Filtros e equalizadores

É muito comum realizarmos o processamento de um sinal de áudio em função de sua freqüência, isto acontece tanto nos filtros e equalizadores do canal de entrada de uma mesa de som quanto nos equalizadores gráficos e crossovers que vem em seguida.

Vamos fazer uma pequena revisão de alguns conceitos úteis que aparecem ao lidarmos com filtros e equalizadores.

1 - O que é freqüência:

Todos os sons que percebemos são flutuações da pressão do ar acima e abaixo de um valor médio. Chamamos de freqüência ao número de alternações (ciclos) que ocorrem por segundo na pressão do ar.

A percepção subjetiva que temos desta característica física é que nos permite identificar um som de alta freqüência como agudo e um de baixa freqüência como grave e perceber os diferentes tons de uma escala musical.

A unidade de medida da freqüência é o hertz (Hz), igual a um ciclo por segundo (1 c/s). Utilizamos freqüentemente em áudio o quilohertz (kHz), o múltiplo da unidade de freqüência igual a 1000 Hz ou 1000 c/s. Se a razão entre as freqüências de dois sinais for igual a 2 ($f2/f_1 = 2$, ou seja $f_2 = 2.f_1$), dizemos que os mesmos estão separados por uma oitava.

2- Filtros

Para lidar com os sinais no domínio da freqüência um dos tipos de circuito usados são os chamados de filtros elétricos, os quais deixam passar ou amplificam as freqüências desejadas e atenuam as indesejáveis.

Podemos observar na fig. 1 um gráfico que representa a ação de um filtro ideal: deixa passar sem nenhuma atenuação as freqüências até fc, a chamada freqüência de corte, e rejeita completamente todas as outras freqüências. As freqüências até fc definem a banda passante e as que são rejeitadas a banda de rejeição do filtro. Um filtro descrito por um gráfico como este não é realizável fisicamente e um filtro real somente conseguirá aproximar o seu comportamento. O ganho G do filtro é dado pelo quociente entre a tensão de saída e a de entrada, e o ganho em dB é dado por vinte vezes o logaritmo na base 10 de G.

$G = V_o/V_{in}$

$G_{dB} = 20.\log(G)$

Apresentamos o gráfico da resposta de freqüência de um filtro normalmente com o ganho em dB no eixo y (ordenadas) e a freqüência no eixo dos x (abscissas), em escala logarítmica.

Quando as freqüências rejeitadas estão acima da freqüência de corte (f>fc), temos um filtro do tipo passa-baixas (PB).

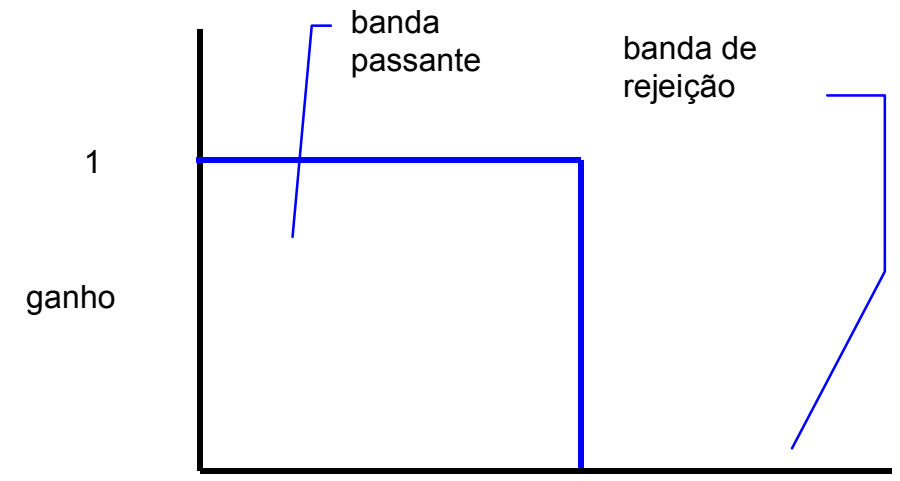
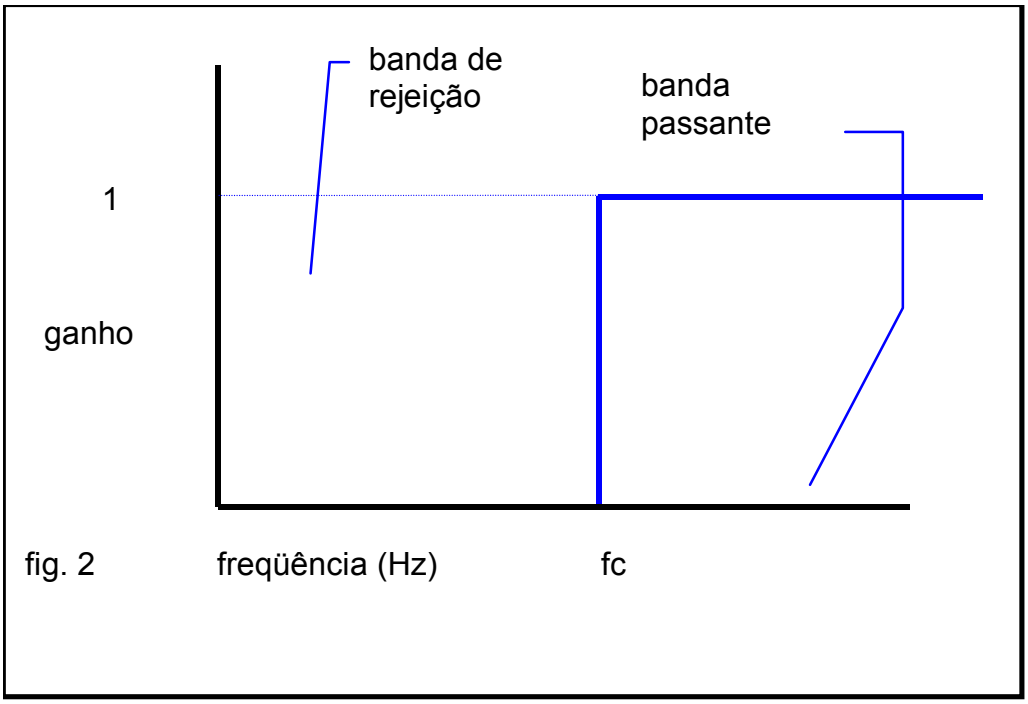
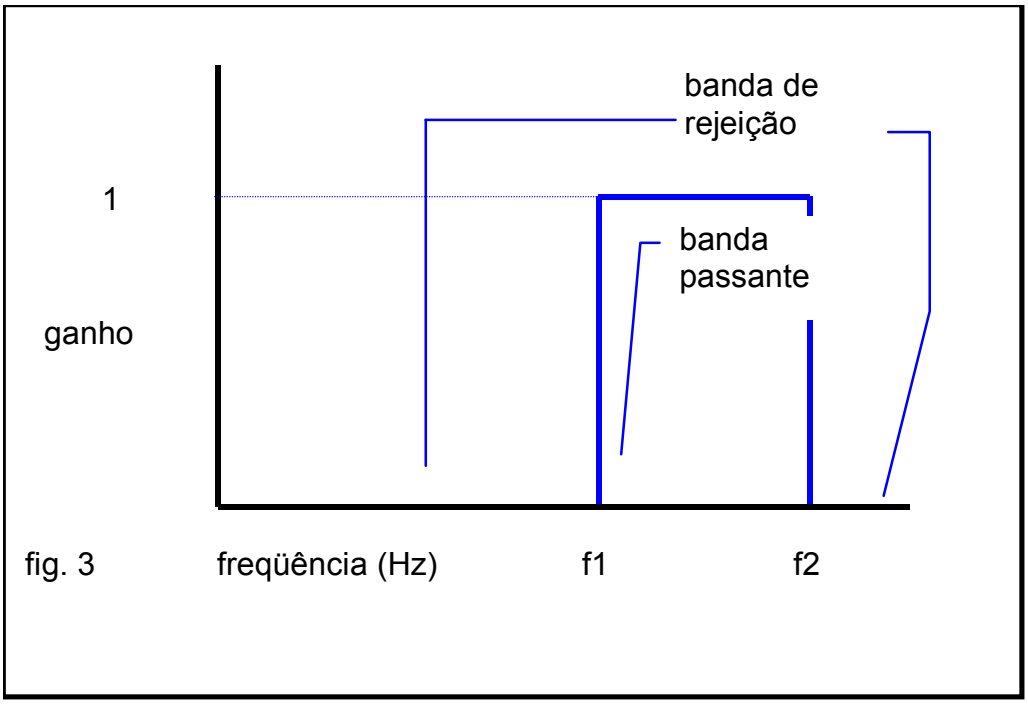


fig. 1 - filtro ideal

Podemos ter também filtros passa-altas , se rejeitarmos freqüências abaixo de fc (fig. 2) ou passa-banda se a faixa passante estiver entre duas freqüências f1 e f2 (fig. 3).





Um <u>filtro real</u> atenua gradualmente as freqüências fora da faixa passante e o gráfico resultante tem uma inclinação medida em dB/oitava ou dB/década, como mostrado esquematicamente na fig. 4 para um filtro de 2ª ordem passa-baixas .

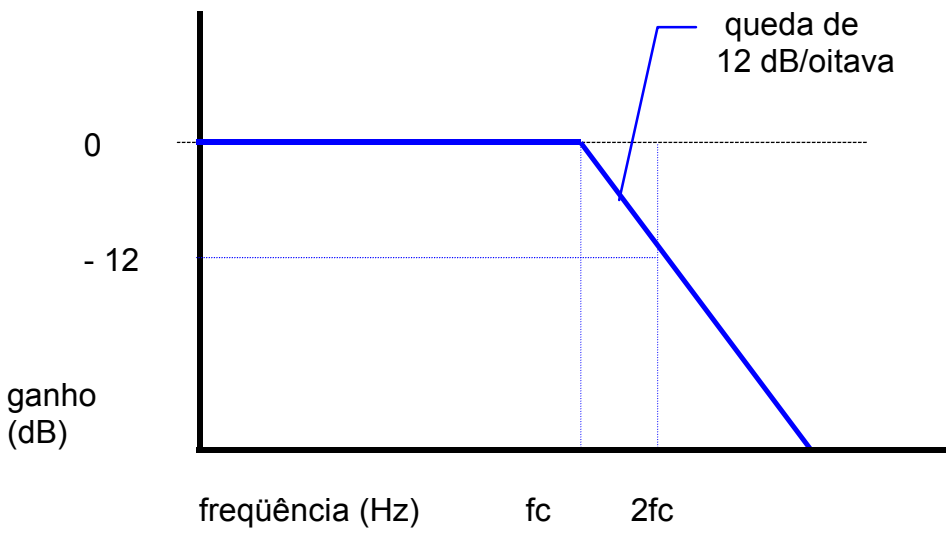
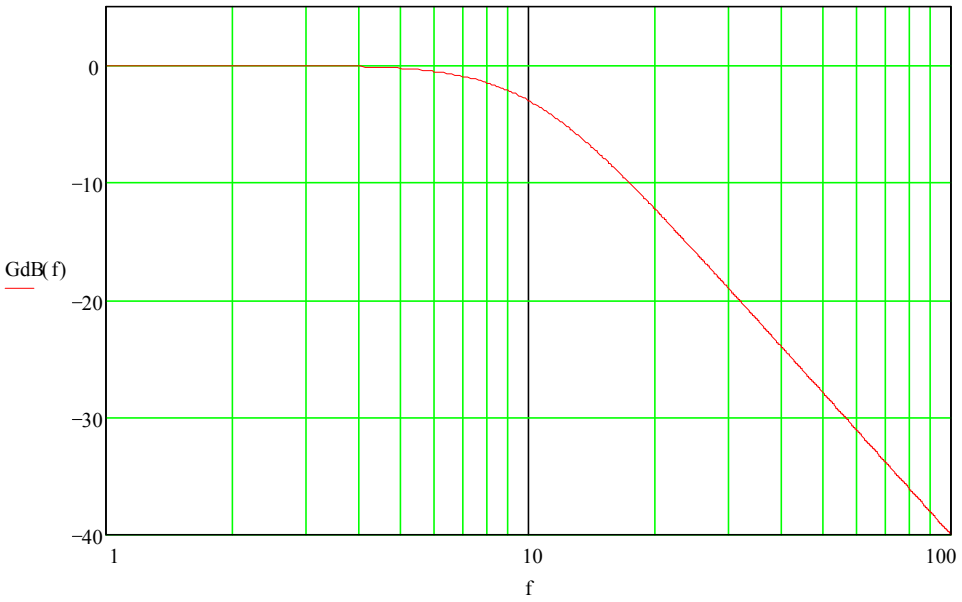


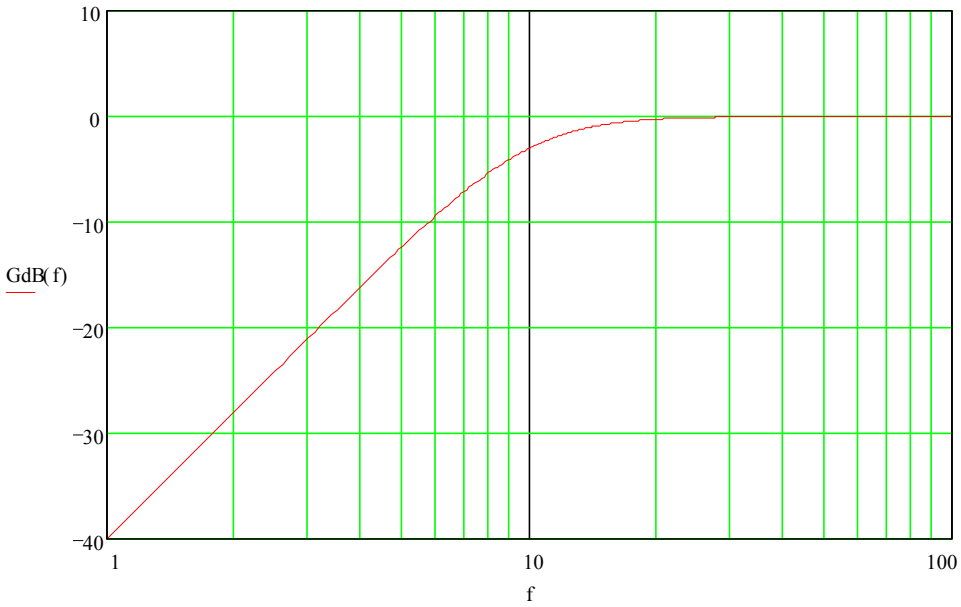
fig. 4

Um filtro real tem uma resposta de freqüência cujo gráfico é mais suave como abaixo:

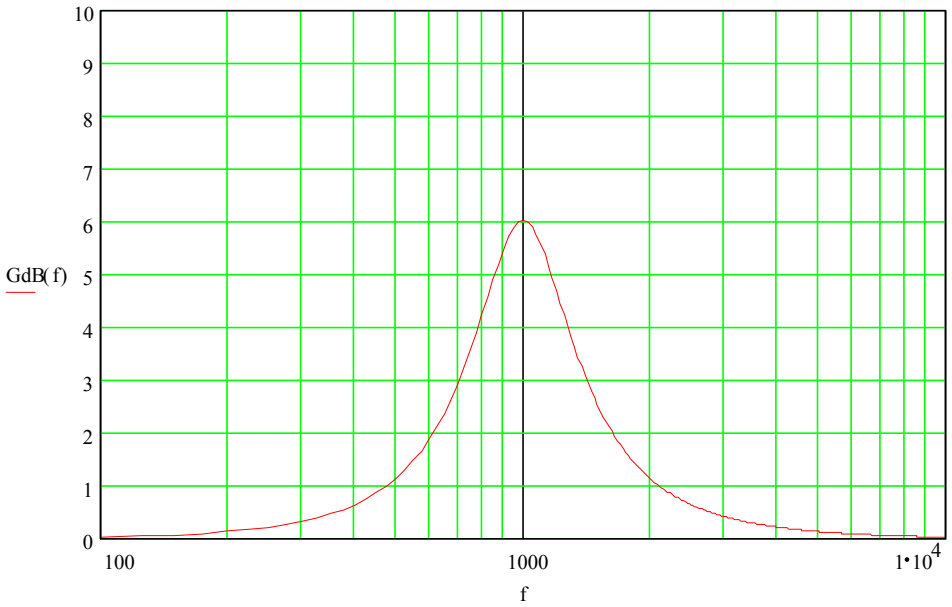
Filtro passa-baixas



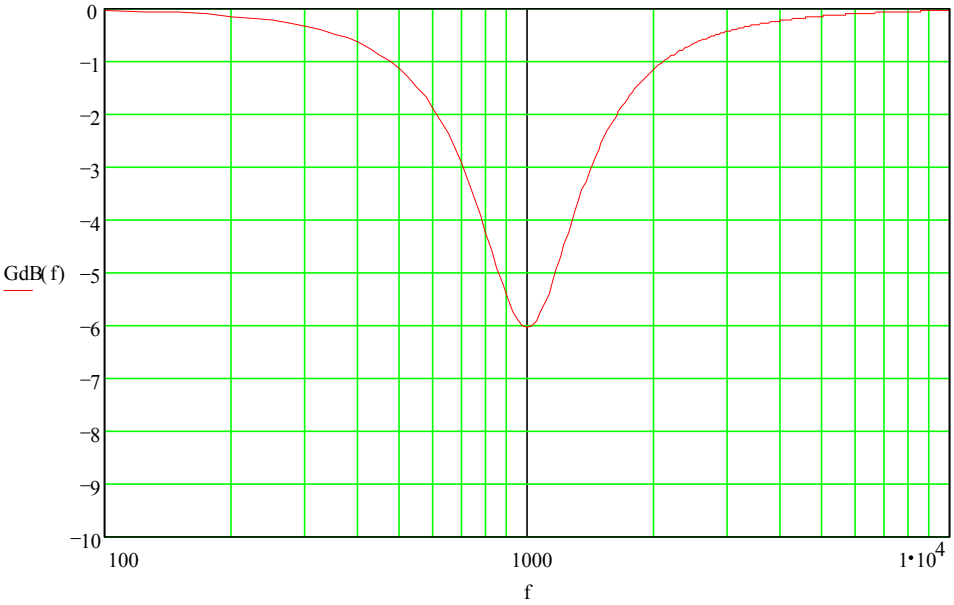
Filtro passa-altas



Filtro passa-banda



Filtro rejeita-banda



Um número ou parâmetro importante para a descrição dos filtros passa-banda será o seu fator de qualidade Q, o qual é uma medida da largura de sua banda passante em função da freqüência central do filtro, $f_0 = \sqrt{f_1 * f_2}$ e dado pela expressão:

$Q = f_0/(f_2-f_1)$

Onde f_2 e f_1 são as freqüências de -3 dB do filtro.

O exemplo acima é de um filtro com Q= 1,4 aproximadamente, com uma faixa passante de 1 oitava aproximadamente (f2=1400 Hz, f_1=700 Hz).

Costumamos medir a largura de faixa dos filtros passa-banda em oitavas ou frações de oitava como 1/2 ou 1/3 de oitava.

Filtros passa-altas e passa-baixas são empregados nos canais de entrada das mesas de som, nos crossovers e, em conjunto com filtros passa-banda, nos equalizadores gráficos, definindo os limites da resposta de freqüência do canal ou equipamento e suprimindo os sinais que não desejamos.

Um uso típico para um filtro passa-altas é cortar os graves que não queremos no canal do contratempo ou Hi-Hat.

Veremos a seguir os equalizadores gráficos e paramétricos, que são exemplos de uso dos filtros passa-banda ou rejeita-banda.

Equalizadores

Fomos apresentados no artigo anterior aos filtros elétricos, os quais usamos para eliminar sinais indesejáveis que possam estar contaminando o nosso precioso sinal de áudio.

Agora vamos abordar uma importante classe de ferramentas colocadas à disposição do técnico de áudio: os **equalizadores**.

Chamamos de equalizadores aos circuitos que modificam a resposta de freqüência de um sistema de acordo com nossas necessidades, seja para compensar as deficiências acústicas de um local, obter o timbre que desejamos para um determinado instrumento, ou atender a um padrão como o RIAA, que compensa as características de gravação e reprodução dos discos de vinil com cápsulas magnéticas (lembram deles?). Os equalizadores irão moldar a resposta de freqüência do sistema de forma mais suave que os filtros, tendo sua ação limitada à cerca de +/- 15 dB, tipicamente.

Podemos dividir os equalizadores em:

1. Fixos, como os RIAA e NAB encontrados nos preamplificadores para cápsulas magnéticas e gravadores de fita cassete ou de rolo. São circuitos dedicados, incluídos nos equipamentos citados.
2. Variáveis, como os controles de tonalidade dos preamplificadores, os equalizadores gráficos e os paramétricos ou semiparamétricos.

Os fixos têm suas características predeterminadas pela aplicação e não devem ser alterados.

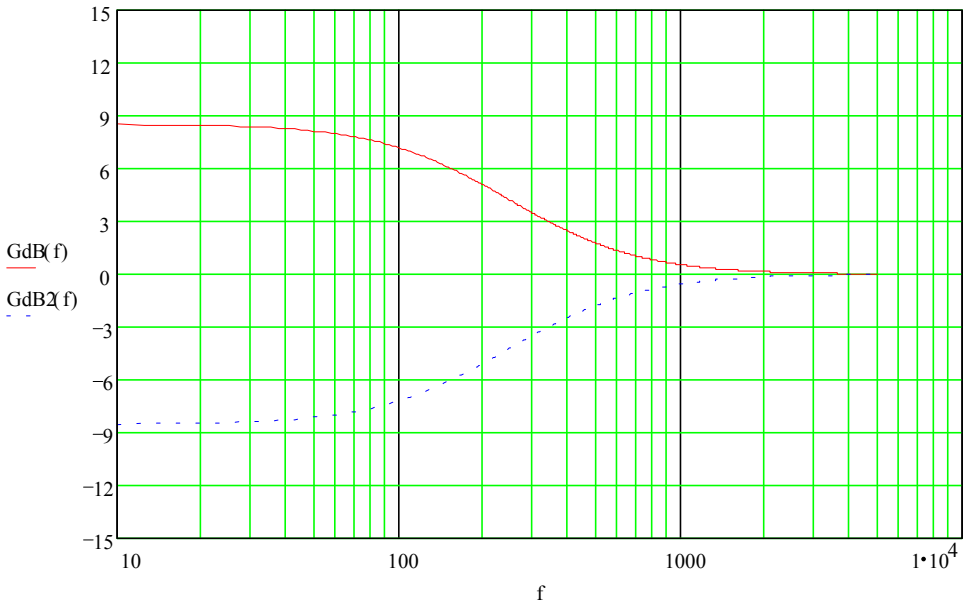
Os variáveis são as nossas ferramentas de trabalho para buscar a sonoridade que desejamos em um sistema de som e conseguir o máximo de ganho antes da microfonia (realimentação acústica).

Vamos analisar os diferentes tipos de equalizadores variáveis:

a) Controles de Tonalidade

São a configuração mais simples de equalização e podem ter apenas dois controles, um para graves (baixas freqüências), atuando em torno de 100 Hz, e outro para agudos (altas freqüências) atuando em torno de 10 kHz, cada controle permitindo uma variação de ganho entre + 15 e –15 dB nas freqüências nominais e acima ou abaixo destas, com uma queda suave de 4dB/oitava até cerca de uma década abaixo ou acima dos pontos de atuação, formando um degrau no gráfico da resposta de freqüência que lhes dá seu nome em inglês (shelving equalisers).

Fig.1 - Um controle de graves reforçando e atenuando 7 dB em 100 Hz



Alguns controles de tonalidade mais elaborados possuem um ou dois controles de médios, os quais atuam sobre uma faixa com freqüência central e largura de banda fixas, sendo também chamados de equalizadores tipo "peaking" ou "bell" por sua natureza passa ou rejeita banda.

b) Equalizadores gráficos

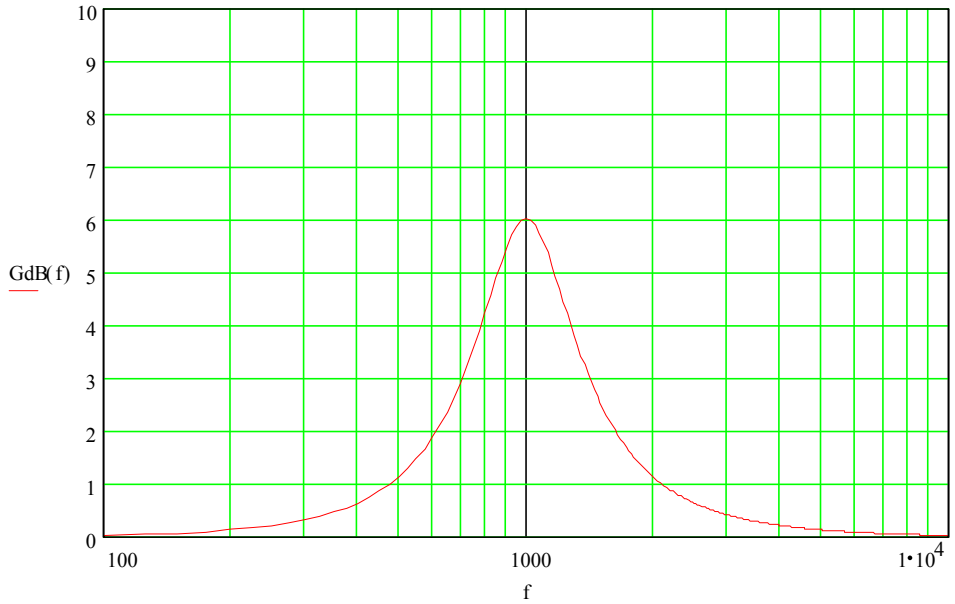
No passado, os pioneiros no uso de filtros de faixa estreita para controle da microfonia (realimentação acústica) construíam em campo conjuntos de filtros com indutores, capacitores e resistores sintonizados exatamente nas freqüências críticas das salas [1] com auxílio de alicate de corte e ferro de solda.

O desenvolvimento da técnica e da eletrônica de estado sólido trouxe ao mercado conjuntos de filtros passa ou rejeita-banda com largura de faixa de 1/1, 2/3, 1/2 ou 1/3 de oitava e freqüências centrais fixas, sendo 1/3 de oitava o melhor compromisso entre resolução, complexidade de ajuste (são 31 bandas para cobrir todo o espectro de áudio) e circuito.

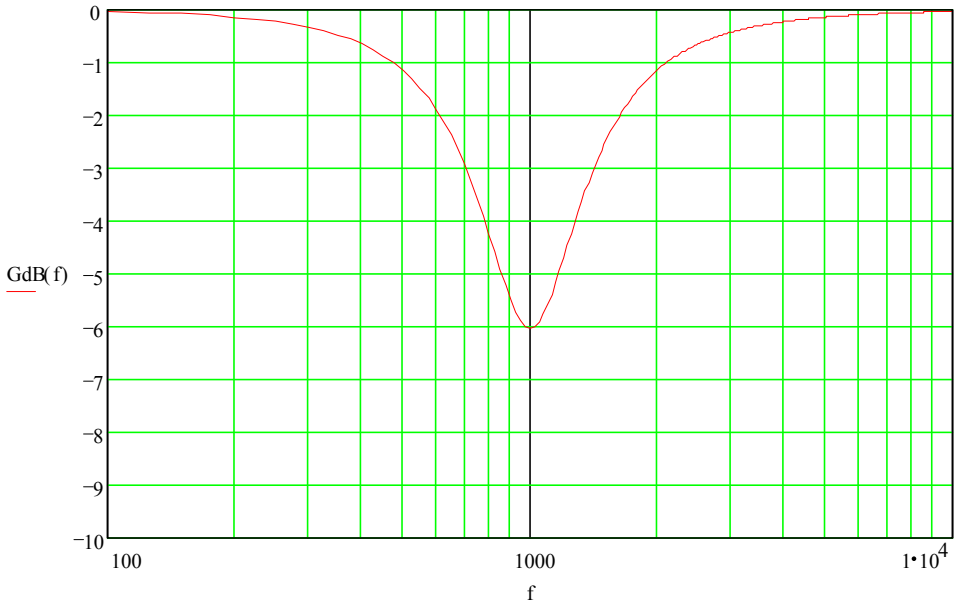
O ganho ou atenuação em cada banda pode ser ajustado através de um potenciômetro deslizante, por uma questão de facilidade de uso, tipicamente em uma faixa de +/- 12 ou +/-15 dB.

Como a posição dos controles deslizantes simula uma curva de resposta de freqüência, este tipo de equalizador passou a ser chamado de gráfico, embora a real resposta do equalizador se afaste bastante da sugerida pela posição dos controles no painel

Filtro equalizador passa-banda 1/1 oitava em posição de reforço 6 dB



Filtro equalizador rejeita-banda 1/1 oitava atenuando 6 dB



c) Equalizadores paramétricos

Estes equipamentos possuem seções com controles que atuam de forma independente sobre os três parâmetros principais de um filtro: sua freqüência central, largura de banda passante ou fator de seletividade Q e a quantidade de reforço ou atenuação aplicada ao sinal.

Equalizadores são ferramentas fundamentais para o técnico de áudio tanto para alinhar os sistemas em sua resposta de freqüência quanto para obter o timbre adequado de cada instrumento ou voz.

É preciso saber onde, quando e como usá-los para obter o máximo de rendimento de nossos sistemas de som.

Apresentei nos parágrafos anteriores os **equalizadores** de uma forma geral, agora vamos nos deter em dois tipos importantes, os **gráficos** e **paramétricos**.

Equalizadores gráficos

Conforme visto no artigo anterior, os equalizadores gráficos são conjuntos de filtros com freqüência central e largura de banda fixa, cuja atuação em dB é ajustada por controles deslizantes.

Costumam ser classificados por sua largura de banda em equalizadores de 1/3, 1/2, 2/3 ou 1/1 oitava. Para cobrir o espectro de áudio, disporemos de 31, 20, 15 ou 10 filtros igualmente espaçados entre si, correspondendo às resoluções citadas, com freqüências centrais padronizadas pela ISO.

O significado disto é que a razão entre as freqüências dos pontos de -3 dB (BW_{-3}) dos filtros do equalizador será igual a $2^{1/3}$= 1,26 ou $2^{1/2}$= 1,41ou 2 conforme o caso.

Os filtros usados nos equalizadores são simétricos em relação à sua freqüência central, a qual será sempre a média geométrica de f_1 e f_2 e teremos metade da largura de banda entre f_1 e f_0 e entre f_0 e f_1. Estes filtros também são chamados de filtros com largura de banda percentual constante.

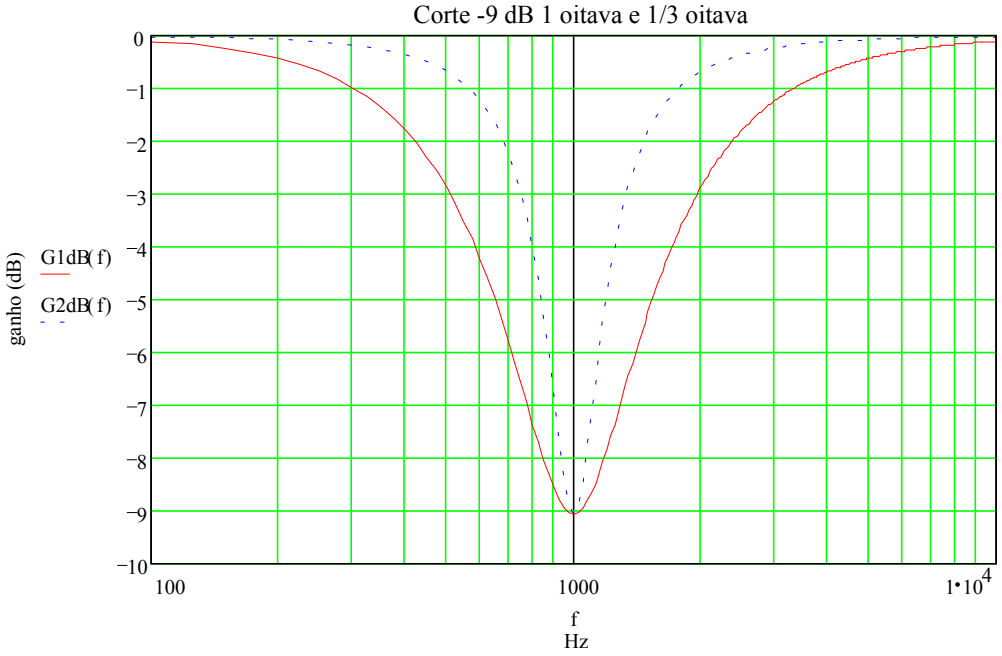
Por exemplo:

Um filtro com f_0 = 1kHz e BW_{-3} = 1 oitava teria f_1 e f_2 (pontos de -3dB) em 707 e 1414 Hz aproximadamente, de forma que f_2/f_1 = 2 (1 oitava), e f_1/f_0 = 0,707 = 1/ $2^{1/2}$ assim como f_2/f_0 = 1,414 = $2^{1/2}$. A largura da faixa de passagem (em Hz) será de 707 Hz, neste caso. Para um filtro com f_0 = 2kHz, os pontos seriam em 1414 e 2828 Hz mantendo a mesma porcentagem de f_0, mas com largura em Hz de 1414 Hz.

Um filtro com f_0 = 1kHz e BW_{-3} = 1/3 oitava teria f_1 e f_2 (pontos de -3dB) em 891 e 1122 Hz aproximadamente, de forma que f_2/f_1 = $2^{1/3}$ (1/3 de oitava). Neste caso, a largura de faixa (em Hz) será de 231 Hz.

Vejam na figura 1 a simulação do efeito de um filtro de 1 oitava (linha contínua) comparada com o de outro com 1/3 de oitava (linha pontilhada), ambos cortando 9 dB na freqüência de 1 kHz.

Fig.1



Observe que o filtro de 1 oitava já atenua 3 dB em 500 Hz e o de 1/3 de oitava faz o mesmo em cerca de 750 Hz. Fica clara a necessidade do uso de filtros de largura estreita de banda para atacar ressonâncias sem afetar componentes importantes do sinal musical.

Uma característica importante nos equalizadores gráficos será a existência ou não de variação no Q dos filtros em função da atuação dos controles, isto é, se a largura de banda permanece a mesma para diferentes níveis de atuação (por exemplo: -3,-6, -9 ou -12 dB). Os chamados equalizadores de Q constante, cujo Q não se altera conforme a atuação dos controles (reforço ou atenuação), permitem uma atuação mais precisa e previsível [2], sendo preferidos para uso em conjunto com analisadores de espectro e ruído rosa* e no combate a microfonia em situações críticas. Existem alguns projetos já clássicos que não tem Q constante mas cuja atuação é considerada mais adequada ou "musical" para obter-se o timbre desejado sem instrumentos de medição. Numa instalação fixa, talvez o ideal seja usar um equalizador de Q constante alinhado durante a instalação e fora de alcance do operador, complementado por um tradicional para timbrar o sistema e um paramétrico capaz de inserir filtros de 1/6 ou 1/12 de oitava para obter-se o máximo de ganho antes da microfonia.

Outra característica importante será a forma de combinarem-se duas ou mais seções de filtro, combinação esta que deve gerar uma ondulação na resposta de freqüência menor que 1 dB.

* ruído rosa é um sinal de teste que tem energia constante por largura percentual de banda constante.

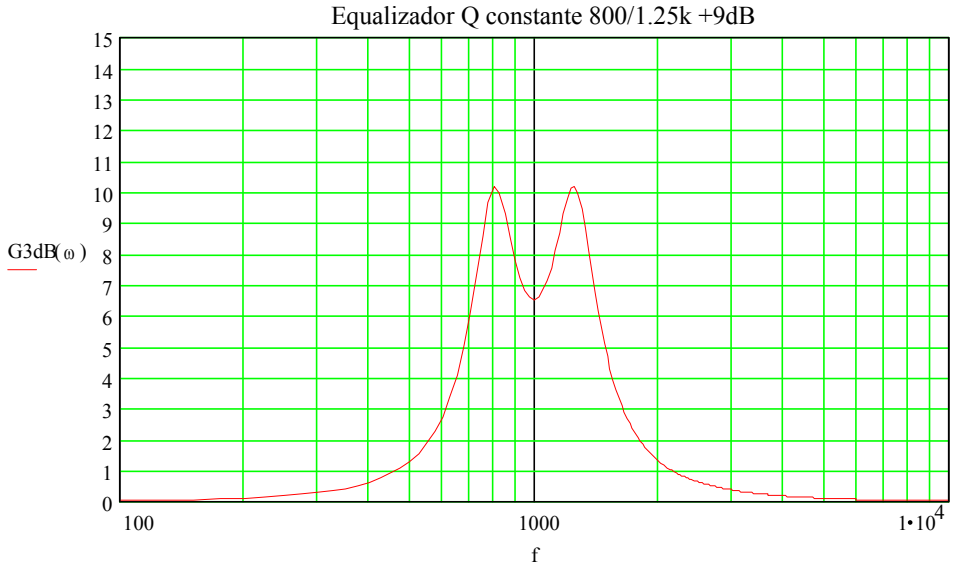
Os equalizadores são um dos pontos cruciais de um sistema de áudio, e sua correta escolha e operação podem definir o sucesso no uso do mesmo.

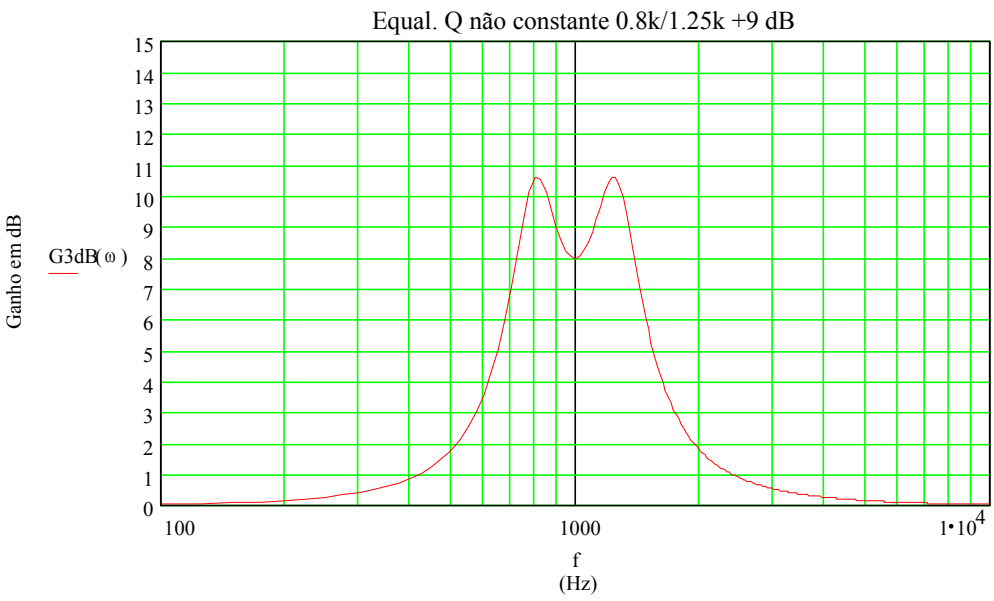
Equalizadores Gráficos - final

Falamos anteriormente sobre os equalizadores gráficos de Q constante e suas vantagens no alinhamento de sistemas em conjunto com analisadores de espectro de 1/3 de oitava.

Vamos observar agora o que acontece quando usamos dois filtros seja em bandas adjacentes ou intercaladas.

Primeiro, dois filtros, um em 800 Hz e outro em 1,25 kHz, acentuando 9 dB na situação de Q constante e não constante.





Podemos observar que a atuação de dois controles alternados afeta a banda intermediária de forma considerável, mais ainda para o caso do Q não constante.

Esta degradação da largura de banda pode ser pior em pequenas atenuações ou reforços, no caso dos equalizadores de Q não constante.

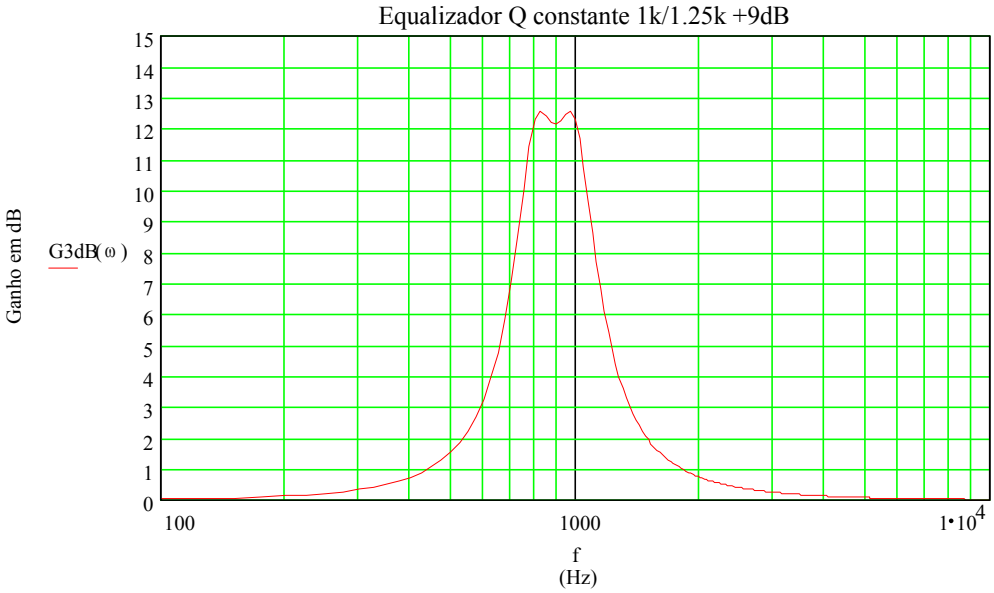
Combinar ou Interpolar?

É muito importante saber como se somam as atuações de bandas vizinhas.

Duas ou mais seções devem se combinar com um mínimo de ondulação. Os filtros que se comportam desta forma são chamados de **combinantes**. Os projetos de Q não constante conseguem boa combinação, mas os problemas de variação da largura de banda em função do ganho persistem.

Os equalizadores de Q constante permitem a formação de pequena ondulação (ripple) na curva resultante da atuação em dois controles vizinhos e isto não é muito desejável, pois ao atuarmos em dois controles vizinhos, muitas vezes queremos atingir uma freqüência intermediária, mantendo o filtro resultante com a mesma largura de banda. Os projetos que realizam um tipo de filtro que satisfaz esta condição são chamados de **interpolantes** e combinam as vantagens de um projeto de Q constante com a possibilidade de atuarmos entre as freqüências padrão ajustando duas bandas vizinhas.

Podemos observar nos gráficos abaixo a atuação de dois controles, em 800 Hz e 1kHz, reforçando 9 dB.



Conclusão Final - Equalizadores Gráficos

Os Equalizadores gráficos são ferramentas fundamentais para o técnico de áudio, mas devemos conhecer suas características em profundidade para aplicá-los corretamente e alcançar os resultados desejados com rapidez.

Equalizadores Paramétricos

Estes são os equalizadores mais flexíveis que dispomos para nosso trabalho, aqui poderemos escolher a quantidade de reforço e atenuação, a freqüência central de atuação e a largura de banda dos filtros, ou seja temos acesso a todos os parâmetros que descrevem o equalizador.

Os equipamentos possuem de duas a doze seções com três controles:

- Ganho, calibrado em dB e com atuação de +/- 15 ou 20 dB
- Freqüência, em Hz ou kHz
- Q ou BW (bandwidth), usualmente calibrado em frações de oitava

Para usá-los para eliminar uma ressonância por exemplo, pode-se estabelecer inicialmente um valor não muito estreito para o BW (1/2 ou 2/3 de oitava), ajustar o ganho para -6 ou - 9 dB, variar a freqüência até localizar a região ofensiva e aí então ajustar o Q ou BW de forma a eliminar apenas a freqüência ou freqüências indesejáveis.

Ref.

1 - Davis, Don; Davis, Carolyn; Sound System Engineering; 2ª ed., 1987, SAMS Books.

2 - Cysne, L. F. O. ; Áudio Engenharia e Sistemas, H. Sheldon ed.,1990.

3 - Equalizadores Gráficos de Q Constante; Rane Note 101; Bohn, Dennis; Pennington, Tony; Revista Backstage nº 60

Para entender os gráficos

Apresentamos a resposta de freqüência dos filtros exemplo em gráficos com o ganho em **dB** (decibéis) no eixo dos y e a freqüência em Hz, de forma logarítmica, no eixo dos x. O uso de escalas logarítmicas como o decibel, que lineariza a divisão do eixo dos y, ou a divisão logarítmica do eixo dos x, permite comprimir em um espaço aceitável uma faixa grande de freqüências e de variações de ganho ou nível de sinal, tal como encontramos no áudio, e ajusta-se à forma também logarítmica com que percebemos as variações de freqüência e nível sonoro.

A resposta de freqüência de um equipamento é levantada aplicando um sinal senoidal com amplitude constante na entrada do mesmo e medindo a variação da amplitude de saída, obtida ao variarmos a freqüência do sinal de entrada. O resultado será dado em dB, com relação à amplitude de entrada.