

Técnicas de Gravação e Mixagem de Audio

Apostila 2

AC

Fundamentos do Som

1. Frequências

Pode-se dizer que o som, a priori, nada mais é que o movimento de ar quando ele se processa na forma de ondas, pela vibração das partículas. Essas ondas sonoras vibram em ciclos, também chamados de frequências, que são medidas pela quantidade de vibrações por segundo. Essa medida leva o nome de Hertz e é representada pela abreviação Hz. Por exemplo: 1Hz = 1 vibração por segundo.

O ouvido humano só é capaz de reconhecer frequências que estejam dentro do limite de 20 Hz a 20 KHz (K é abreviação de kilo, unidade que significa multiplicado por mil, no caso, 20000 Hz). O fato é que frequências abaixo de 20 Hz ou acima de 20 KHz não são sequer percebidas por nós e seriam, do ponto de vista da percepção humana, igual ao silêncio. O tamanho de uma onda sonora é medida em metros e tem como símbolo a letra grega λ (lambda). As frequências mais altas que podemos perceber estão perto de 2 metros e as mais baixas perto de 20 metros.

Notas musicais são, no campo da física e da engenharia, apenas frequências e são expressas como tal. Um exemplo seria o A = 440 Hz. No caso, significa que o nosso Lá é afinado em 440 ciclos por segundo. Em séculos passados o Lá era afinado em 432 Hz ou 430 Hz pois os instrumentos da época respondiam melhor à essa afinação. Um Lá, afinado em 440 Hz sendo tocado simultaneamente a um Lá, afinado em 432Hz é percebido como desafinação, ou seja, há uma diferença de 8 ciclos por segundo entre as duas notas que produzirá um vibrato longo com 8 ciclos por segundo.

2. Série harmônica

Com exceção da onda senóide (*sine wave*) produzida eletronicamente todos os sons musicais - e também os não musicais - encontrados na natureza são a combinação do som da frequência fundamental - a nota que soará com mais amplitude (volume) acrescido de sua série harmônica, que é uma sucessão de múltiplos da fundamental que aparecem décimos de segundos após o início do som, influenciando de maneira definitiva na percepção de qualquer som.

Quando percebemos um tom (uma nota musical definida) no som, dizemos que temos um som harmônico. Por exemplo, se tivermos uma onda sonora de fundamental medida em 100 Hz a sua série harmônica seria composta de múltiplos da fundamental:

100 Hz	200 Hz	300 Hz	400 Hz	500 Hz
1° Harmônico	2° Harmônico	3° Harmônico	4° Harmônico	5° Harmônico

Tabela 1 com os cinco primeiros harmônicos

Teoricamente a série harmônica é infinita mas como os harmônicos de um som - no qual percebemos claramente um tom - tem uma amplitude menor que a fundamental e cada próximo harmônico tem, na grande maioria dos casos, uma amplitude menor que o anterior, deixamos de perceber o som - e por conseguinte os harmônicos - após poucos segundos após cessar a emissão deste som. Além do mais, os harmônicos se misturam à nota fundamental – que tem maior amplitude – e o efeito é de um som cheio, com bastante harmônicos.

Os harmônicos seguem uma lógica musical que está associada à própria essência da harmonia, ou seja, da formação dos acordes. Tomemos o nosso A=440 Hz, e vamos montar a série harmônica dele até o sexto harmônico.

440 Hz	880 Hz	1320 Hz	1760 Hz	2200 Hz	2640
1° Harmônico	2° Harmônico	3° Harmônico	4° Harmônico	5° Harmônico	6° Harmônico
A4	A5	E6	A6	C#7	E7

Tabela 2 com os seis primeiros harmônicos

Podemos observar que os últimos três harmônicos da tabela acima formam uma tríade de A maior. Por essa razão não seria absurdo dizer que o sistema tonal ocidental se baseia em princípios da própria acústica e da série harmônica.

O formato da onda, juntamente com as características de amplitude da série harmônica de cada som produzido irá definir o que chamamos de timbre.

Quando um som não tiver as suas parciais nos múltiplos integrais que formariam a série harmônica (Fx_1 , Fx_2 , Fx_3 . etc) chamamos de série inarmônica e não percebemos neste som uma frequência definida – como uma nota musical. Chamamos esses sons de ruídos.

Em alguns instrumentos de sopro é possível obter harmônicos sem a presença da fundamental. Dessa maneira, conseguimos notas uma oitava acima nos instrumentos como flauta doce, flauta transversa, saxofone, etc. Ou podemos obter outros harmônicos que não a oitava no clarinete, oboé, etc.

A compreensão dos harmônicos é de suma importância para que possamos analisar as características de cada som musical. Os harmônicos, juntamente com os formatos de onda determinam todas as características dos sons usados e manipulados pelo homem na atividade musical.

Frequências acima de 20Khz, não percebidas pela grande maioria das pessoas são chamadas de frequências ultrasônicas. Aparelhos convencionais não são capazes de reproduzir essas frequências e elas portanto tem muito pouco uso para profissionais de áudio.

Já as frequências que se situam abaixo da fundamental denominamos de sub-harmônicos. Nesse caso, a fundamental é determinada pela frequência de maior amplitude, medida por um aparelho especial para determinar o espectro da onda. Todavia, podemos sinteticamente adicionar sub-harmônicos a um sinal de áudio obtendo efeitos interessantes, dando enorme *peso* ao sinal original.

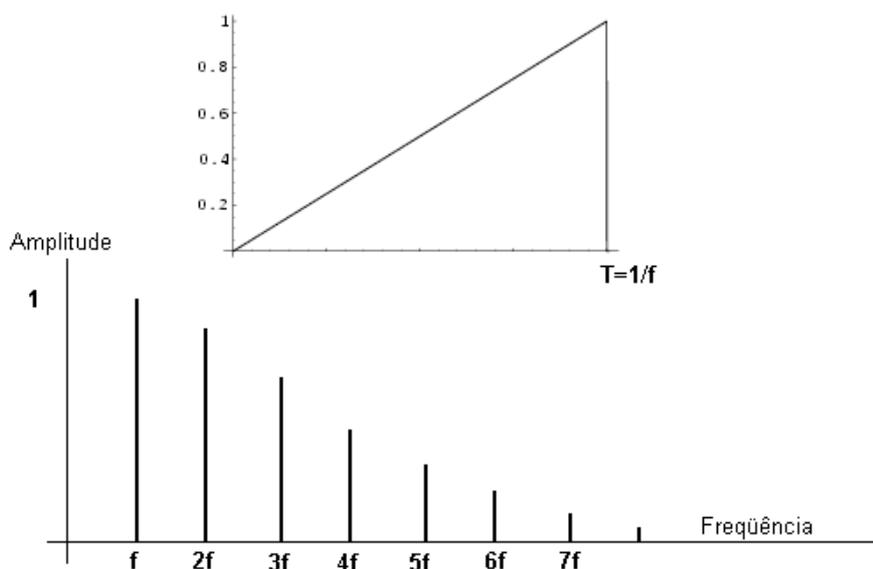
3. Formatos de onda

Para as ondas, podemos fazer um paralelo com as cores primárias para a luz, que seriam vermelho, verde e azul. A partir das misturas dessas cores obtemos as outras cores. No caso do som, pensamos em formatos de onda básicos, a partir das quais podemos criar ondas mais complexas.

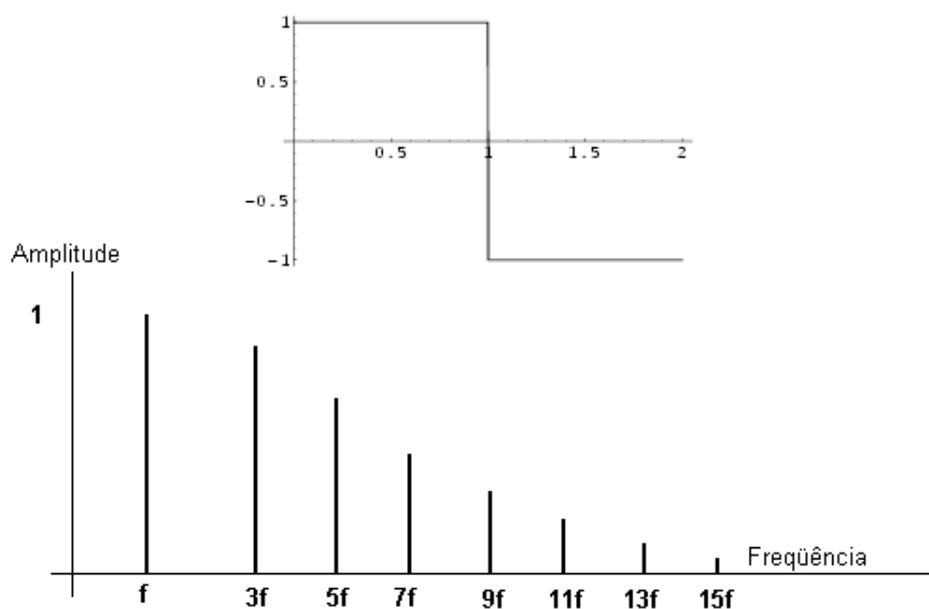
Existem basicamente 3 tipos de onda:

1. Onda senóide (*sine wave*) – é a onda mais elementar que existe. Teoricamente ela não tem parciais. Contudo, só é possível gerar uma onda senóide pura - sem parciais - eletronicamente.
2. Onda dente de serra (*sawtooth wave*) – é a onda que possui parciais pares e ímpares.
3. Onda quadrada (*square wave*) – é a onda com parciais ímpares.

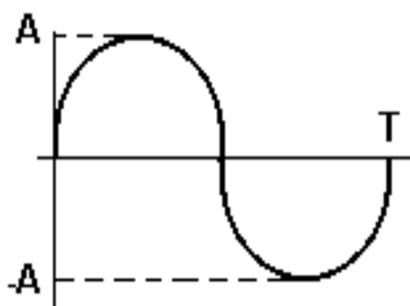
A onda dente de serra pode ser representada pelo seu conteúdo harmônico da seguinte forma:



E para uma onda quadrada:



Já a onda senóide:



Onde A = amplitude e T = tempo

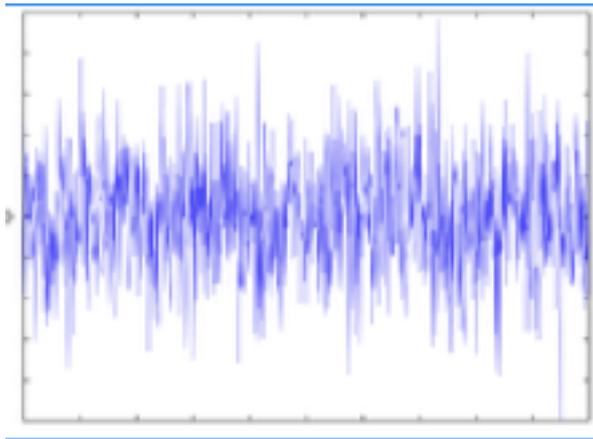
- *Noise* - Ruído

Os ruídos são extremamente importantes no universo do audio profissional. Podemos dizer que os ruídos são os sons onde não percebemos um *pitch* definido, ou seja, não identificamos uma frequência fundamental, são inarmônicos. Quando percebemos ruídos, que é claro, contém parciais, podemos dizer essas parciais são números múltiplos de grandezas aleatórias.

Assim como os sons harmônicos, os ruídos tem características distintas e aplicações específicas e muitos são percebidos por nós como sons específicos, como instrumentos de percussão - onde a grande maioria gera sons inarmônicos, ou em outros casos, sons naturais da própria natureza, como o ruído das ondas do mar, etc.

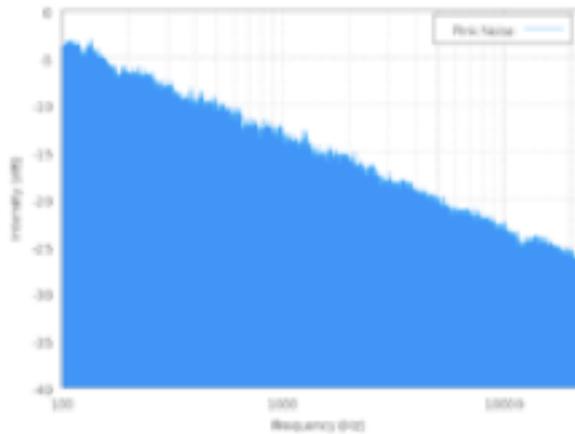
Os ruídos podem ter origem nos deslocamentos de ar - ruído produzido em um ambiente aberto ou fechado, onde sempre a fonte sonora está em contato direto com quem o percebe. Mas podemos ter também os estruturais, ruídos gerados por reflexões em partes da estrutura de um ambiente, como a passagem de um trem ou metrô, onde vibrações farão com que partes estruturais de um ambiente vibrem, produzindo um ruído neste ambiente.

Para profissionais de audio os ruídos tem algumas funções específicas como por exemplo, o ruído branco (*white noise*), que é assim chamado numa alusão às frequências da luz branca. Assim como a luz branca possui todas as frequências (por isso, quando decomparamos a luz branca obtemos todas as cores -arco-íris, prisma, etc), o *white noise* possui todas as frequências.



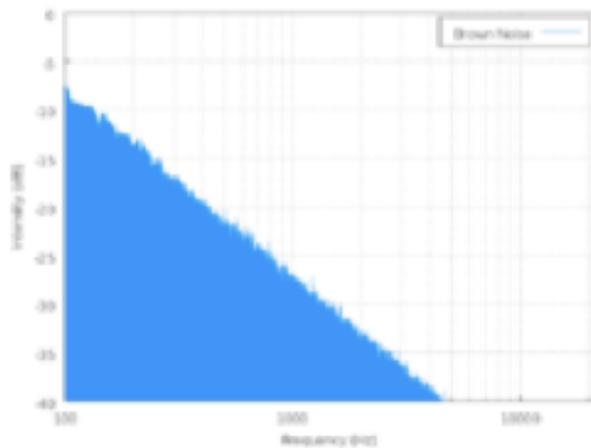
Espectro harmônico do *white noise* - onde temos verticalmente a representação da amplitude e horizontalmente de frequências

Temos também o ruído rosa (*pink noise*) onde a cada oitava há um decréscimo da metade da energia (3db).



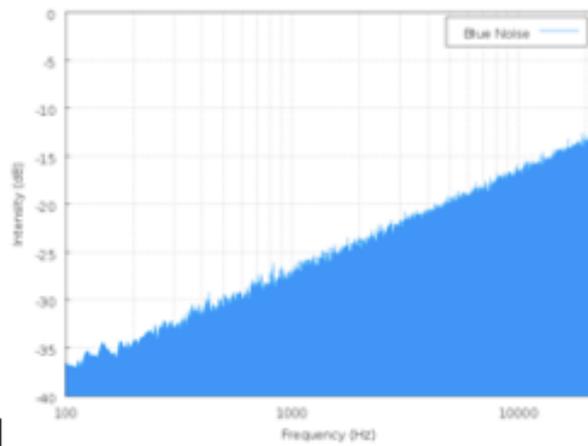
Pink Noise

Com uma redução de 6db por oitava temos o ruído vermelho/marrom (*red/brown noise*).



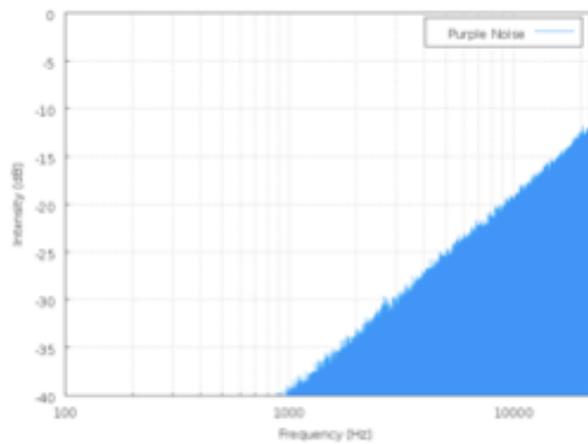
Red/Brown Noise

Podemos ter uma inversão do ruído rosa, chamado de ruído azul (*blue noise*) onde a cada oitava há um incremento de 3db de energia.



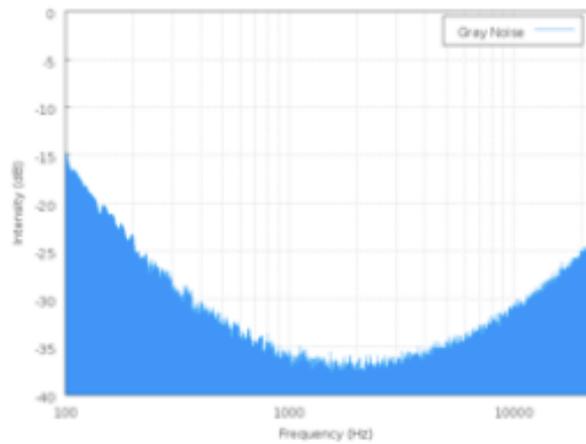
Blue noise

O ruído púrpura (*purple noise*) é o inverso do ruído vermelho.



Purple Noise

Já o ruído cinza (*Grey Noise*) está próxima da curva de *Loudness*.



Grey Noise

Todos esses nomes derivam de associações com as tabelas de cores e os todos esses ruídos tem muita utilidade para a fabricação, calibragem e medição de equipamentos de audio.

3. Timbre

Se fizermos um *blind test*, e pedirem para que identifiquemos o som de duas guitarras, uma elétrica e um violão com cordas de aço, facilmente saberemos qual instrumento é o acústico e qual é o elétrico, Todavia, como os dois instrumentos são parecidos e produzem formatos de onda similares, então por quê é tão fácil identifica-los? A resposta é que o timbre dos instrumentos é diferente. Mas o que seria o timbre?

O timbre é caracterizado pela amplitude dos harmônicos. Instrumentos diferentes, mesmo que produzindo formatos de onda similares, terão a sua série harmônica com a amplitude das sua parciais seguindo uma ordem de grandeza própria que irão definir o timbre do instrumento. Isso é o que acontece quando reconhecemos a voz de um determinado cantor, ator ou locutor, por exemplo.

Quando fazemos o mesmo *blind test* com instrumentos diferentes – um trompete e uma flauta – por exemplo, fica ainda mais fácil distinguir entre eles pois os formatos de onda - também gerados pela amplitude desses harmônicos - também são diferentes. Se misturarmos sons de instrumentos diferentes – recurso comum em arranjos – produziremos sons inteiramente diferentes pois estamos misturando além de formatos de onda diferentes, também séries harmônicas que, com amplitudes diferentes, irão produzir um som novo com características próprias, que nem sempre similares são aos sons de origem. Dessa forma, um naipe de metais com um trompete e um saxofone é mais diferente que um naipe com trompete e trombone, pois o trompete e o trombone geram formatos de onda similares.

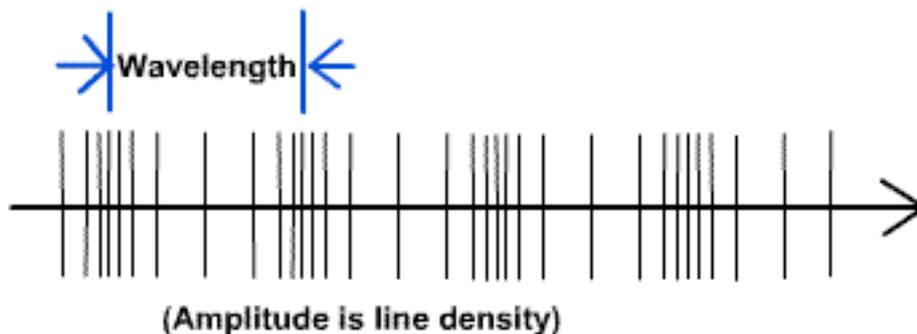
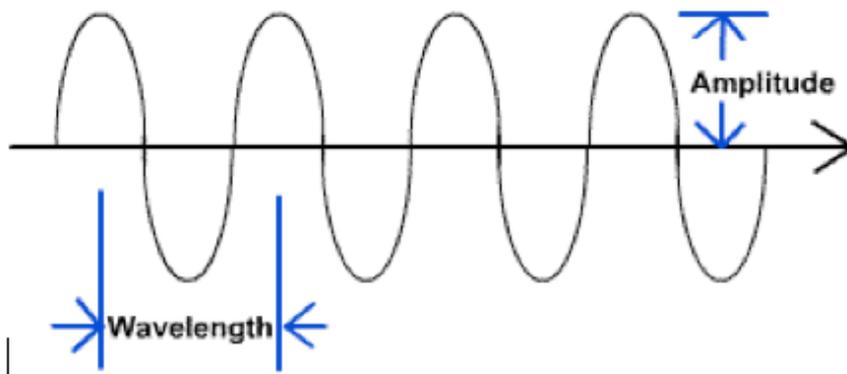
Por essa razão, é necessário termos cuidado ao equalizarmos um instrumento quando o sinal passa por uma mesa de som, pois equalizar é mexer em frequências, ou seja, nos sons fundamentais e na amplitude dos seus harmônicos e isso pode causar profundas alterações no som, podendo chegar até a parecer um outro instrumento. Equalizações devem ser feitas com muito cuidado.

Um dos efeitos mais usados que podemos obter alterando a amplitude dos harmônicos é o de distorção. Distorcer um instrumento nada mais é que aumentar o volume dos harmônicos de modo que as parciais atinjam um volume próximo à amplitude da fundamental. Se chegarmos o volume desse harmônicos ao mesmo patamar da amplitude da fundamental, além de alterarmos radicalmente o timbre inicial, perderemos a noção da própria fundamental, e por conseguinte, da nota que está sendo tocada. O resultado é próximo de um *cluster*. Para evitar o efeito de distorção exagerado, não se aumenta o volume das parciais muito além do terceiro harmônico.

4. Comprimento de Onda e Amplitude

Uma frequência grave tem o comprimento de onda (*wavelength*) maior que uma mais aguda. O comprimento de onda é a distância medida entre os picos de uma mesma onda. A letra grega λ (*lambda*) é usada para representar essa medida que é expressa em cm. Dentro dos parâmetros da nossa audição encontramos ondas que vão de $\lambda = 2\text{cm}$ (para frequências agudas) até $\lambda = 20\text{m}$ para frequências mais graves. Há uma relação inversa de grandeza entre frequência e comprimento de onda.

Outra característica importante é a quantidade de energia que uma onda possui. Chamamos de amplitude a quantidade de energia de uma onda. Quanto mais energia essa onda possuir mais alto (volume) ela poderá ser percebida. É importante ressaltar que não há - necessariamente - uma relação de dependência entre o comprimento da onda e sua amplitude. Podemos ter uma onda de frequência baixa e alta amplitude e vice-versa.



5. Propagação do som

A velocidade do som se altera em uma grandeza diretamente proporcional, ou seja, quanto mais alta a temperatura, mais rápido o som viaja. Mas para todos os efeitos práticos, consideramos a velocidade do som na temperatura de 20° C - temperatura média de conforto para o ser humano - como sendo de 344m/s. Essa velocidade é extremamente pequena se comparada à velocidade da luz (medida no vácuo) - 299 792 458m/s, ou aproximadamente 300 milhões de metros por segundo. Todavia, como o ar é um meio não dispersivo, todos os sons - e todas as frequências - viajarão por ele na mesma velocidade, por essa razão não importa a que distância estivermos de um concerto, ouvimos todas as notas simultaneamente. Se estivermos longe do palco, pode haver um atraso em relação a imagem que vemos, todavia, não percebemos esse atraso pois à essa distância não definimos claramente os movimentos das mãos dos instrumentistas ou dos lábios dos cantores.

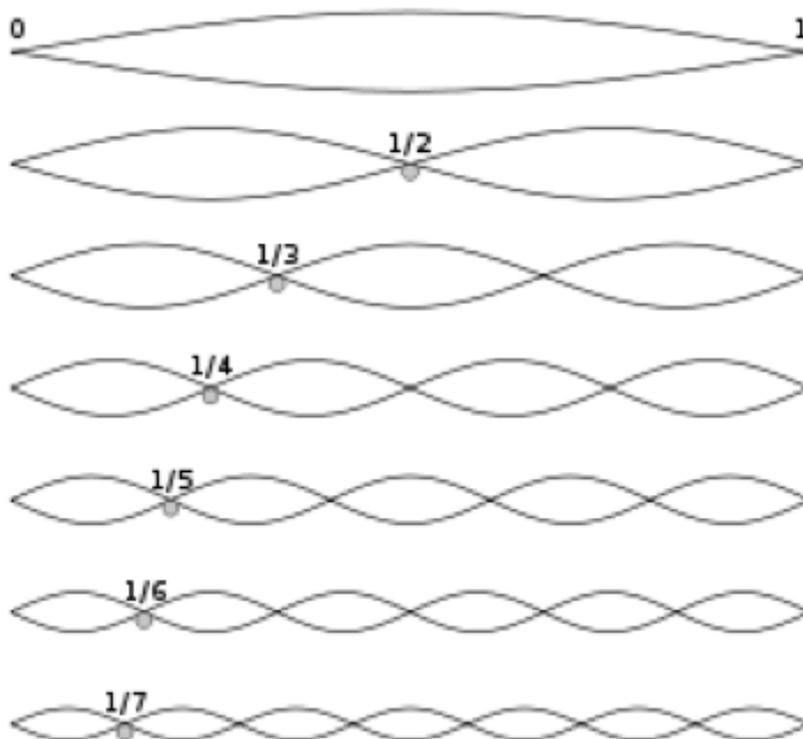
Para as salas de cinema muito grandes caixas de som são distribuídas por todo o ambiente de modo que fonte sonora não saia de *sync* com a imagem que vemos.

- Ressonância - Vibração simpática

Alguns materiais tendem a vibrar quando interagem com algumas frequências. Por exemplo, se pegarmos um diapásão, batermos ele contra alguma superfície - fazendo-o vibrar - e colocarmos próximo a outro diapásão idêntico, esse segundo diapásão irá também vibrar. Mesmo caso de tocarmos uma nota grave de um piano e pisarmos no pedal de sustentação, algumas notas mais agudas - livres do abafador - irão também vibrar causando uma ressonância. Esse fenômeno é conhecido como também como vibração simpática, ou ressonância, e pode ser problemático em partes estruturais de algumas construções criando um ambiente sonoro indesejado.

- Fase

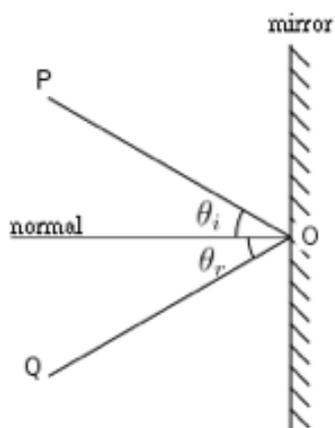
Chamamos de fases os diferentes pontos que os harmônicos causam em uma onda, causando deslocamentos. Como o ciclo completo da senóide (*sine wave*) ocupa 360° de um círculo, cada harmônico irá provocar um desvio medido em graus. O resultado final é de todos os harmônicos juntos e seus desvios. Esse fenômeno é difícil de ser percebido, todavia, alguns equipamentos podem adicionar algumas alterações na produção dos harmônicos mais agudos (muitas vezes resultado de gravações rudimentares ou equipamento de reprodução deficiente) e parciais mais agudas e distantes (perto do décimo harmônico) acabam chegando ao ouvinte antes da fundamental e quando isso acontece em grandes proporções o fenômeno do deslocamento da fase é percebido. Equipamentos ou *plug ins* podem simular esse efeito dando características conhecidas como *chorus*, *phaser*, etc.



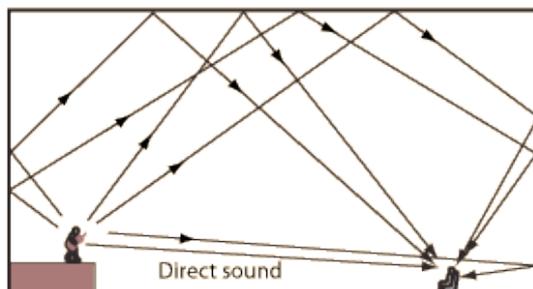
A linha superior de cada harmônico tem desvio de 0° .
A linha inferior é que causa os desvios.

- Reflexão

Toda vez que uma frequência e suas respectivas parciais (harmônicos) se propaga em um ambiente que não seja, por exemplo, ao ar livre, essas ondas encontram obstáculos - como paredes, por exemplo - nos quais irão refletir. O tamanho, formato e o tipo do material que compõe esses obstáculos irão interferir na forma como essa reflexão ocorre. Como o som viaja em várias direções mas em linha reta, essas reflexões seriam como bolas de borracha arremessadas em uma parede.



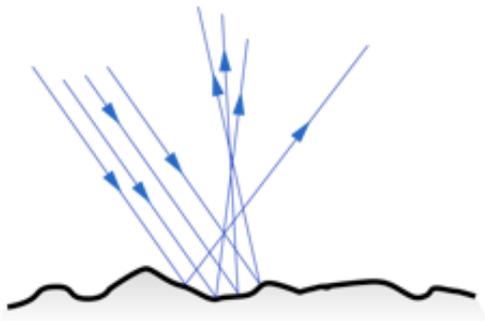
Um dos efeitos das reflexões são as reverberações. O conjunto de reflexões, levando em conta todas as frequências (inclusive os seus harmônicos) formam o fator de reverberação de um ambiente. Os fatores que influem são o volume da sala (expressos pela largura e pela altura do ambiente) e pelo fator de absorção de som do material no qual o som irá rebater.



- Absorção

Podemos reduzir ou controlar as reflexões utilizando materiais que absorvam as ondas sonoras, como cortinas, cortiças, etc. Para tanto, basta que a nossa parede seja revestida de um material que absorva movimentos do ar.

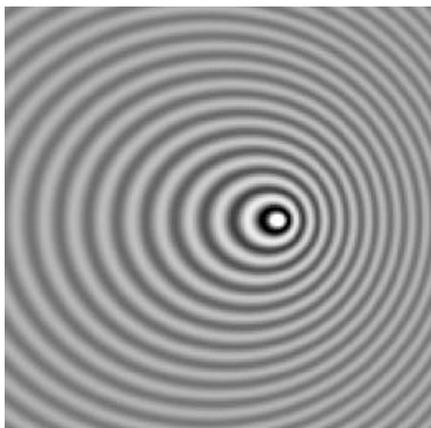
Outra possibilidade é evitarmos que nossas paredes ou bordas sejam lisas, o que causaria que as reflexões se processem de modo quase aleatório, levando a dispersão dessas ondas no ambiente.



- Efeito Doppler

Quem já assistiu a uma corrida de automóveis possivelmente reparou que quando o primeiro som que ouvimos na aproximação do veículo é agudo e após a passagem o que se percebe são frequências mais graves. A esse fenômeno chamamos de Efeito Doppler, em homenagem ao físico austríaco Christian Johann Doppler que em 1842 imaginou o efeito ainda que não tivesse meios de prova-lo.

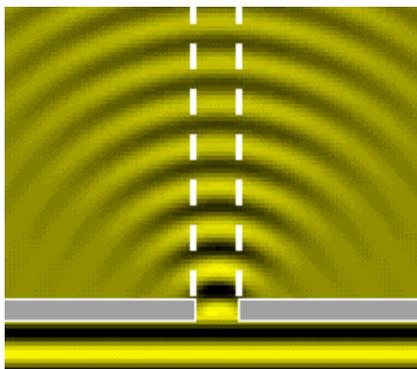
O que acontece é que quando a fonte sonora está em movimento - velocidade acima dos 100km/h , e muito perceptível perto dos 150 km/h - as ondas mais curtas (consequentemente de frequências mais altas) são empurradas no sentido do movimento, e na perspectiva de quem está estático, ouve-se com maior intensidade essas frequências. Já as ondas maiores (frequências mais graves) ficam soando após a passagem da fonte sonora.



Esse efeito é muito utilizado no cinema para aumentar a percepção de objetos em movimento - carros, flexas, etc - mesmo quando esses objetos não estão - ou não atingem - grandes velocidades, como flechas por exemplo.

- Defração

É a propriedade do som de, ao se propagar, contornar obstáculos como portais, etc. Por essa razão podemos perceber sons mesmo não estando na presença da fonte emissora. Todavia, apenas chegará ao outro ambiente ondas que possam atravessar, ou passar, por alguma abertura.

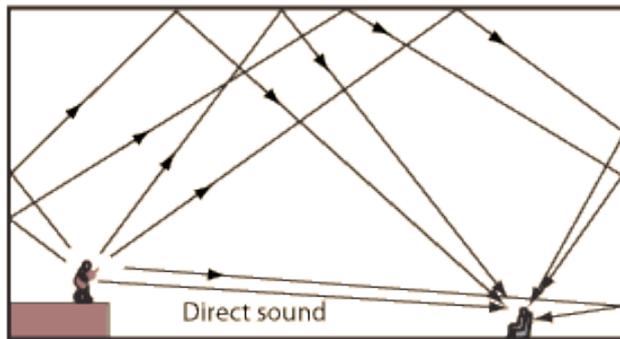


Após passar para outro ambiente, as ondas se propagam em todas as direções.

Também temos defração quando o som muda de ambiente ou meio, como quando estamos submersos na água, mesmo assim podemos perceber sons, ainda que com características diferentes, próprias do ambiente líquido.

- Reverberação

São múltiplos sons refletidos que se somam ao emitido pela fonte sonora original gerando alterações de timbre e ambiência. Essa série de reflexões são obitadas em espaços fechados e influem dramaticamente na nossa percepção. Não confundir com eco, que é também uma reflexão mas no caso de ecos, a reflexão chega após o som original ter se dissipado o suficiente para que percepção dele seja de que é um outro som.



A reverberação influi tanto e estamos tão acostumados à ela que estranhamos completamente quando ouvimos um som seco, ou seja, sem nenhuma reverberação. Isso acontece provavelmente porque vivemos a maior parte do tempo em ambientes com alguma quantidade de reverberação. Em estúdios a preferência é que gravemos audio sem *reverb* - nome que se dá aos aparelhos ou programas que geram reverberação artificialmente. Depois de gravarmos, escolhemos o tipo e a quantidade (medida em tempo e quantidade de reflexões) de *reverb* que desejamos. Atualmente a maioria dos efeitos de reverberação são obtidos com *plug ins* digitais, porém, durante muito tempo para simularem esses efeitos foram usados materiais com grande capacidade de reflexão como placas de metal, etc.

- Amplitude

Amplitude significa a quantidade de energia de uma onda sonora e é expressa em decibéis - abreviação *db* - e representam relações entre amplitudes. Portanto, decibel é uma medida comparativa entre duas fontes sonoras e é essa relação é expressa a partir de uma escala logarítmica. Por exemplo, quando aumentamos 3db, estamos dobrando a quantidade de energia, mas se quisermos ouvir com o dobro do volume, temos de incrementar em 10db.

Um medidor de decibéis é chamado de decibelímetro e como decibel mede a relação entre dois sons, ele parte de uma medida arbitrária de um volume considerado mínimo (marcado 0db) e um máximo suportável (120db). É possível que tenhamos percepção de som abaixo e acima desses limites mas eles são muito úteis para a medição de som de um

ambiente. A unidade medida pelo decibelímetro de db SPL, onde SPL significa *Sound Pressure Level*.



Decibelímetro

Podemos ter uma tabela de referência de db SPL:

dbSPL	Fonte sonora
120	Limite suportável a 500 m de uma turbina de avião
118	O som mais alto dentro de uma sala de cinema digital - Concerto de Rock
90-95	O som mais alto dentro de uma sala de cinema analógica - Ruído dentro de uma estação de trem/metrô
80-90	O som mais alto de um aparelho de televisão - Ruído médio de uma fábrica (depende da fábrica)
75	O volume médio dos diálogos de um filme - Tráfego na cidade (depende da cidade)
65	O volume médio de uma conversa frente a frente
50	Ruído normal (<i>Background noise</i>) de uma cidade (dependendo da cidade, é claro)
30	Ruído normal de uma lugar sossegado fora da cidade - Biblioteca
20	Ruído de uma câmera de filmagem a uma distância de 1 m - Sussuro
0	Volume limite mínimo para audição

7. Considerações Finais

O som se propaga por movimentos do ar. Quanto maior a amplitude – volume de ar viajando – mais longe o som poderá ser percebido. O ar que se movimenta na propagação de um som, ao encontrar uma barreira – uma parede, por exemplo – rebate e viaja, com amplitude menor, na mesma direção, mas com o sentido inverso de onde o som partiu. Se um som que está voltando, encontra-se com um som viajando em sentido oposto eles podem sofrer alterações profundas, podendo alterar completamente a compreensão sonora desejada.

Algumas dessas alterações podem ser:

- Cancelamento de fase – é quando um onda de tamanho X se encontra com uma onda com as mesmas características e tamanho (X) mas de polaridade invertida, ou seja, a onda viaja com o movimento do ar exatamente contrário ao som original. O resultado produzido é o silêncio.
- Frequências com o volume aumentado – é quando uma onda com frequência X – fundamental ou harmônico – se encontra com uma outra onda com a mesma frequência e há um efeito de somatória entre as duas fazendo com que essa frequência ganhe em amplitude.
- Bounce (*Standing Waves*) – é quando uma onda, ou melhor, a metade do ciclo dela, ou alguma de suas primeiras parciais tem o mesmo tamanho da distância entre duas paredes. Nesse caso, algumas frequências podem ter cancelamento de fases ou o volume aumentado exageradamente alterando o resultado sonoro desejado.

Vários desses efeitos indesejados podem ser eliminados, ou reduzidos, se tomarmos algumas medidas simples para salas de execução musical ou cinemas – gravação e/ou performance – como serem construídas com materiais de absorção sonora – madeira, cortiça, sonex, etc. Outra providência simples é evitar nas salas próprias para música paredes paralelas e lisas. Com paredes de formatos variados e sem paralelismos, conseguimos fazer com que as refrações sejam aleatórias, não afetando portanto o resultado final desejado.