

Figura 5.2

### 3. Ondas Estacionárias e Série Harmônica

#### 3.1 Série Harmônica

Em cada nota emitida por um objeto, a frequência fundamental excita outros harmônicos, que dão origem à uma série de frequências, ou a *série harmônica*. (figura 5.3)

Esta série de frequências pode ser expressada no espectro na forma expressada na figura 5.4. Nota-se que, na medida que a frequência dentro de uma série aumenta, sua intensidade (amplitude) varia. Esta variação é de maior ou menor grau, o que dá a característica timbrística de cada instrumento. (figura 5.5) Uma nota *lá* soada em uma flauta, por exemplo, será diferente do mesmo *lá* em um violino.

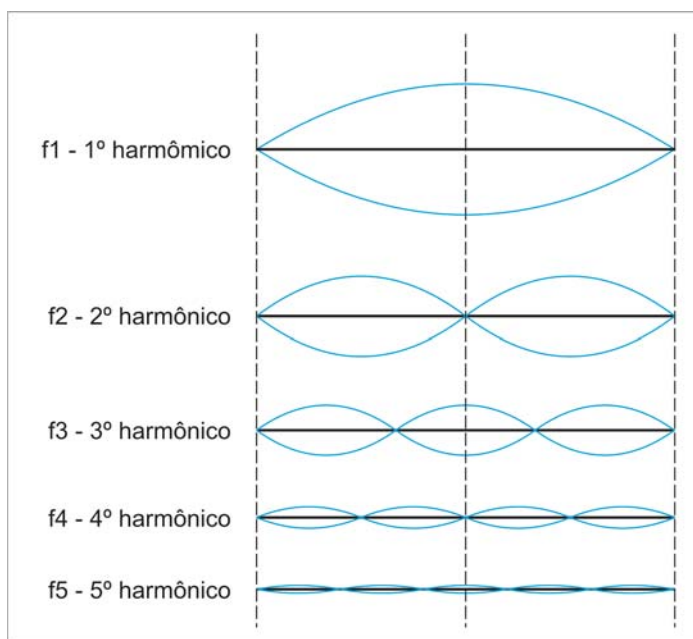


Figura 5.3 - Subdivisão de harmônicos

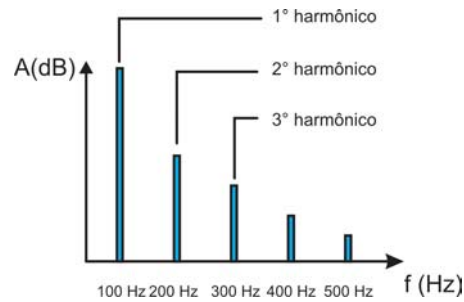


Figura 5.4 - Análise de espectro: série harmônica

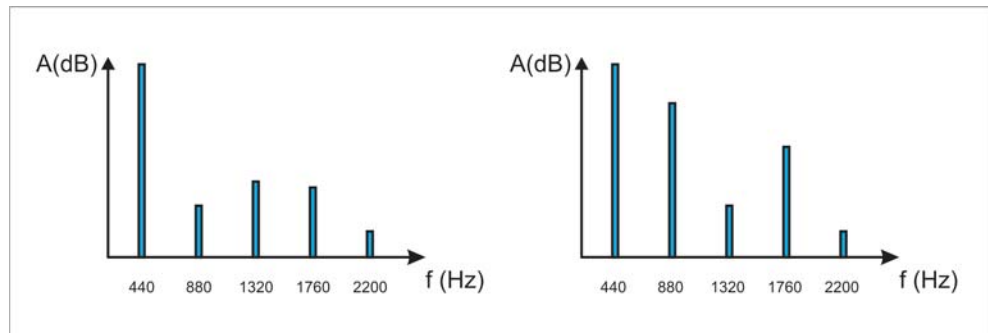


Figura 5.5 - Diferentes combinações de amplitudes de harmônicos formam timbres diferentes.

Dado o valor (Hz) da primeira frequência, ou a fundamental, o próximo harmônico, ou segundo harmônico, será duas vezes maior que a fundamental. O terceiro harmônico será 3 vezes maior que a fundamental, e assim por diante.

Oitava é nome dado à relação entre duas notas quando estas apresentam o dobro da frequência uma da outra. Em uma série harmônica (100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000Hz, etc.), as notas que constituem oitavas entre si são: 100-200-400-800Hz, 300-600Hz e 500-1000Hz. Diz-se que a música é uma linguagem universal, mas de fato um dos poucos fenômenos realmente universais é a relação de oitava entre duas notas.

Harmônico	Intervalo Musical	Proporção	Frequência (exemplo)
1	Fundamental	1:1	Dó
2	Oitava	1:2	Dó2
3	Quinta	1:3	Sol
4	Quarta	1:4	Dó3
5	Terça Maior	1:5	Mi

Figura 5.6 - Relação entre harmônicos

Apesar da série ser uma progressão aritmética, a relação entre os graus componentes da escala diatônica não é aritmética. A relação entre os harmônicos é mostrada abaixo (Figura 5.26). A terça menor só aparece na série harmônica quando chega no 19º harmônico.

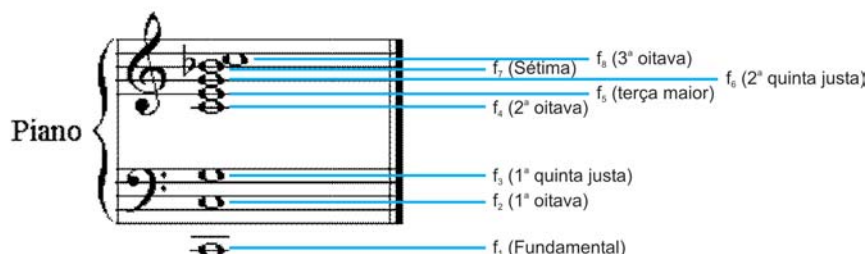


Figura 5.26 - A série harmônica e a escala diatônica

A terça menor só aparece na série harmônica quando chega no 19º harmônico.

Este fenômeno ocorre porque de uma oitava para outra a relação entre as frequências é de 2 para 1, em progressão geométrica (Figura 5.27).

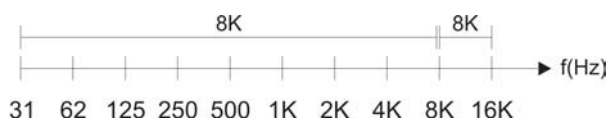


Figura 5.27

O professor e compositor alemão H. J. Koeureutter, que trouxe a música dodecafônica para o Brasil, carrega a teoria de que a evolução da história da música segue a série harmônica.

A escala já está graduada logaritmicamente porque a sensação das oitavas é logarítmica. A intensidade da série harmônica vai diminuindo ao passar de uma frequência a outra. (Figura 5-28).

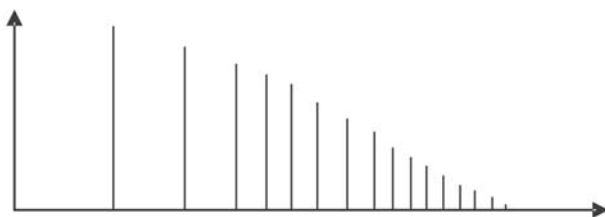


Figura 5.28

A coexistência de várias frequências em um mesmo intervalo de tempo, produzidas pela mesma fonte sonora, implica na formação de *ondas complexas*, resultantes da somatória de harmônicas senoidais simples, como pode-se ver pela decomposição de ondas complexas através de análise de Fourier (Figura 5-29).

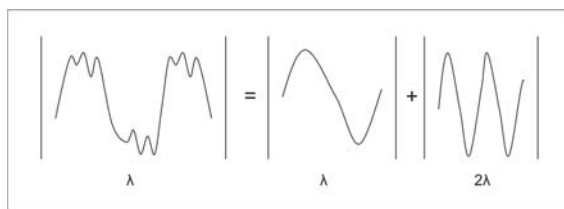


Figura 5.29

### 3.2 Ondas Estacionárias

Às vezes, como resultado de seu tamanho e geometria, uma sala parece “preferir” acomodar a reverberação de certas frequências. Isso resulta no reforço e permanência de certos tons, quando normalmente deveriam cessar. Esse fenômeno é chamado de *coloração*, e pode causar a alteração do som natural.

A coloração é o resultado de ondas estacionárias ou ressonâncias da sala. São ondas cujas vibrações originais são reforçadas continuamente pelas próprias reflexões. Uma sala típica possui várias colorações em potencial. Num ambiente de captação sonora, isso deve ser eliminado. As ondas estacionárias podem se formar de muitas maneiras. No caso mais simples, uma onda sonora de baixa frequência ressoa entre duas paredes opostas de uma sala, continuamente reforçando sua amplitude pelo método de interferência construtiva, ou seja, cada reflexão é somada à anterior.

Esse tipo de onda estacionária é chamada de *modo axial* e ocorre em frequências cujo comprimento de onda é o dobro da distância entre as superfícies reflexivas. Assim, a onda estacionária mais grave que ocorre em uma sala possui um comprimento de onda duas vezes maior que a maior dimensão da sala.

Lembrando que a frequência é a diferença entre a velocidade em que ela se propaga (344 metros por segundo no ar) e o tamanho da onda ( $V/L$ ), uma corda omitirá uma onda com o dobro do seu tamanho real. (figura 5.7) Isto significa que sua frequência é a metade deste tamanho.

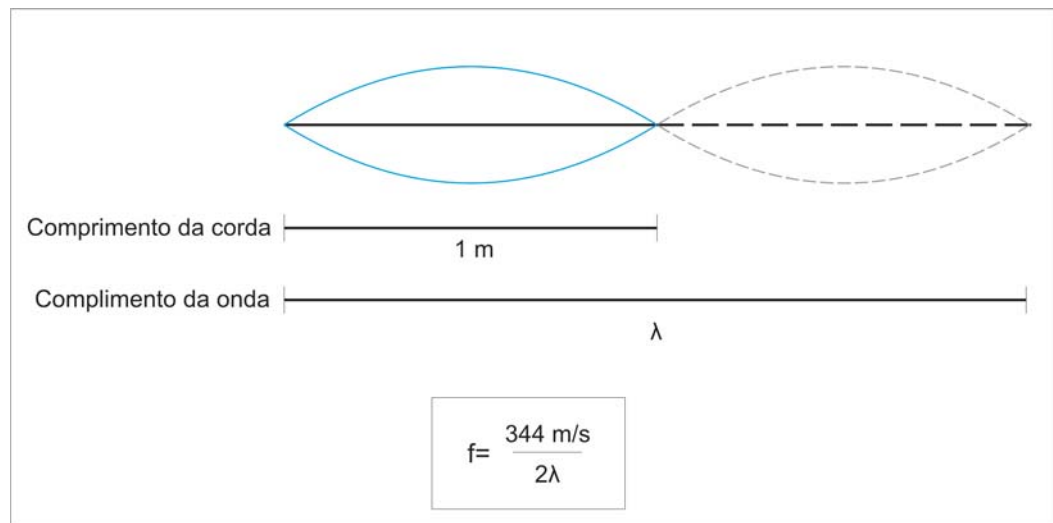


Figura 5.7 - Calculando modos axiais

Este mesmo conceito se aplica a uma sala, com paredes paralelas. Se a distância entre duas paredes é de 5 metros, a frequência fundamental de ressonância é 34,4 Hz. À partir desta fundamental, pode-se facilmente calcular a série harmônica, sendo:

$$f_2 = 68,8 \text{ Hz}$$

$$f_3 = 103,2 \text{ Hz, e assim por diante.}$$