

Física e Música: A desafinada história da consonância

ANDRÉ LUÍS MIRANDA DE BARCELLOS COELHO

Secretaria de Educação do Distrito Federal - SEDF

Resumo

Neste pequeno trabalho, evidencio algumas das principais contribuições dadas, desde Pitágoras até os dias de hoje, para a conceituação de consonância. Esse é um conceito central em música e sobre ele orbitam questões, tanto de natureza pragmática quanto epistemológica, que precisaram ser resolvidas de uma maneira ou de outra. Na antiguidade clássica, esse conceito estava fortemente atrelado à concepção de Cosmos que vem sendo progressivamente deteriorada, ao longo dos últimos dois milênios. Novas evidências apontam, por exemplo, para a necessidade de se levar em conta fatores sociais e linguísticos para compreender a preferência de determinado grupo de pessoas por intervalos musicais específicos em detrimento de outros.

Keywords: Física e Música, Consonância, História.

1 Introdução

Consonância é um conceito central em música. É a partir de sons considerados consonantes que se estabelecem as combinações e intervalos usados para estruturá-la. Pitágoras, por exemplo, construiu uma escala musical - que alicerçou o desenvolvimento da música ocidental - baseado em sons que considerava consonantes. Ao longo do desenvolvimento da música européia, percebeu-se que a numerologia pitagórica não era o suficiente para determinar, de maneira inequívoca, quais combinações sonoras são mais ou menos consonantes, colocando em debate os fundamentos da música ocidental.

Músicos, teóricos da música e diversos notáveis físicos como Galileu, Huygens, d'Alambert, Bernoulli, Fourier, Euler e Helmholtz participaram desse debate. A partir do século XVI, o problema do temperamento das escalas musicais - que, em síntese, é o problema de conceituar consonância - foi o principal objeto de reflexão e trabalho desses exímios pensadores. Já em meados do século XX, avanços na área da otologia revelaram que o funcionamento da audição humana, mais especificamente do ouvido interno, poderiam apontar uma causa biológica para preferência de determinados intervalos musicais em detrimento de outros. Nas últimas décadas, alguns resultados sugerem que a percepção de consonância pode ter também uma forte contribuição social atrelada, principalmente, com a linguagem falada.

2 De Pitágoras a Kepler: a doutrina da Harmonia das Esferas

Tudo o que sabemos sobre Pitágoras (cerca de 500 a.C.) foi escrito por seus discípulos. Toda a sua ontologia está fundamentada na crença de que o princípio fundamental de todas as coisas é o *número/logos*. A escola pitagórica fundamentava não apenas uma visão naturalista (materialista) sobre esse princípio, mas também uma percepção metafísica associada aos números (POLITO e OLAVO, 2014). Ou seja, para os pitagóricos os números constituíam os elementos básicos da construção do mundo material, além de manifestar ordem, harmonia e perfeição em um sentido amplo e, até, cosmogônico. Isso dito, a música seria a aplicação da aritmética aos sons¹.

Há diversas versões sobre como Pitágoras estrutura o argumento da construção das escalas musicais, porém o que há de mais confiável figura no *Sectio Canonis* - livro atribuído a Euclides (cerca de 300 a.C.). Nele, o autor explica que Pitágoras utiliza um monocórdio (instrumento que se constituía de uma corda fixa nas extremidades e um cavalete móvel capaz de alterar o tamanho da corda vibrante) para determinar os intervalos mais consonantes e, partindo deles, definir um conjunto de símbolos que devem ser usados para representar os sons musicais. Pitágoras, conta Euclides, elege como mais consonantes os sons emitidos pela corda em três posições para o cavalete móvel, definindo assim três diferentes comprimentos de corda vibrante, correspondentes a um $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$ e $\frac{3}{4}$ da extensão total da corda (PARKER, 2010). É interessante notar que essas frações também compõem a descrição da geometria pitagórica de um cubo, revelando a já citada busca por uma lei única que estruturaria a natureza.

Essa natureza de raciocínio conduziu a civilização clássica a uma doutrina conhecida como *Harmonia das Esferas*. Nela, descrevendo grosseiramente, é postulado que há harmonia perfeita entre o microcosmos e o macrocosmos². Foi ao redor dessa crença que articulou-se toda a teoria natural das escolas clássicas, cada uma com suas particularidades, evidentemente. Platão, por exemplo, ao lançar mão dos quatro elementos de Empédocles e associá-los a sólidos regulares convexos, define uma harmonia puramente matemática, e não musical como em Pitágoras.

Já na idade média (do século V ao XV d.C.), a divisão pitagórica das disciplinas numéricas dá origem ao chamado *Quadrivium* (aritmética, geometria, astronomia e música) que, associado ao *Trivium* (lógica, gramática e retórica), constituíam o *Curriculum* (conjunto de disciplinas básicas que eram ensinadas nas universidades medievais, também conhecidas como Artes Preparatórias ou Artes Liberais). Segundo Polito, 2015:

“A noção de harmonia era fundamental no cosmos platônico e prosperaria também entre os neoplatônicos. Esteve eclipsada pelo aristotelismo por quase dez séculos, mas retornaria com força surpreendente no Renascimento, vindo a desempenhar um papel crucial durante a Revolução Científica, principalmente com Copérnico, Bruno e Kepler”.

¹Muito embora, para diversos autores como Rodrigues (1999), a música tenha desempenhado um papel importante no desenvolvimento da matemática pura da escola pitagórica.

²Cosmos é um conceito inaugurado por Pitágoras, e pode ser entendido como sinônimo de ordem, harmonia ou organização, mas em um nível alto de complexidade. Ele abrange desde o microcosmos até o macrocosmos. Microcosmos foi entendido na antiguidade clássica em acepções diferentes: para a escola estoica, por exemplo, esse termo foi utilizado diversas vezes como sinônimo de homem ou ainda mundo. Macrocosmos é sempre relacionado, na antiguidade, com a noção de Universo ou Mundo.

Formado por uma universidade medieval (a Universidade de Tubinga, na Alemanha), por volta de 1589, Johannes Kepler é um excelente exemplo dessa qualidade de formação. Reconhecido pelas notáveis contribuições para a astronomia, mas além disso - e talvez por sua intensa formação teológica cristã - ele se dedicou a relacionar a beleza e harmonia da música com suas descobertas astronômicas. Ele escreve em seu livro *Harmonia do Mundo* que “os modos ou tons musicais são reproduzidos de uma certa maneira nas extremidades dos movimentos planetários”. Neste livro, Kepler chega a atribuir a cada planeta uma voz (Mercúrio era soprano e Marte tenor, por exemplo) e relacionar as distâncias entre o sol e os planetas a intervalos musicais.

Kepler representa o cume do desenvolvimento da doutrina da *Harmonia das Esferas* em diversos sentidos (RODRIGUES, 1999). Destaca-se a já mencionada busca por relacionar a música com a astronomia e aritmética. Ao estabelecer essas relações, reforça-se a concepção que consonância é algo intrínseco ao mundo natural e, por isso, a preferência humana por alguns intervalos musicais em detrimento de outros.

3 Consonância como um fenômeno físico

Nesse contexto, uma pergunta que surge é: será que existe algum fenômeno físico que, comprovadamente, possa justificar a escolha de certos intervalos musicais como mais consonantes que outros? Sobre essa questão debruçaram-se físicos notáveis como Bernoulli, D’Alambert e Fourier. Este último elaborou uma sofisticada descrição conhecida como série harmônica. Nela, para uma corda de extremidades fixas como a de um monocórdio, os primeiros harmônicos - conjunto de ondas que obedecem às condições de contorno do sistema, ou seja, nas extremidades a amplitude da onda formada é sempre zero - coincidem exatamente com a corda oscilando em toda sua extensão (intervalo 1ª justa), em dois segmentos (intervalo de 2ª justa), em três segmentos (intervalo de 3ª justa) e em quatro segmentos (intervalo de 4ª justa). Em suma, a consonância verificada nos intervalos pitagóricos se deve ao fato de que eles representam os menores harmônicos da série harmônica e, por isso, são percebidos naturalmente como consonantes. Essa hipótese de naturalidade da consonância, ou seja, que o reconhecimento de intervalos musicais como consonantes é algo intrínseco ao desenvolvimento humano coleciona diversas contradições, ao longo das últimas décadas, e segue inconsistente com algumas novas evidências no campo da sociologia musical (CAMPOS, 2007), otologia e fisiologia da fala (BOWLING, 2015).

4 As dissonâncias geradas pela Harmonia das Esferas

A escala musical pitagórica (conjunto de relações usadas para estruturar os sons musicais) foi construída a partir de intervalos de quintas justas em um procedimento conhecido como ciclo das quintas (no trabalho de JACHELLI, (2010) e MED, (1996) se encontra uma descrição completa desse procedimento). Porém são perpetuadas, a cada ciclo, distorções (ou dissonâncias) que são verificadas nos intervalos de oitavas justas como mostrado na tabela 1. Vale ressaltar a semelhança desse problema com o da construção de calendários que, assim como o ciclo das quintas, perpetuam erros a cada ciclo completo (RODRIGUES, 1999). Para os calendários, a solução adotada foram os anos bissextos. Na música, a solução foram os

Frequência	Nota musical
f_0	Dó 1
$\frac{3}{2}f_0$	Sol 1
$\frac{9}{8}f_0$	Ré 1
...	...
$\frac{531441}{524288}f_0$	Dó 1 + Coma

Tabela 1: A cada incremento de um intervalo de quinta justa, multiplica-se a frequência por um fator $3/2$. Caso algum incremento faça com que a frequência ultrapasse o dobro da frequência fundamental (atingindo assim a próxima oitava), divide-se por um fator 2 a fim de “acomodar” a nota dentro da mesma oitava. Dessa forma, pretende-se representar a escala cromática (todos os símbolos de sons musicais possíveis dentro de uma oitava). Contudo, verifica-se que a cada ciclo completo a frequência fundamental desloca-se, ainda que pouco, para um valor mais alto de frequência. Essa pequena diferença é conhecida como Coma Pitagórico. Encontra-se uma descrição completa desse procedimento a partir da página 80 do livro de Barry Parker, *Good Vibration* (PARKER, 2010).

temperamentos (alongar, encurtar ou arredondar intervalos a fim de “fechar” o ciclo das quintas) das escalas musicais.

Com o desenvolvimento da engenharia de instrumentos musicais que começaram a exigir a representação de novas oitavas – e, portanto, completar novos ciclos de quintas – essas distorções começam a ser um entrave prático, para além da mera problematização conceitual.

5 A hipótese de Hermann von Helmholtz

O problema do ciclo das quintas foi objeto de reflexão e trabalho de um conjunto ilustre de físicos que incluía Kepler, Descartes e Galileu Galilei (que era filho de maestro, diga-se). Christiaan Huygens (1629 - 1695 d.C.), por exemplo, utilizando logaritmos propôs a divisão de uma oitava em 31 intervalos iguais. Por problemas de ordem prática, essa proposição não pôde ser adotada na notação musical.

O temperamento de escalas e, por conseguinte, o conceito de consonância é um tema tão intrigante que até o egrégio matemático Leonhard Euler (1707 - 1783 d.C.) se dedicou a ele. Ele construiu uma interessante equação matemática para medir o grau de consonância de um intervalo, levando em conta que quanto menor for a fração representativa desse, maior seu grau de consonância. O renomado físico alemão Hermann von Helmholtz (1821 - 1894) merece destaque nesse cenário por propor uma importante hipótese em relação a consonância (ela, por exemplo, possibilitou descobertas importantes, anos mais tarde, no campo da audição humana) (BOWLING, 2015). Ele enuncia em seu trabalho “*Die Lehre von den Tonempfindungen*” (em tradução livre: nas sensações dos tons), a hipótese de que a percepção de dissonância é dada por conta da modulação da amplitude da onda. Quanto maior for a flutuação (quanto mais próximo de um padrão de batimento) maior é a sensação de dissonância (cf. Figura 1).

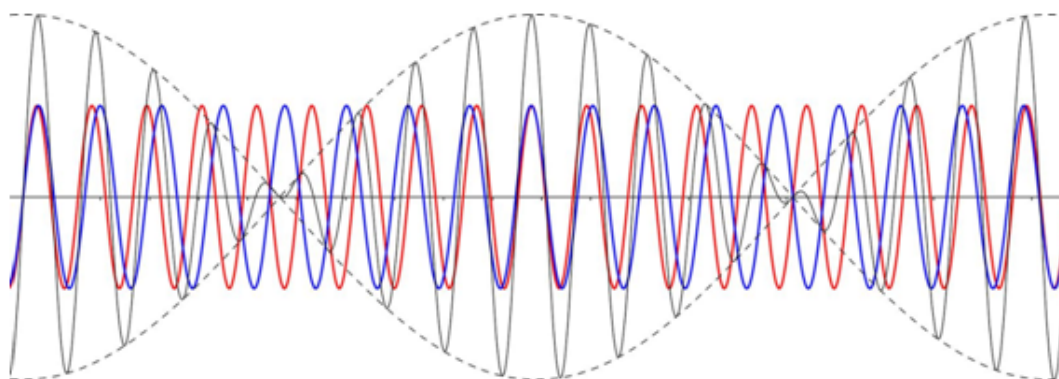


Figura 1: Ao se interferirem duas ondas com frequências próximas (traços azul e vermelho na figura), resulta-se um padrão conhecido como batimento (pontilhado em preto na figura). Figura retirada do trabalho de Lago (2015).

6 Consonância como um fenômeno biológico

Corroborando a hipótese de Helmholtz, há diversos estudos que apontam para uma causa biológica da dissonância. O trabalho de Georg von Békésy (VON BÉKÉSY, 1960), já no século XX, merece destaque por sua descrição do funcionamento da membrana basilar (estrutura do ouvido interno). Em seu trabalho, ele descreve um mecanismo biológico na membrana basilar capaz de justificar a percepção de sons dissonantes. Em síntese, por conta da densidade não homogênea da membrana, para cada frequência há um pico na amplitude da onda propagante em uma região diferente. Como esse pico não é discreto, é possível que haja uma intersecção entre dois picos de amplitude (isso só acontece quando os sons em questão têm frequências muito próximas). Quando há sobreposição, o sinal nervoso que é encaminhado para o cérebro é “confuso”, o que conduz à sensação de desagrado. Uma descrição mais completa do funcionamento da audição humana, em especial o da membrana basilar, descrevendo as contribuições de Helmholtz e Békésy, se encontra no livro *Good Vibration* de Parker (2010).

7 Considerações finais

A conclusão direta desse tipo de abordagem é que, se a consonância tem causas puramente biológicas, então todos os seres humanos dotados das mesmas estruturas funcionais responsáveis pela audição reconheceriam os mesmos intervalos como consonantes, o que não é o caso. Além disso, definir consonância como a falta de dissonância parece ser insuficiente para descrever satisfatoriamente alguns fenômenos musicais.

Estudos das últimas duas décadas apontam para um importante componente na construção da percepção de consonância: a linguagem falada. Shui' er Han et al (2011) demonstra que a música de falantes de línguas tonais (como o mandarim) tendem a reconhecer consonância em alguns intervalos reconhecidamente dissonantes para os falantes de línguas não tonais (como o português), vide Figura 2. Se essa hipótese estiver correta, a música, como fenômeno, deve ser abordada de maneira muito mais

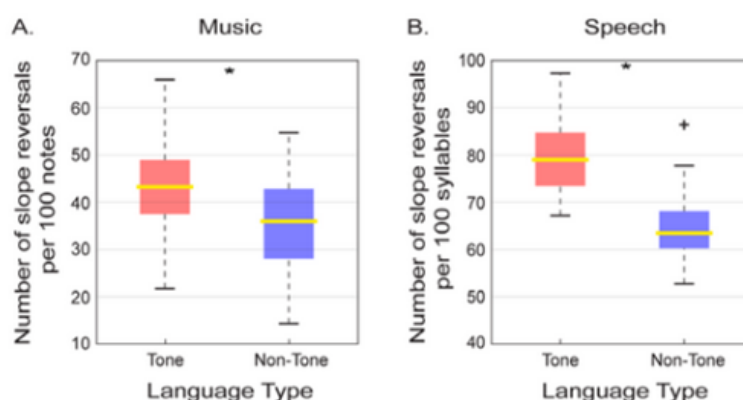


Figura 2: *Compara-se o número de intervalos utilizados na música em comparação a linguagem falada entre falantes de línguas tonais e não tonais. Esta figura consta no trabalho de Shui' er Han et al (2011).*

interdisciplinar, considerando não só seu caráter matemático, físico e biológico, mas também sua forte componente sociocultural.

8 Agradecimentos

Agradeço à Universidade de Brasília a oportunidade de compartilhar e expor esse trabalho que tive tanto prazer em desenvolver. Reafirmo a imensa gratidão que tenho pela instituição e seus profissionais que me formaram ao longo dos últimos sete anos, em especial meu orientador de mestrado, professor Antony Marco Mota Polito. Agradeço também aos organizadores e executores da XI Semana da Física pelo inestimável apoio, organização e atenção.

Referências

- [1] POLITO, Antony M. M., and Olavo L.S.F. "A filosofia da natureza dos Pré-Socráticos." Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 30, n. 2, p. 323-361. 2014.
- [2] RODRIGUES, José Francisco. "A matemática e a música." Lisboa, PT 200, 1999.
- [3] JACHELLI, Thiago. Afinação e temperamento desigual no barroco. Monografia de conclusão de curso. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010.
- [4] BOWLING, Daniel L., and Dale Purves. A biological rationale for musical consonance. Proceedings of the National Academy of Sciences 112.36, 2015.
- [5] LAGO, BL. A guitarra como um instrumento para o ensino de física ondulatória. Rev. Bras. Ensino Fís.[online] 37.1, 2015.

- [6] CAMPOS, Luís Melo, A música e os músicos como problema sociológico, *Revista Crítica de Ciências Sociais*, 78, 71-94, 2007.
- [7] MED, Bohumil. Teoria da música. Musimed, 1996.
- [8] VON BÉKÉSY, Georg. Experiments in hearing. Ed. Ernest Glen Wever. Vol. 8. New York: McGraw-Hill, 1960.
- [9] HAN, Shui'er, et al. Co-variation of tonality in the music and speech of different cultures. *PLoS One* 6.5 e20160, 2011.
- [10] PARKER, Barry. Good vibrations: the physics of music. JHU Press, 2010.