

TONALIDADE X FREQUÊNICA

Som, notas e tons

O violão é um instrumento musical e o seu objetivo é fazer música. Música é a organização de sons em padrões que o [cérebro humano](#) acha agradável (ou pelo menos intrigante). Para entender melhor a música, vamos começar respondendo algumas perguntas básicas: o que é som?

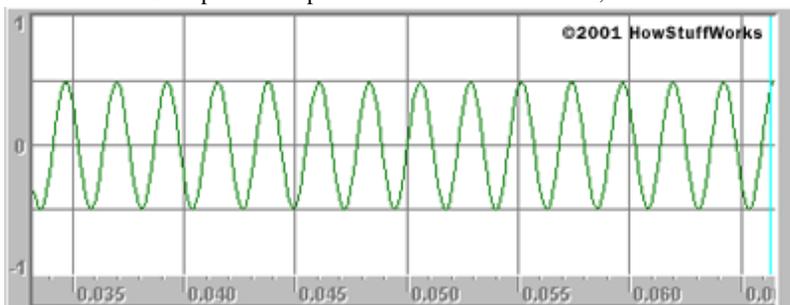
Som é qualquer mudança na pressão do ar que os nossos ouvidos conseguem [detectar e processar](#). Entretanto, a movimentação do ar tem que ser forte o suficiente para mover os tímpanos nos nossos ouvidos. Quanto mais forte a pressão, mais alto é o som.

Para nossos ouvidos perceberem o som, ele precisa estar dentro de uma certa **faixa de frequência**. Para a maioria das pessoas, a extensão de sons audíveis é de 20 Hz (Hertz, oscilações por segundo) até 15 mil Hz. Não conseguimos ouvir sons abaixo de 20 Hertz ou acima de 15 mil Hertz.

Um **tom** é um som que se repete a uma determinada frequência.

- [Clique aqui para ouvir um tom em 440 Hz](#) (selecione "abrir" na janela).

Este tom de 440 Hz pode ser representada como uma senóide, desta maneira:

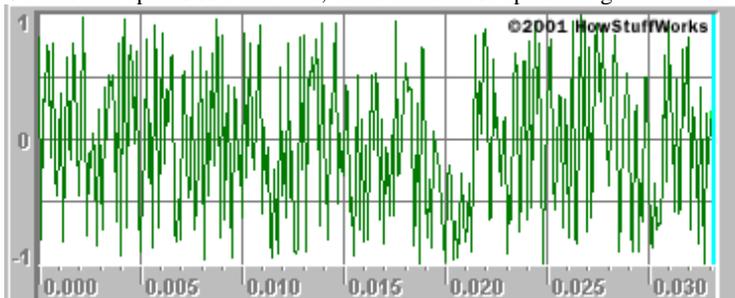


Um tom é formado por uma frequência ou uma pequena quantidade de frequências relacionadas. O oposto de um tom é uma combinação de centenas ou milhares de **frequências aleatórias**. Chamamos esta combinação aleatória de sons de **ruído**. Quando você ouve o som de um rio, o som do vento balançando as folhas, o som de papel sendo rasgado ou o som da sua [TV](#) sintonizando um canal inexistente, você está ouvindo ruído.

- [Clique aqui para ouvir ruído](#) (selecione "abrir" na janela).

Observação: este som é bastante desagradável, abaixe o volume do som do seu computador.

O ruído não apenas soa aleatório, como também se apresenta graficamente de maneira aleatória.



A **nota musical** é um tom. Entretanto, o tom de uma nota musical é já a reunião de vários tons que agradam o cérebro humano quando usados em conjunto. Você pode escolher, por exemplo, um conjunto de notas nas seguintes frequências:

- 264 Hz
- 297 Hz
- 330 Hz
- 352 Hz
- 396 Hz
- 440 Hz
- 495 Hz
- 528 Hz

Este conjunto particular de notas é conhecido como **escala maior**. Cada nota da escala é multiplicada por uma certa fração para atingir a próxima nota. Veja como funciona a escala maior:

- $264 \text{ Hz} * \frac{9}{8} = 297 \text{ Hz}$
- $297 \text{ Hz} * \frac{10}{9} = 330 \text{ Hz}$
- $330 \text{ Hz} * \frac{16}{15} = 352 \text{ Hz}$
- $352 \text{ Hz} * \frac{9}{8} = 396 \text{ Hz}$
- $396 \text{ Hz} * \frac{10}{9} = 440 \text{ Hz}$
- $440 \text{ Hz} * \frac{9}{8} = 495 \text{ Hz}$
- $495 \text{ Hz} * \frac{16}{15} = 528 \text{ Hz}$

Por que essas frações específicas foram usadas na escala maior? Simplesmente porque elas soam bem. Ouça:

- [Clique aqui para ouvir a escala maior](#) (selecione "abrir" na janela).

Estas notas têm nomes. Veja a seguir:

- **264 Hz - C, dó** (multiplique por $\frac{9}{8}$ para obtê-la)
- **297 Hz - D, ré** (multiplique por $\frac{10}{9}$ para obtê-la)
- **330 Hz - E, mi** (multiplique por $\frac{16}{15}$ para obtê-la)
- **352 Hz - F, fá** (multiplique por $\frac{9}{8}$ para obtê-la)
- **396 Hz - G, sol** (multiplique por $\frac{10}{9}$ para obtê-la)
- **440 Hz - A, lá** (multiplique por $\frac{9}{8}$ para obtê-la)
- **495 Hz - B, sí** (multiplique por $\frac{16}{15}$ para obtê-la)
- **528 Hz - C, dó** (multiplique por $\frac{9}{8}$ para obtê-la)

E a seqüência se repete.

Os nomes são totalmente arbitrários, assim como as frações, mas elas têm um som que agrada as pessoas.

Perceba que as duas notas Dó são separadas por um múltiplo de dois (264 é metade de 528). Este é o fundamento das **oitavas**. Para subir uma oitava de uma nota, basta multiplicar a freqüência por dois, e para diminuí-la basta dividir a freqüência por dois.

Você já deve ter ouvido falar de "**sustenido**" e "**bemol**". De onde eles vêm? A escala de notas mostrada acima está no "tom de dó", porque as frações foram aplicadas ao Dó como nota inicial. Se o Ré fosse a nota inicial, com uma freqüência de 297, estaríamos no "tom de ré" e as freqüências seriam assim:

- **297 Hz - D, ré** (multiplique por $\frac{9}{8}$ para obtê-la)
- **334,1 Hz - E, mi** (multiplique por $\frac{10}{9}$ para obtê-la)
- **371,3 Hz - F, fá** (multiplique por $\frac{16}{15}$ para obtê-la)
- **396 Hz - G, sol** (multiplique por $\frac{9}{8}$ para obtê-la)
- **445,5 Hz - A, lá** (multiplique por $\frac{10}{9}$ para obtê-la)
- **495 Hz - B, sí** (multiplique por $\frac{9}{8}$ para obtê-la)
- **556,9 Hz - C, dó** (multiplique por $\frac{16}{15}$ para obtê-la)
- **594 Hz - D, ré** (multiplique por $\frac{9}{8}$ para obtê-la)

E a seqüência se repete.

As notas em 297 Hz (D), 396 Hz (G) e 495 Hz (B) no tom de ré coincidem com as notas do tom de dó. A nota E no tom de ré (em 334,1 Hz) é muito próxima à nota E no tom de dó (330 Hz). Pode-se dizer a mesma coisa da nota A. F e C, entretanto, são diferentes nestes dois tons. F e C no tom de D são chamadas de **F# (Fá sustenido)** e **C# (Dó sustenido)** no tom de C. Fá sustenido também pode ser chamado de Sol bemol e Dó sustenido pode ser chamado de Ré bemol. Se você aplicar as frações para todos os outros tons, mescle todas as notas idênticas e próximas e veja os sustenidos que sobraram. Você vai perceber que serão necessárias as notas A#, C#, D#, F# e G# para completar a seqüência de todos os tons.

Você pode ver que, com toda essa mescla de tons, a escala maior dá várias formas arbitrárias de se afinar um instrumento. Por exemplo, você pode afinar notas no tom de dó e e os sustenidos de Fá e Dó para o tom de ré ou os sustenidos de Ré e Sol. Isso pode virar uma bagunça.

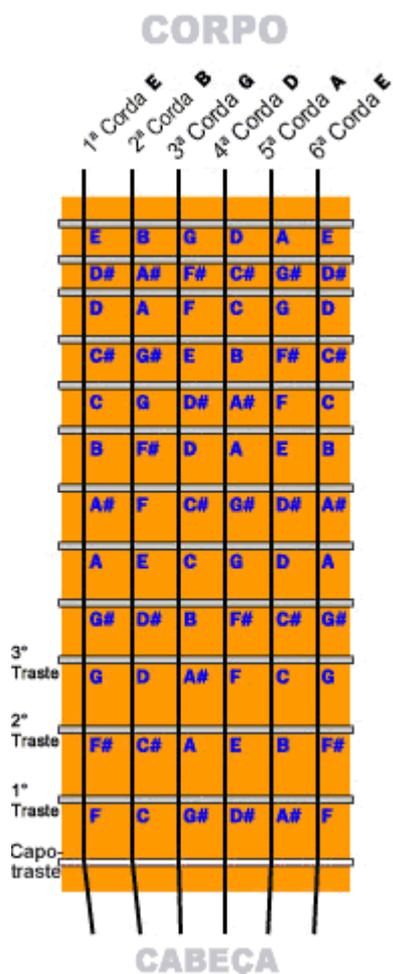
Escala temperada

O mundo da música atual adota uma escala chamada **escala temperada**. A nota Lá vibra em 440 Hz e todas as outras notas são afinadas a partir dela. Em uma escala temperada, todas as notas derivam da décima segunda raiz de 2 (aproximadamente 1,0595) em vez das frações que vimos anteriormente. Isto é, se você pegar a freqüência de qualquer nota e multiplicá-la por 1,0595, o resultado será a freqüência da nota seguinte. Aqui estão as três oitavas da escala temperada:

- **82,4 E** - [sexta corda solta](#)
- **87,3 F**
- **92,5 F#**
- **98,0 G**
- **103,8 G#**
- **110,0 A** - [quinta corda solta](#)
- **116,5 A#**

- 123,5 B
- 130,8 C
- 138,6 C#
- 146,8 D - quarta corda solta
- 155,6 D#
- 164,8 E
- 174,6 F
- 185,0 F#
- 196 G - terceira corda solta
- 207,6 G#
- 220 A
- 233,1 A#
- 246,9 B - segunda corda solta
- 261,6 C - "Dó central"
- 277,2 C#
- 293,6 D
- 311,1 D#
- 329,6 E - primeira corda solta
- 349,2 F
- 370 F#
- 98,0 G
- 415,3 G#
- 110,0 A - quinta corda solta
- 466,1 A#
- 493,8 B
- 523,2 C
- 554,3 C#
- 587,3 D
- 622,2 D#
- 659,2 E - décima segunda casa da primeira corda

Como você pode ver nesta tabela, estamos falando novamente sobre os violões. Esta é a afinação de um violão. Um violão com 12 trastes tem um alcance de três oitavas, como demonstrado acima. A sexta corda solta é a nota mais grave, e a nota da décima segunda casa da primeira corda é a mais aguda. Aqui está o layout das notas em um violão.



Você pode ver neste diagrama que existem **72 casas**, mas a tabela acima mostra apenas **37 notas únicas**. Portanto, existem várias maneiras de tocar as mesmas notas em um violão, e isto também é utilizado para afinar as cordas. Por exemplo, você pode afinar o Lá na quinta casa da primeira corda em 440 Hz. Você sabe que o Mi da quinta casa da segunda corda tem o mesmo som da primeira corda solta, então você afina a segunda corda usando a primeira corda como referência. O mesmo acontece nas outras cordas do violão. Por exemplo:

- a quarta casa da terceira corda (B) tem o mesmo som da segunda corda solta
- a quinta casa da quarta corda (G) tem o mesmo som da terceira corda solta
- a quinta casa da quinta corda (D) tem o mesmo som da quarta corda solta
- a quinta casa da sexta corda (A) tem o mesmo som da quinta corda solta

Quando todas as cordas estiverem perfeitamente afinadas utilizando a referência do Lá em 440 Hz, o violão terá as notas com as frequências mostradas na tabela acima. Esta é a "**afinação padrão**".

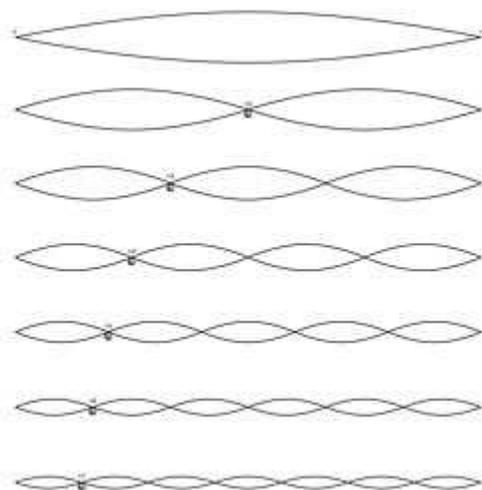
Vejamos um exemplo: a nota Lá acima do Dó central do [piano](#) (normalmente chamada Lá4) tem frequência de 440 Hz. A nota Lá uma oitava abaixo (Lá3) tem exatamente a metade da frequência (220 Hz). A nota Lá uma oitava acima (Lá5) tem o dobro da frequência da primeira (880Hz). Embora a diferença de frequências entre Lá3 e Lá4 (220 Hz) seja a metade da diferença entre Lá4 e Lá5 (440 Hz), os intervalos são percebidos como sendo iguais.

A mínima frequência que o ouvido humano pode perceber está em torno de 20 [Hz](#) e a máxima, por volta de 20000 Hz. Normalmente se utiliza cerca de oito ou nove oitavas na composição musical padrão. Se tomarmos a afinação padrão adotada atualmente em que o Lá da oitava 4, (Também chamado de Lá de [diapasão](#)) tem 440 Hz, a oitava 0 se inicia em uma frequência de

aproximadamente 16,352Hz (Do0). As notas mais agudas normalmente usadas situam-se na escala 7 ou 8 e suas frequências não ultrapassam os 5000Hz. Frequências tão graves como as da escala 0 ou tão agudas como as da escala 8 não são utilizadas normalmente na composição musical, pois sua execução correta por [instrumentos musicais](#) comuns é difícil e porque situam-se nas zonas em que a percepção sonora é menos sensível. Embora frequências muito baixas não possam ser ouvidas suas vibrações podem ser sentidas pelas cavidades do corpo. Alguns compositores de [música eletroacústica](#) se aproveitam deste fato e utilizam [sintetizadores](#), [computadores](#) ou outros instrumentos eletrônicos para obter sons extremamente graves.

História

Desde a antiguidade, muitas civilizações perceberam que um corpo em vibração produz sons em diferentes frequências. Os gregos há mais de seis mil anos já estudavam este fenômeno através de um instrumento experimental, o 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, 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 nós, que a dividem em seções menores, os ventres, que vibram em frequências mais altas que a fundamental. Se o monocórdio for longo o suficiente, estes nós e ventres são visíveis. Logo se percebeu que estes nós se formam em pontos que dividem a corda em duas partes iguais, três partes iguais e assim sucessivamente. A figura ao lado mostra os nós e ventres 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. Se colocarmos o dedo levemente sobre um dos nós, isso provoca a divisão da corda em seções menores e torna os ventres mais visíveis. Esta experiência pode ser feita com um violão, ao pousar um dedo levemente sobre o 12º traste e dedilhar a corda. Isso divide a corda em duas seções iguais e permite ver dois ventres distintos em vibração.

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

Devido à limitação da elasticidade da corda, os primeiros harmônicos soam com maior intensidade que os posteriores e exercem um papel mais importante na determinação da forma de onda e conseqüentemente, no timbre do instrumento. O mesmo resultado pode ser obtido ao colocar uma coluna de ar em vibração, embora neste caso não seja possível ver os nós e ventres da onda.

O conhecimento da série harmônica permitiu à maior parte das civilizações do mundo, escolher, dentre todas as frequências audíveis, um conjunto reduzido de notas que soasse agradável ao ouvido. Pitágoras percebeu, por exemplo, que o segundo harmônico (a nota com o dobro da frequência da fundamental) soava como se fosse a mesma nota, apenas mais aguda. Esta relação de frequências (F/2F, ou 2/1 se considerarmos os comprimentos das cordas), que hoje chamamos de oitava, é percebida como neutra (nem consonante nem dissonante). O próximo intervalo, entre o segundo e o terceiro harmônico, (2F/3F ou 3/2) soa fortemente consonante. Este é o intervalo que hoje é chamado de quinta. Os intervalos seguintes obtidos pela sucessão de frequências da série, são os de 4/3 (quarta), 5/4 (terça maior) e 6/5 (terça menor), sucessivamente menos consonantes. Pitágoras também percebeu que intervalos produzidos por relações de números muito grandes, como 16/15 (segunda menor) 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 a base para a construção da maior parte das escalas musicais existentes no mundo.

Os sons da série harmônica

A série harmônica é uma série infinita, composta de ondas senoidais com todas as frequências múltiplas inteiras da frequência fundamental. Tecnicamente, a frequência fundamental é o primeiro harmônico, no entanto, devido a divergências de nomenclatura, alguns textos apresentam a frequência 2F como sendo o primeiro harmônico. Para evitar ambigüidades, consideramos, no âmbito desse artigo, que a fundamental corresponde ao primeiro harmônico. Não existe uma única série harmônica, mas sim uma série diferente para cada frequência fundamental. A Tabela abaixo mostra dois exemplos de série harmônica. Uma se inicia no Lá1(110 Hz) e a outra no Do1(132 Hz). A frequência da nota Do1 foi arredondada para simplificar a tabela. Em um sistema temperado as frequências das notas seriam ligeiramente diferentes (Ver observações e o texto abaixo). São mostrados os 16 primeiros harmônicos para cada série.

#	Lá1	Do2	Observações	
	Nota	Frequência(Hz)	Nota	Frequência(Hz)

1(F)	Lá1	110	Do2	131	Frequência fundamental. Tecnicamente o primeiro harmônico.
2	Lá2	220	Do3	262	Uma oitava acima da fundamental. 2º harmônico
3	Mi3	330	Sol3	393	Uma quinta acima do 2º harmônico.
4	Lá3	440	Do4	524	Duas oitavas acima da fundamental.
5	Do#4	550	Mi4	655	Todos os harmônicos ímpares subseqüentes soam desafinados em relação aos equivalentes temperados
6	Mi4	660	Sol4	786	Note que o Sol4 da série de Do é diferente da mesma nota na série de Lá (linha abaixo)
7	Sol4	770	Sib4	917	
8	Lá4	880	Do5	1048	Três oitavas acima da fundamental
9	Si4	990	Ré5	1179	
10	Do#5	1100	Mi5	1310	
11	Ré#5	1210	Fa#5	1441	
12	Mi5	1320	Sol5	1572	
13	Fá#5	1430	Lá5	1703	Veja que o Lá 5 é muito desafinado em relação à mesma nota na série de Lá (última linha)
14	Sol5	1540	Sib5	1834	Estas notas não pertencem a nenhuma escala ocidental por terem intervalo inferior a um semitom.
15	Sol#5	1650	Si5	1965	
16	Lá5	1760	Do6	2096	Quatro oitavas acima da fundamental

A partitura abaixo mostra as 16 primeiras notas da série iniciada em Lá1, mostrada na tabela acima.

