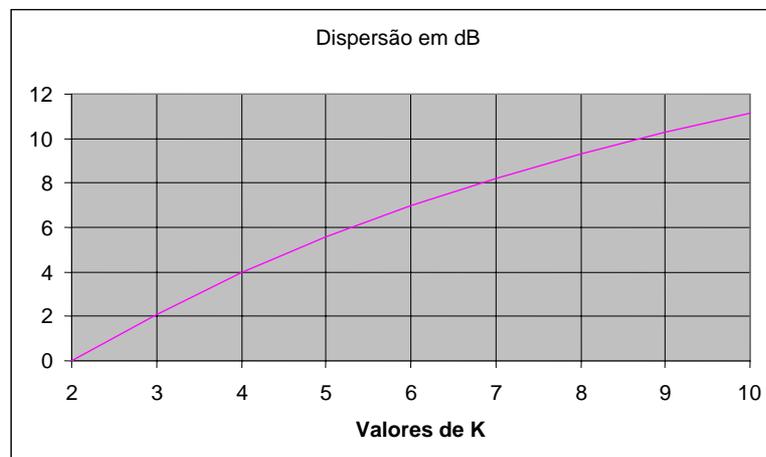


Figura 14 – Variação da pressão sonora com o factor distância entre altifalantes/altura

Exemplo:

Se quisermos sonorizar uma sala com 17 x 9 metros e uma altura de 2.7 metros (distância de 1 metro orelha-altifalante para uma altura média de 1.70). A utilização será para reuniões e conferências.

Definimos como dispersão máxima 3 dB, então a distância entre altifalantes, será:

$$d = 1,0 \times 4,5 = 4,5$$

O número total de altifalantes necessários para sonorizar a sala será 8, como exemplificado na figura 15.

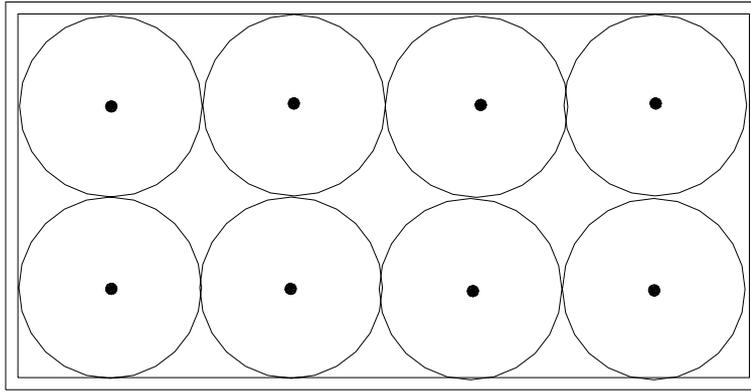


Fig.15 – Distribuição dos altifalantes

6.7 Definir a potência dos altifalantes

Para o cálculo da potência, necessitamos de saber o valor da pressão acústica que os altifalantes devem produzir a 1 metro. Definido o valor médio de pressão acústica que o sistema deve produzir, temos que:

$$SPL_{m\acute{a}x} = SPL_{m\acute{e}d} + \Delta P \quad (\text{F\acute{o}rmula 3.2})$$

O $SPL_{m\acute{a}x}$ encontra-se no ponto mais pr\oximo do altifalante como exemplificado na figura 13.

Utilizando a figura 15 como exemplo, temos que o SPL_{1metro} necess\ario para o altifalante, ser\aa:

$$SPL_{1metro} = SPL_{m\acute{a}x} + 20 \log_{10} h \quad (\text{F\acute{o}rmula 3.3})$$

Sabendo o SPL a 1 metro necess\ario, recorre-se aos dados t\ecnicos dos altifalantes para escolher um altifalante. Anota-se o valor de SPL a 1 metro \aa pot\encia de 1W característico do mesmo.

Para calcular a pot\encia que devemos seleccionar no altifalante utilizamos a f\ormula:

$$P_{Watts} = 10^{(SPL_{1metro} - SPL_{1W/1m})} \quad (\text{F\acute{o}rmula 3.4})$$

6.8 Cabos a utilizar na montagem

Siga a seguinte tabela, a qual lhe dará os comprimentos para uma dada potência de coluna ou grupos de colunas em linha de 100V dada a sua secção. Esta tabela admite perdas de 0.5dB (10% em potência).

Amplificador possível				
1151/1154				1301
Potencia (W)				
Secção (mm2)	50	100	150	300
0.25	325	163	108	54
0.5	650	325	300	108
0.75	975	488	325	163
1	1300	650	433	217
1.5	1950	975	650	325
2.5	3250	1625	1083	542

Figura 16 -Tabela de comprimentos de cabos de altifalante em metros

Como foi referido anteriormente, neste tipo de sistema os altifalantes serão ligados sempre em paralelo.

Esta tabela reflete a fórmula seguinte, a qual pode ser utilizada para valores intermédios:

$$L = \frac{10^{\frac{q}{10}} V^2 S}{\rho P} \quad (\text{Fórmula 3.5})$$

onde:

L	comprimento do cabo em m
q	perda admissível em dB
V	tensão do sistema (100V)
S	secção do cabo em m ²
	resistividade do cobre (1.673.10 ⁻⁸ .m)

7 Procedimentos de verificação em sistemas de linha de 100V

A verificação da montagem de sistemas de linha de 100V consiste em:

- ✓ Verificação dos cabos
- ✓ Verificação das ligações
- ✓ Verificação dos altifalantes e projectores
- ✓ Verificação da linha

7.1 Verificação dos cabos

Os cabos de ligação dos componentes do sistema, deveram estar bem fixos, em toda a sua extensão e perfeitamente isolados.

7.2 Verificação das ligações

As ligações de todos os componentes estar bem fixas e isoladas. Um simples fio de uma trança multifilar encostado a outro condutor pode causar graves problemas a um sistema. Isolar TODOS os fios das tomadas dos altifalantes, mesmo os não utilizados.

7.3 Verificação dos altifalantes e projectores

Os altifalantes e projectores, deveram se encontrar bem fixos e a potência seleccionada deverá ser a pretendida.

Nunca trocar os polos + e – entre altifalantes ligados em série/paralelo. A troca fará que quando um altifalante se desloca para a frente...o outro se desloca para trás, provocando pressões acústicas de sinal contrário e até a anulação do som emitido, se estes se encontrarem suficientemente perto. Respeitar as polaridades indicadas em 3.1.1 e 3.1.2

7.4 Verificação da linha

A verificação da linha deverá ser feita antes de se ligar o amplificador, consiste em:

- ✓ Verificar o isolamento em relação á massa
- ✓ Verificar a impedância da linha

7.4.1 Verificar o isolamento em relação á massa

Esta verificação pretende verificar o isolamento da linha em relação á massa do sistema. Para isso dever-se-á utilizar um Ohmímetro, com a escala em $M\Omega$, com um dos terminais ligado á massa do sistema e o outro ligado aos dois condutores da linha curto-circuitados, como exemplificado na *figura 10*. O Ohmímetro deverá indicar resistência infinita. De preferência e como as tensões de trabalho são elevadas dever-se-á utilizar um Megaohmímetro de alta tensão (ensaio de isolamentos a 500V).

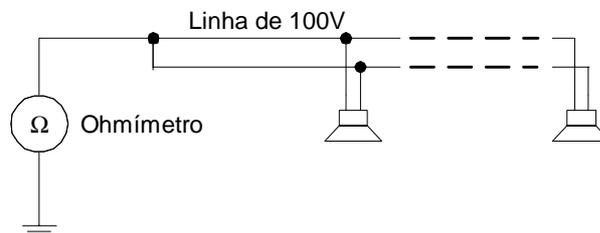


Fig. 17- Esquema de ligação para medir o isolamento da linha

7.4.2 Verificar a impedância da linha

Para esta verificação é necessário:

- Um gerador de sinal sinusoidal, 1V-10V, 1kHz
- Um voltímetro AC
- Uma resistência de qualquer valor R (100-10000)

O equipamento será ligado como mostra a figura 11 abaixo. Com o gerador numa tensão conveniente entre os limites já enunciados, a 1kHz e o voltímetro numa escala de corrente alterna, mede-se a tensão aos terminais do gerador e aos terminais da linha, anotando os valores e entrando com eles na fórmula abaixo:

$$Z_{linha} = \frac{RV_o}{V_i - V_o} \quad (\text{Fórmula 4.1})$$

onde Z_{linha} é a impedância da linha
 R é o valor da resistência que fixa a impedância de saída aposta ao gerador
 V_i é a tensão de saída do gerador
 V_o é a tensão medida na carga

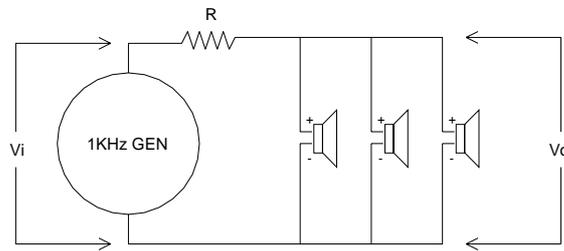


Fig. 18- Esquema de ligação para medir a impedância da linha

Esta medida deve ser efectuada a 1kHz. Porquê: porque a impedância dos altifalantes varia fortemente com a frequência, podendo medidas tiradas a baixas frequências (onde predomina o efeito de ressonância) ou a alta frequência (onde predomina o carácter indutivo e depois capacitivo) induzir em erro.

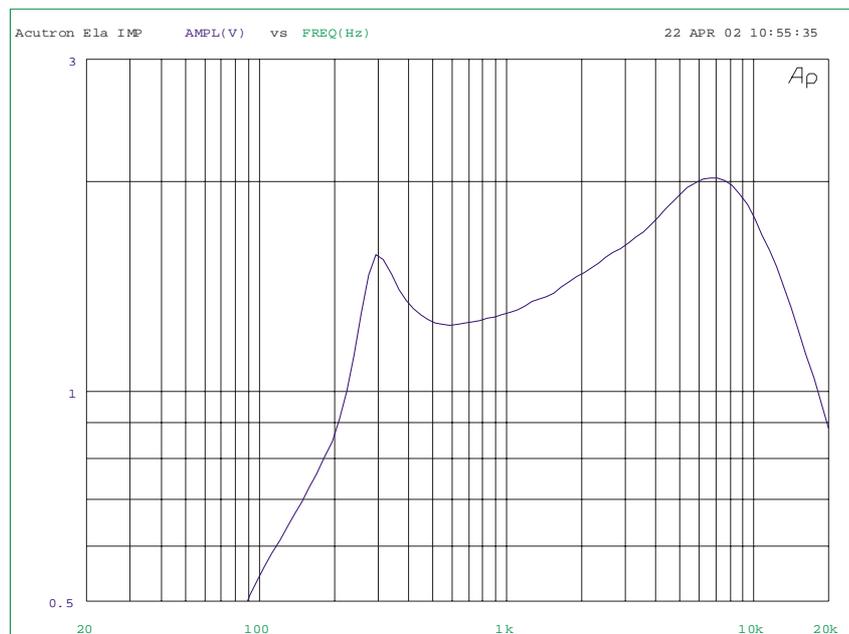


Fig. 19 Variação da impedância da linha com a frequência

A impedância calculada é comparada com a impedância esperada para o sistema, que se obtém através da fórmula 4.2, em que a potência será a soma das potências seleccionadas em cada um dos altifalantes que estiverem ligados á linha. A dispersão máxima dos valores será de 10%, se a dispersão for superior deve-se proceder a uma nova verificação dos pontos anteriores antes de se proceder a uma nova medição.

$$Z_{\text{linha calculado}} = \frac{10000}{\text{Potência Total}} \quad (\text{Fórmula 4.2})$$