

Sons Harmônicos

Esse assunto é extenso e bastante complexo, sendo objeto de estudo de diversos cursos especializados e de uma vasta literatura no campo da física e da matemática. Como esse não é nosso foco, trataremos de maneira menos técnica mas com caráter elucidativo, levando os conceitos essenciais e suficientes para um curso básico de teoria musical.

O SOM DOS INSTRUMENTOS

Um instrumento musical que dependa da vibração de corda, de madeira, de metal etc, ao emitir o som correspondente a uma única nota musical, esse som é, na verdade, composto por um conjunto de outros sons simultâneos.

NOTA FUNDAMENTAL

Desse conjunto de sons simultâneos, o que é mais bem identificado é o som da nota principal ou também chamada de nota fundamental.

HARMÔNICOS OU SOBRETONS

Os demais sons que compõe esse conjunto de sons simultâneos são chamados de sons harmônicos ou de sobretons. Os sons harmônicos são os múltiplos inteiros obtidos a partir do som correspondente à nota fundamental. Por exemplo: Uma nota "F" emitida, tem como harmônicos: 2F, 3F, 4F e assim por diante. O harmônico 1F é a própria fundamental. O som da nota fundamental (F) é o som mais audível desse conjunto e os sons harmônicos tem intensidade menor, diminuindo gradativamente à medida que o fator de obtenção dos múltiplos aumente. Como mostra a tabela abaixo:

NOTA	HARMÔNICO	INTENSIDADE
F	fundamental	a de maior intensidade
2F	primeiro harmônico	intensidade menor que F
3F	segundo harmônico	intensidade menor que 2F
4F	terceiro harmônico	intensidade menor que 3F

Para ouvidos menos treinados, os sons harmônicos podem não ser identificados, mas podem ser sentidos, levando o ouvinte a notar algo diferente naquilo que se está ouvindo.

DESARMÔNICOS

Os múltiplos não-inteiros (fatores diferentes de 1, 2, 3, 4 etc) são chamados de parciais ou sobretons desarmônicos. O fator de obtenção das harmônicas e parciais é que conferem timbres diferentes para os instrumentos (apesar de não serem comumente detectados por um ouvido humano não treinado), e são as trajetórias separadas dos sobretons de dois instrumentos tocados em um intervalo que permitem a percepção de seus sons como separados. Os sinos possuem parciais perceptíveis mais claramente do que a maioria dos instrumentos.

OBTENDO HARMÔNICOS

Em muitos instrumentos musicais, é possível se produzir harmônicas superiores sem a nota fundamental estar presente. Em um caso simples, como em uma flauta doce, isto tem o efeito de elevar a nota em uma oitava; porém em casos mais complexos, outras variações também podem ocorrer. Em alguns casos isto também modifica o timbre da

nota. Este é parte do método normal para a obtenção de notas mais altas nos instrumentos de sopro.

Num instrumento de cordas, se beliscarmos uma delas com um dedo da mão direita enquanto tocamos levemente (sem pressionar) com um dedo da mão esquerda nessa mesma corda em determinados pontos diferentes (correspondendo aos harmônicos), podemos ouvir distintamente o harmônico correspondente, porque os outros harmônicos assim são eliminados ou, pelo menos, sua intensidade é consideravelmente diminuída.

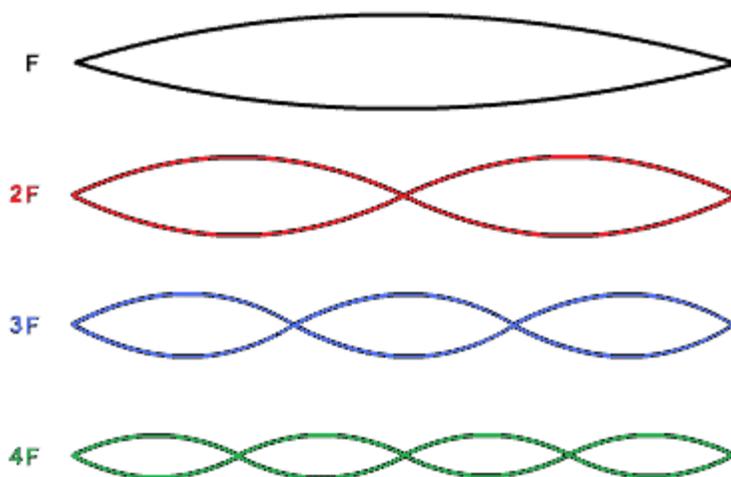
RELAÇÃO DE HARMÔNICOS

Os harmônicos podem ser utilizados para se verificar a afinação de um instrumento. Por exemplo: tocando-se levemente um ponto na metade da corda mais alta (a que produz sons mais agudos) de um violoncelo, produz a mesma frequência que um toque na segunda corda mais alta em um ponto localizado em um terço da corda.

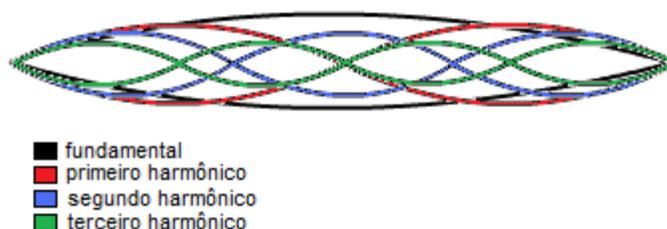
UM POUCO DE HISTÓRIA

Desde a antiguidade, muitas civilizações perceberam que um corpo em vibração produz sons em diferentes frequências (harmônicas). Os gregos há mais de seis mil anos já estudavam este fenômeno através de um instrumento experimental, chamado de monocórdio. Os textos mais antigos de que se tem conhecimento sobre o assunto foram escritos pelo filósofo e matemático grego Pitágoras, aproximadamente na mesma época em que os chineses também realizavam pesquisas com harmônicos através de flautas.

Pitágoras percebeu que ao colocar uma corda em vibração ela não vibra apenas em sua extensão total, mas forma também uma série de pontos, que a divide em seções menores, que vibram em frequências mais altas que a fundamental. Logo se percebeu que se formam pontos que dividem a corda em duas partes iguais, três partes iguais e assim sucessivamente. A figura abaixo mostra os pontos das quatro primeiras frequências de uma série.



Para facilitar a compreensão eles são mostrados separadamente, mas em uma corda real, todos se sobrepõem, gerando um desenho complexo, semelhante à forma de onda do instrumento. Como visto na figura a seguir.



Se colocarmos o dedo levemente sobre um dos pontos, provoca a divisão da corda em seções menores e tornando as divisões mais visíveis. Esta experiência pode ser feita com um violão, ao pousar um dedo levemente sobre o 12^o traste e dedilhar a corda. Isso divide a corda em duas seções iguais e permite ver duas divisões distintas em vibração.

Pela relação entre os comprimentos das seções e as freqüências produzidas por cada uma das subdivisões, pode-se facilmente concluir que a corda soa simultaneamente, na freqüência fundamental (F) e em todas as suas freqüências múltiplas inteiras (2F, 3F, 4F, etc.). Cada uma dessas freqüências é um harmônico. A intensidade do som da nota produzida pela corda é determinada pela freqüência fundamental. As demais freqüências, embora ouvidas, não são percebidas como alturas discretas, mas sim como parte do timbre característico daquilo que gerou o som.

O PRINCÍPIO DA SÉRIE HARMÔNICA

O conhecimento da série harmônica permitiu à maior parte das civilizações do mundo, escolher, dentre todas as freqüências audíveis, um conjunto reduzido de notas que soasse de maneira agradável aos ouvidos.

Pitágoras percebeu várias características interessantes, dentre as quais, que esta relação de freqüências, que hoje chamamos de oitava, é percebida como neutra (nem consonante nem dissonante).

Pitágoras observou também que o segundo harmônico (a nota com o dobro da freqüência da fundamental) soa como se fosse a mesma nota, apenas mais aguda. Já o próximo intervalo, entre o segundo e o terceiro harmônico, soa fortemente consonante. Este é o intervalo que hoje é chamado de **quinta**.

Os intervalos seguintes obtidos pela sucessão de freqüências da série, são os de **quarta**, **terça maior** e **terça menor**, sucessivamente menos consonantes.

Ele também percebeu que intervalos produzidos por relações de números muito grandes, soam fortemente dissonantes.

Todos estes intervalos fazem parte dos modos da música grega e da escala diatônica moderna. O intervalo de **quinta**, sobretudo, por ser o mais consonante da série, foi utilizado como base para a construção da maior parte das escalas musicais conhecidas e utilizadas hoje.

Como dissemos no início, o assunto é muito mais extenso e complexo do que o apresentado, contudo julgamos ser este conteúdo suficiente para a continuidade de nosso estudo.

Sugerimos aos interessados em aprofundar-se, uma pesquisa simples na internet ou em livros de música dedicados a esse assunto, livros de física sobre acústica e mais propriamente de eletrônica. A literatura é bastante extensa, mesmo em português.

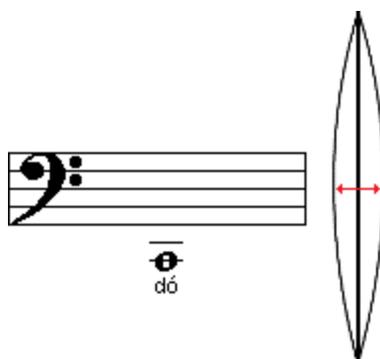
Séries harmônicas e numeração das oitavas

Como vimos no artigo anterior, a formação do som musical não é simples, e sim composto. A partir do som principal, soam sons secundários, quase imperceptíveis, que tem um papel fundamental na música, principalmente na formação do timbre tanto da voz quanto dos instrumentos musicais.

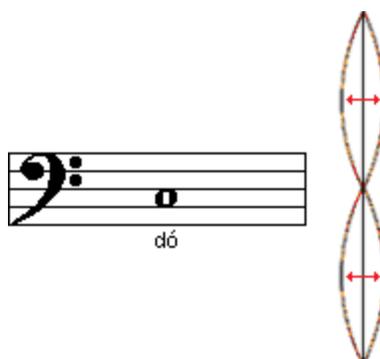
Revolvendo; O som principal é chamado de som fundamental e os sons secundários que o acompanham são os seus sons harmônicos.

COMO FUNCIONAM OS HARMÔNICOS

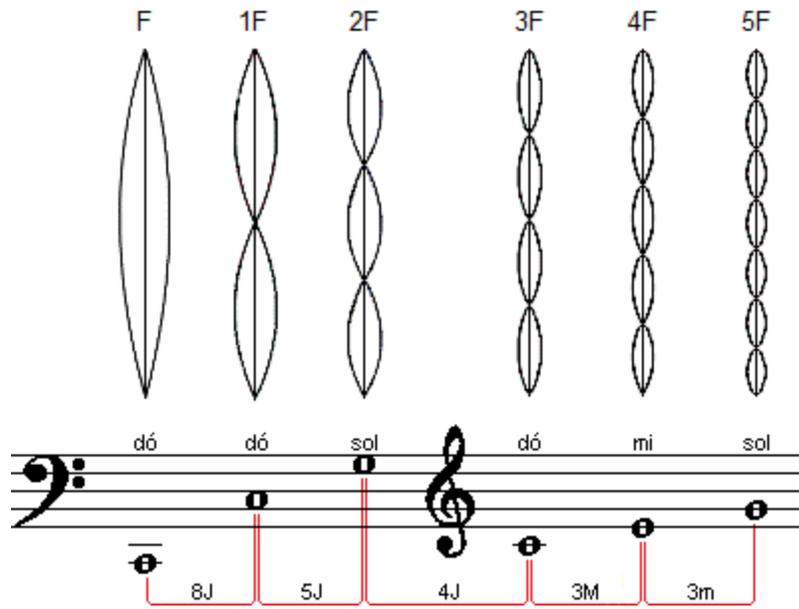
Imaginemos que uma corda produza o som correspondente à seguinte nota dó.



Ao mesmo tempo em que essa corda vibra emitindo o som acima, ele também produz uma vibração duas vezes mais rápida e que gera um novo som correspondente a um dó uma oitava acima do primeiro, como vemos na figura abaixo.



Ao mesmo tempo em que essa corda vibra por inteiro e em duas metades, vibra também em 3 terços, 4 quartos, 5 quintos,... e cada uma dessas vibrações secundárias produz um novo som harmônico e assim consecutivamente, até que as forças físicas façam com que a corda pare de vibrar.



Faça uma experiência. Pegue qualquer instrumento de cordas: um violão, uma guitarra, uma viola, um cavaquinho, um violoncello, um contrabaixo, um bandolim, uma harpa ou outro semelhante e faça vibrar qualquer uma de suas cordas e observe os movimentos dela. Perceba que no início, enquanto há mais energia, a corda vibra em movimentos maiores produzindo som de maior intensidade e à medida em que vai perdendo energia, os movimentos se tornam menores, menos amplos, mais rápidos e de menor intensidade. Enquanto a corda vibrar estará emitindo sons.

Quando se movimentam sequencialmente várias cordas, os sons fundamentais se juntam e os harmônicos se fundem formando a música que ouvimos. O conhecimento das escalas e dos campos harmônicos permite que os autores se aproveitem deles para criar suas obras, despertando assim, os sentimentos desejados, que a soma desses sons provocará nos ouvintes.

Nos instrumentos de sopro não é diferente. Apesar de não haver a corda para vibrar, podem existir palhetas ou membranas, ou até mesmo os lábios e as cordas vocais que fazem o mesmo efeito. No caso dos instrumentos eletrônicos, recursos técnicos são utilizados para simular a emissão de harmônicos, da mesma forma como um instrumentos acústico.

SÉRIE HARMÔNICA

Alguém com uma percepção musical desenvolvida (ouvido treinado), é capaz de identificar até o 6º ou 7º harmônicos. A harmonia tradicional parou no 5º harmônico e as escalas naturais diatônicas envolvem apenas os números primos 2,3 e 5, mas atualmente, há quem tente ir mais longe.

Como exemplo de uma série harmônica, só para variar, vamos utilizar a da nota dó.

dó dó sol dó mi sol sib dó ré mi fá# sol lab sib si dó

8J 5J 4J 3M 3m 3m 2M 2M 2M 2M 2m 2m 2M 1aum 2m

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16

fundamental harmônicos

Apesar de termos utilizado a nota dó como exemplo, qualquer nota quando emitida gera seus próprios harmônicos, possuindo portanto sua própria série harmônica *proporcionalmente* idêntica. Para construir qualquer uma delas, aplica-se sempre a seqüência de intervalos conforme vemos abaixo.

8J 5J 4J 3M 3m 3m 2M 2M 2M 2M 2m 2m 2M
 1aum 2m Confira na série harmônica da nota fá, abaixo.

fá# fá# dó# fá# lá# dó# mi fá# sol# lá# si#

8J 5J 4J 3M 3m 3m 2M 2M 2M 2M

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

fundamental harmônicos

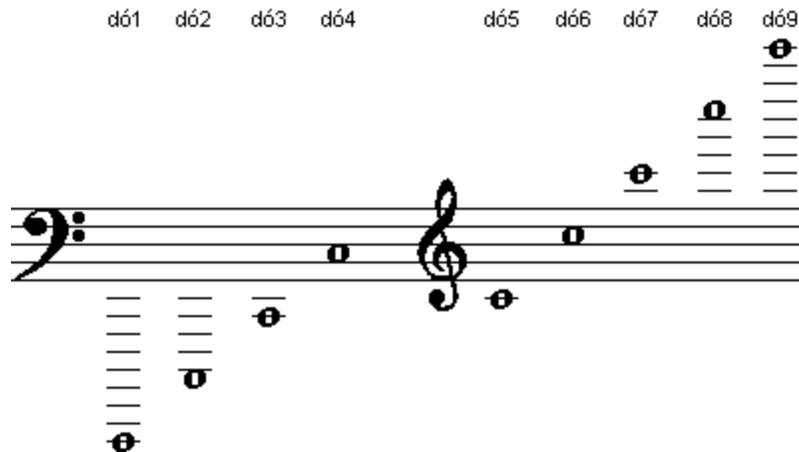
Série harmônica da nota fá#

O conjunto de sons harmônicos produzidos por um instrumento é que são responsáveis pelo seu timbre, e o mesmo conceito aplica-se à voz.

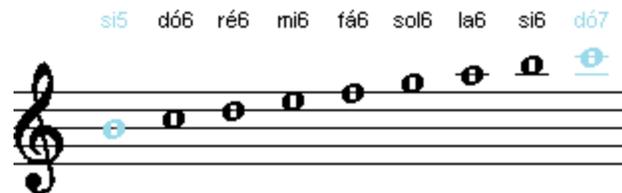
Pode-se dizer então que o timbre depende da extensão das séries harmônicas dos sons fundamentais emitidos e também dos harmônicos que mais se sobressaem nas séries harmônicas, de um dado instrumento.

NUMERAÇÃO DAS OITAVAS

Para que sejam identificados com mais precisão os sons musicais, as oitavas são numeradas tomando como base... a nota dó.



Para que sejam numeradas, as oitavas sempre iniciam pela nota dó. Todas as notas pertencentes à mesma oitava recebem a mesma numeração. Por exemplo:



CONCLUINDO

Como dissemos, esse assunto é muito extenso e é alvo de longos períodos de estudo e dedicação, mas acreditamos que com este artigo ele tenha se tornado mais simples de ser compreendido.

A série harmônica é muito importante na criatividade musical, tanto na autoria, quanto na improvisação.

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

1. Em uma folha pentagramada, faça as séries harmônicas dos 12 semitons até o 11º harmônico, respeitando os mesmos intervalos;
2. Em outra folha pentagramada, refaça o exercício anterior, sem consultar o exercício já feito;
3. Repita os exercícios anteriores várias vezes em dias diversos, até que tenha em mente como se formam as série harmônicas, pois você irá usá-las!

Bons estudos.

Livros mencionados na bibliografia
Webmaster - saibamusica.com.br

A matemática na emergência do Temperamento

O Temperamento no sentido geral significa uma escala em que todos ou quase todos os intervalos apresentam-se ligeiramente imprecisos, porém não distorcidos. Acabam por valorizar determinados intervalos em detrimento de outros, no sentido de que aos primeiros correspondem mesmas relações de frequência diferentemente dos restantes.

O temperamento pitagórico se apresenta como o temperamento mais antigo utilizado no Ocidente. No Renascimento e no início do Barroco, prosperaram temperamentos desiguais em que se priorizavam as terças maiores naturais. Surgiam ainda outros temperamentos nesse período que se mostravam superados a medida que a música se estendia as todas as tonalidades.

No final da Idade Média e início do Renascimento, a música enveredou por caminhos que intimavam seu desprendimento de concepções melódicas rumo à conquista de um caráter principalmente harmônico. A trajetória trilhada pela música ocidental conduzia a música à liberdade de mosulação não apenas para tonalidades próximas, mas para distintos cenários tonais, ou seja, as composições de então, intimavam a liberdade de transposição de tonalidades.

O Temperamento não ocorreu como um processo repentino, mas se desenvolveu de diversas maneiras. No início do século XVI, como as tentativas de preencher intervalos naturais de maneira relativamente simétrica sempre se defrontavam em algum momento com a coma fatal (termo utilizado para referir-se ao pequeno resto que sempre ocorreria quando se tenta ajustar intervalos puros em um número inteiro de oitavas), obtendo-se perfeição harmônica apenas em intervalos restritos, dominava-se algum tipo de temperamento parcial especialmente nos instrumentos de tecla.

As gamas de Pitágoras e Zarlino possibilitavam a construção de escalas ligeiramente assimétricas incapazes, de responder inteiramente às necessidades culturais do final do Renascimento e início do Barroco, que intimaria, do ponto de vista das dificuldades supra-referidas, o estabelecimento de um suporte libertador para a música denominado temperamento igual.

Do ponto de vista matemático, o problema consistia em encontrar um fator f correspondente ao intervalo de semitom que após a multiplicar 12 vezes uma frequência f_0 correspondente a uma determinada nota, atingisse a sua oitava referente à frequência 2. Baseado na progressão geométrica – oitava = $2/1$; semitom = $2^{1/12}$ -, Euler pesquisou um sistema de afinação que permitiu aos compositores modularem para e de quaisquer dos 12 centros tonais (que correspondem às 12 notas da escala temperada – do, do# = reb, re, re# = mib, fa, fa# = solb, sol, sol# = lab, la, la# = sib, si) sem distorções geradas por intervalos correspondentes que apresentavam-se até então, assimétricos em diferentes escalas. Do ponto de vista matemático, o problema representava-se pela seguinte equação:

$$f_0.f.f.f.....f = f_0f^{12} = 2.f_0$$

Após algumas operações algébricas simples, não é difícil concluir que o valor de f deve assumir valor $2^{1/12}$.

Portanto, as notas desta escala possuem as seguintes relações de frequência com a nota inicial:

Dó	ré	mi	fá	sol	lá	si	dó
1	21/16	21/3	25/12	27/12	23/4	211/12	2

Neste ponto, caberia ainda levantar a questão de porque escolher 12 notas entre os 300 sons diferentes dentro de uma oitava possível de discriminar pelo ouvido humano treinado. Provavelmente, a divisão procedeu-se dessa maneira por respeito a uma certa continuidade à escala grega, cujo processo de construção – percurso de quintas – apresentava-se de tal maneira que o caminho aí delineado assumia, a menos de oitavas, máxima aproximação da nota inicial após 12 ciclos, referentes as 12 notas.

Percebemos assim que se a relação de frequências é simples, então, o som do intervalo correspondente é bonito, o que sugere naturalmente a dúvida a respeito da recíproca, bem como muitas outras discussões.