
COMPLEXIDADE MUSICAL SOB A PERSPECTIVA DA TEORIA DA INFORMAÇÃO

Luiz H. A. Monteiro*

Sandra M. D. Stump*

Resumo

O prazer musical depende das sensações de memória, reconhecimento de padrão e consonância, que são influenciados por fatores culturais, fisiológicos e psicológicos. A complexidade da peça musical é outra característica que afeta seu grau de apreciação. Uma experiência foi realizada a fim de analisar a influência da complexidade musical na sensação de prazer musical. Os ouvintes (crianças) preferiram canções com valor intermediário de complexidade, que foi avaliada usando conceitos da Teoria da Informação.

Abstract

The musical pleasure depends on the feelings of memory, pattern recognition and consonance, which are influenced by cultural, physiological and psychological factors. The complexity of a piece of music is another feature that affects its grade of enjoyment. An experiment was performed in order to analyse the influence of the musical complexity in the sensation of musical pleasure. The listeners (children) preferred the songs with an intermediate value of complexity, which was evaluated by using concepts taken from the Information Theory.

* Professores do Programa de Mestrado em Engenharia Elétrica da Universidade Presbiteriana Mackenzie.
E-mails: luizm@mackenzie.com.br e sstump@mackenzie.com.br.

1 O EXPERIMENTO

A influência das músicas de Mozart na execução de tarefas que exigem raciocínio espacial^{1,2} e o uso de estruturas rítmicas para a reabilitação de pessoas com problemas motores³ são exemplos de pesquisas sobre a interação entre percepção musical e fisiologia cerebral. A complexidade dos estímulos sensoriais aparece como um ponto central nessas discussões, que tratam das funções cerebrais relacionadas às estratégias de gerenciamento da informação. Elaboramos um experimento com o objetivo de avaliar se as músicas julgadas como as mais agradáveis têm algum tipo de complexidade melódica e/ou estrutural que pode ser quantificado e usado para explicar esse fato.

Nosso público-alvo é formado por crianças de 5 a 7 anos cursando a pré-escola da Escola Americana. Uma vantagem de se lidar com essa faixa etária é que podemos trabalhar com músicas estruturalmente mais simples – “músicas para crianças”, sem acordes nem harmonias –, o que facilita a análise informacional. Além disso, crianças têm uma bagagem cultural menor do que adolescentes ou adultos, o que as torna menos preconceituosas com relação a melodias, ritmos e timbres.

Solicitamos que a professora de música tocasse no piano quatro músicas simples, formadas por 32 notas contidas entre três oitavas consecutivas. Ao final da audição, as crianças julgavam as músicas usando uma escala pictórica do tipo *vas* (*visual analogue scale*) normalmente utilizada na avaliação de dor por pacientes com câncer.^{4,5} Construímos a escala pictórica que foi usada pelas crianças do seguinte modo: para cada música, a criança podia escolher uma entre três opções: se a criança gostasse “muito” da música, ela marcaria um X no quadrado grande; se gostasse “pouco”, assinalaria o quadrado pequeno; e, se gostasse “mais ou menos”, preencheria o quadrado de tamanho intermediário. Para reforçar essa associação entre o tamanho do quadrado e o grau de prazer musical, desenhamos um rosto sorridente abaixo do quadrado grande, um rosto infeliz abaixo do quadrado pequeno e um rosto indiferente abaixo do quadrado intermediário. Cada música foi identificada por uma cor: vermelha, azul, verde e amarela. No total, 121 crianças participaram com suas avaliações.

A música vermelha é um trecho de uma canção infantil tradicional francesa. As demais foram criadas pela professora de música. Elas seguem o mesmo padrão de composição, isto é, o mesmo ritmo da música vermelha, sendo simples variações melódicas. Inicialmente, as crianças ouviam todas as músicas de uma só vez; depois, cada música era tocada e avaliada isoladamente.

Calculamos um conceito médio para cada música, multiplicando o número de vezes que cada quadrado foi escolhido pela sua área. Obtivemos os seguintes conceitos médios, normalizados de maneira que o conceito do quadrado maior fosse igual a 10: vermelha 7,4; azul 6,6; verde 7,7; amarela 8,0. Observe que a música azul teve a pior aceitação. A música verde e a amarela foram as preferidas.

2 UMA INTRODUÇÃO À TEORIA DA INFORMAÇÃO

A linguagem e a sintaxe musicais baseiam-se em relações matemáticas de proporcionalidade entre frequências sonoras. Talvez por isso, a música represente a forma de arte que, devido a sua construção, seja a mais acessível a uma abordagem científica.

O ouvido humano percebe frequências entre 20 e 20.000Hz e níveis de intensidade entre 0 e 120dB, apresentando maior sensibilidade para frequências de 30 a 3.000Hz e intensidades de 50 a 80dB. Considerando esses limiares inferiores e superiores e os limiares diferenciais de percepção (os limiares de resolução), estima-se que o ouvido de um adulto jovem seja capaz de diferenciar 340 mil sons com o mesmo timbre, os quais apresentem apenas frequências e níveis de intensidade diferentes.⁶ A cada um desses sons pode-se atribuir um símbolo e uma probabilidade de emissão por uma fonte.

O conteúdo informacional das músicas foi avaliado usando uma medida de complexidade baseada na Teoria de Informação, originalmente empregada para analisar a quantidade de informação de mensagens enviadas por sistemas de telecomunicação. Essa teoria foi desenvolvida principalmente durante a Segunda Guerra Mundial, devido aos trabalhos em criptografia realizados por C. E. Shannon e N. Wiener.

O significado técnico da palavra informação não difere radicalmente do significado do senso comum. Uma mensagem é considerada informativa se ela expressa algo que antes era pouco esperado ou desconhecido. Isso significa que mais informação é transportada pelas mensagens menos prováveis. Essa idéia tem uma implicação importante: se é possível medir a probabilidade de ocorrência de uma mensagem, então pode-se medir seu conteúdo de informação de forma similar. De fato, a Teoria de Informação baseia-se em probabilidade; mais especificamente, na quantidade de vezes que cada símbolo é emitido por uma fonte.

Shannon definiu o conteúdo informacional h_i de um símbolo i através da relação $h_i = \log\left(\frac{1}{p_i}\right)$, sendo p_i sua probabilidade de ocorrência. Usando-se a base 2 para o cálculo do logaritmo, h_i é expresso em bits. Assim, um bit é a quantidade de informação necessária para comunicar qual entre dois eventos equiprováveis foi o escolhido (pois, no caso em que $p_1 = p_2 = \frac{1}{2}$, então $h_1 = h_2 = 1$ bit).

Para o caso em que há N símbolos alternativos, cada qual com probabilidade de ocorrência p_i ($\sum_i p_i = 1$) e quantidade de informação h_i , a quantidade média de

informação H obtida por símbolo recebido é dada pela média ponderada dos h_i , isto é $H = \sum_i (p_i h_i)$, ou:^{7,8}

$$H = \sum_i p_i \log_2 \left(\frac{1}{p_i} \right)$$

Shannon chamou H de entropia informacional. Esse número caracteriza uma fonte emissora de símbolos, revelando a quantidade média de informação que ela emite, em bits por símbolo.

Uma seqüência de notas musicais pode ser vista como uma fileira de caracteres e como tal, ter seu conteúdo informacional quantificado.

3 ANÁLISE DE DADOS

Em 1965, A. N. Kolmogorov e G. J. Chaitin propuseram, independentemente, que a complexidade de uma seqüência de símbolos é o algoritmo mínimo necessário para gerar a seqüência, ou, equivalentemente, o espaço de memória necessário para armazenar tal seqüência, dado que essa foi codificada de uma forma ótima, ou seja, de acordo com o conteúdo informacional de cada símbolo.⁹

Essa maneira de medir complexidade, através de custo computacional, tem sido usada em diversos contextos. Por exemplo: M. Anand e L. Orlóci empregaram-na para medir a complexidade de uma comunidade de plantas;¹⁰ J. R. C. Piqueira e A. A. Benedito-Silva a utilizaram no estudo do estabelecimento do ritmo circadiano no ciclo vigília-sono em recém-nascidos.¹¹

Usamos essa idéia para avaliar a complexidade das músicas. Para cada nota musical i , calculamos sua freqüência de ocorrência, ou seja, o número de vezes que ela apareceu dividido pelo número total de notas das quatro músicas ($128 = 4 \times 32$). Assumimos que essa freqüência relativa é a probabilidade p_{i_i} de nosso piano emitir a nota i . Para cada p_{i_i} , determinamos seu conteúdo informacional h_{i_i} medido em bits, através da expressão $h_{i_i} = \log_2 \left(\frac{1}{p_{i_i}} \right)$. O valor de h_{i_i} assim calculado corresponde ao número de bits que é necessário para armazenar a nota musical i numa memória de computador, supondo que: 1) essas notas são geradas por um piano com entropia informacional H calculada a partir da fórmula de Shannon; e 2) pretende-se codificar tais notas segundo um código ótimo ou quase ótimo, como o código de Huffman,¹² no qual as notas mais prováveis são codificadas por símbolos de menor comprimento e vice-versa. A entropia H dá o limite inferior para o comprimento médio do código.

Definimos o valor do conteúdo de informação de uma música como a medida de complexidade $C_1 = \sum h_{i_i}$ que foi calculada somando-se o número de bits necessário para armazenar as 32 notas de cada música. Sequências mais monótonas devem ter menor complexidade do que sequências mais variadas. Obtivemos os seguintes valores: vermelha 89; azul 119; verde 107; amarela 90 bits.

Assim, a música azul é a que apresenta maior complexidade, tomando-se apenas a probabilidade de aparecimento das notas. Nesse cálculo, contudo, não se levou em conta a estrutura musical, isto é, o encadeamento das notas. Por isso, definimos uma segunda medida de complexidade C_2 que leva em consideração a diferença de altura entre notas sucessivas. Nossas quatro canções apresentam somente doze variações de altura entre duas notas sucessivas. Calculamos a frequência relativa com que o piano emite duas notas consecutivas com variação de altura j e, novamente, tomamos essa frequência relativa como uma probabilidade p_{2j} e determinamos o conteúdo informacional h_{2j} . A medida de complexidade C_2 é dada por $C_2 = \sum h_{2j}$. Músicas mais regulares e previsíveis devem ter complexidade menor do que músicas compostas de maneira mais livre. Encontramos os seguintes valores para C_2 : vermelha 65; azul 92; verde 81; amarela 83 bits.

A música vermelha e a amarela são formadas pelas mesmas notas musicais em proporções similares; conseqüentemente, seus valores de C_1 são quase idênticos. Contudo, a amarela apresenta variações mais irregulares entre alturas consecutivas. Por isso, seu valor de C_2 é maior.

Os valores de complexidade apresentados acima revelam que a música estruturalmente mais simples é a vermelha, pois tem os menores valores de C_1 e C_2 , ou seja, suas 32 notas podem ser armazenadas de modo a ocupar um espaço de memória menor do que as outras. No outro extremo, aparece a música azul, como sendo a menos simples.

Comparando essas medidas de complexidade com as avaliações feitas pelas crianças, notamos que as músicas que mais agradaram foram a verde e a amarela: aquelas que se encontram num nível intermediário de complexidade. Exagerando, as músicas com maior aceitação foram aquelas situadas entre o “monótono” e o “aleatório”.

4 CONCLUSÕES

Voss e Clarke^{13,14} realizaram experimentos que corroboram nossos resultados. Eles geraram músicas aleatórias em computador com espectro de potência obedecendo ao vínculo $\frac{1}{f^v}$ com $v = 0,1,2$ (f é a frequência). O caso $v = 0$ representa o espectro

uniforme de um ruído branco em que as variações do sinal são muito rápidas e não correlacionadas; o caso $\nu = 2$ descreve um sinal que exhibe variações lentas e fortemente correlacionadas. O caso $\nu = 1$ é intermediário entre a seqüência aleatória ($\nu = 0$) e a “previsível” ($\nu = 2$) e, curiosamente, aparece em vários sistemas biológicos e físicos, como membranas de neurônios e dispositivos semicondutores.¹⁵ Voss e Clarke descobriram que as pessoas julgaram as melodias com $\nu = 1$ como as mais interessantes; isto é, os ouvintes preferiram melodias com nível intermediário de complexidade. Nossa conclusão parece estar de acordo com esses resultados. Assim, as músicas “que mais agradam” parecem ser aquelas que se situam entre o simples e o intrincado, no sentido de complexidade algorítmica de Kolmogorov e Chaitin.

Investigações quantitativas sobre formas de expressão artística, usando métodos científicos, são sempre passíveis de críticas. É claro que nossos resultados podem ter sido distorcidos por vários fatores: o tamanho curto das melodias, o número relativamente pequeno de músicas e de crianças envolvidas, a escala pictórica de avaliação com apenas três opções, a possibilidade de a criança estar avaliando a cor da música, e não sua melodia. Outro ponto importante: os tamanhos diferentes dos quadrados na nossa escala correspondem, de fato, aos graus diferentes de prazer musical? Essa relação métrica é válida? A quantificação do prazer musical é um problema difícil, que merece um estudo mais aprofundado. Como o número de crianças que participaram é relativamente pequeno e as melodias usadas são relativamente curtas, a relevância estatística de nossos resultados deve ser “pequena” e, por isso, nem tentamos quantificá-la.

Encontrar características melódicas e estruturais que afetam a sensação de prazer musical não é uma tarefa fácil. Nossa intenção não é dar uma resposta simples e conclusiva para esse problema. Nosso principal objetivo aqui foi apresentar um método para quantificar complexidade musical e estimular outros pesquisadores a executar experimentos similares.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à professora de música Déborah Agria de Oliveira Melo da Silva, da Escola Americana, pela composição das músicas e aplicação dos testes. Sua disposição e colaboração foram fundamentais para a realização deste projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. RAUSCHER, F.H. et al. Music and spatial task performance. *Nature*, n.365, p.611, 1993.
2. RAUSCHER, F.H. Prelude or requiem for the "Mozart effect"? *Nature*, n.400, p.827-828, 1999.
3. THAUT, M.H. et al. The connection between rhythmicity and brain function. *IEEE Eng. Med. Biol.*, n.18, p.101-108, 1999.
4. AITKEN, R.C.B. Measurement of feelings using visual analogue scales. *Proc. Roy. Soc. Med.*, n.62, p.989-993, 1969.
5. CUTSON, T.M. Management of cancer pain. *Prim. Care*, n.25, p.407-421, 1998.
6. MOLES, A. *Teoria da informação e percepção estética*. Rio de Janeiro: Tempo Brasileiro, 1978.
7. SHANNON, C.E. A mathematical theory of communication. *Bell Syst. Tech. J.*, n.27, p.379-423 & 623-656, 1948.
8. SHANNON, C.E., WEAVER, W. *The mathematical theory of communication*. Illinois: University of Illinois Press, 1949.
9. CHAITIN, G.J. Randomness and mathematical proof. *Sci. Am.*, n. 232(5), p.47-52, 1975.
10. ANAND, M., ORLÓCI, L. Complexity in plant communities: the notion and quantification. *J. Theor. Biol.*, n.179, p.179-186, 1996.
11. PIQUEIRA, J.R.C., BENEDITO-SILVA, A.A. Auto-organização e complexidade: o problema do desenvolvimento do ciclo vigília-sono. *Revista Estudos Avançados do IEA-USP*, n.12(33), p.197-212, 1998.
12. HUFFMAN, D.A. A method for the construction of minimum-redundancy codes. *Proc. IRE*, n.40, p.1098-1101, 1952.
13. VOSS, R.F., CLARKE, J. *1/f* noise in music and speech. *Nature*, n.258, p.317-318, 1975.
14. VOSS, R.F., CLARKE, J. *1/f* noise in music: music from *1/f* noise. *J. Acoust. Soc. Am.*, n.63, p.258-263, 1978.
15. SCHROEDER, M. *Fractals, chaos, power laws*. New York: W.H. Freeman, 1991.