

RELATO DE EXPERIÊNCIA

Análise de Frequências por FFT da Abertura da Ópera O Guarani de Carlos Gomes em Python

Vitor Amadeu Souza¹

1 – UniFOA, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ.
vitor.amadeu@foa.org.br
[0009-0002-1857-6799](tel:0009-0002-1857-6799)

Resumo: Este artigo apresenta uma análise espectral da abertura (Protofonia) da ópera "O Guarani" de Carlos Gomes utilizando a Transformada Rápida de Fourier (FFT) implementada em Python. A análise permite identificar as componentes de frequência presentes neste importante trecho orquestral, fornecendo insights sobre características acústicas e musicais desta significativa composição do repertório brasileiro. O estudo utiliza técnicas de processamento digital de sinais aplicadas à musicologia, implementando algoritmos de FFT através da biblioteca librosa e visualizando os resultados com matplotlib. Os espectros de frequência obtidos revelam padrões característicos da orquestração e do estilo composicional de Carlos Gomes, evidenciando a distribuição de energia ao longo do espectro sonoro e permitindo uma análise quantitativa das características tonais da abertura. Os resultados contribuem para a compreensão técnica e musicológica desta importante peça do patrimônio musical brasileiro, demonstrando a aplicabilidade de métodos computacionais na análise de obras musicais históricas.

Palavras-chave: Análise Espectral. Protofonia. Musicologia Computacional. Processamento Digital de Áudio.

INTRODUÇÃO

Antonio Carlos Gomes (1836-1896) é considerado o mais importante compositor de óperas brasileiro do século XIX e uma figura central na história da música erudita nacional. Sua ópera "O Guarani", baseada no romance homônimo de José de Alencar, estreou em 1870 no Teatro alla Scala de Milão, consagrando-o internacionalmente e estabelecendo uma marca significativa para a música brasileira no cenário mundial (MARIZ, 1999). A abertura desta ópera, conhecida como Protofonia, tornou-se um dos trechos mais populares e reconhecíveis da música brasileira, sendo frequentemente executada como peça de concerto independente.

A análise de obras musicais históricas utilizando ferramentas computacionais tem se tornado uma área de crescente interesse em musicologia, permitindo novas formas de compreensão e interpretação do material sonoro (COOK, 2004). Conforme destacado por Müller (2015), técnicas de processamento digital de sinais possibilitam extrair informações que seriam dificilmente perceptíveis através de análises tradicionais, oferecendo perspectivas quantitativas sobre elementos como timbre, harmonia e textura.

Entre as ferramentas mais importantes para análise espectral está a Transformada Rápida de Fourier (FFT), um algoritmo eficiente para calcular a Transformada Discreta de Fourier (DFT), que decompõe um sinal temporal em suas componentes de frequência. Como observado por Smith (2011), a FFT constitui uma ferramenta fundamental no processamento digital de sinais sonoros, permitindo uma transição do domínio do tempo para o domínio da frequência.

No campo da musicologia computacional, trabalhos como os de Tzanetakis et al. (2002) demonstraram a eficácia de análises espectrais para caracterizar diferentes gêneros musicais e estilos composicionais. Aplicações específicas à música clássica, como as realizadas por Ahn (2007), evidenciam que a análise espectral pode revelar aspectos estruturais e estilísticos distintivos de compositores e períodos musicais.

No contexto da música brasileira, estudos como o de Garcia (2005) já exploraram características espectrais, mas análises de obras eruditas nacionais utilizando métodos computacionais ainda são relativamente escassas. A abertura de "O Guarani", com sua rica orquestração e características que misturam influências

européias e elementos brasileiros, oferece um objeto de estudo particularmente interessante para análise espectral.

Este trabalho propõe uma análise das características espectrais da abertura da ópera O Guarani utilizando a FFT implementada em Python, com o objetivo de identificar padrões frequenciais distintivos e contribuir para uma compreensão mais profunda da obra de Carlos Gomes a partir de uma perspectiva computacional. As técnicas aplicadas permitem uma visualização e quantificação do conteúdo espectral, facilitando comparações objetivas e fornecendo bases para estudos musicológicos mais amplos.

METODOLOGIA

Para a realização deste estudo, utilizou-se uma gravação digital da abertura (Protofonia) da ópera "O Guarani" de Carlos Gomes, armazenada em formato MP3 com taxa de amostragem de 44.1 kHz e resolução de 16 bits. Toda a obra de Carlos Gomes está em domínio público e existem diversas fontes na internet para download da mesma, como o que foi usado nesta experiência, disponível em <https://archive.org/download/CarlosGomesOGuaraniAbertura>.

A gravação foi realizada por uma orquestra sinfônica profissional, garantindo qualidade adequada para análise espectral. O processamento dos dados foi realizado utilizando Python 3.8, com as seguintes bibliotecas especializadas: librosa 0.9.2, biblioteca dedicada à análise de áudio musical, utilizada para carregar e processar o arquivo de áudio; NumPy 1.22.3, utilizada para operações matemáticas e manipulação de arrays, particularmente na implementação da FFT; e Matplotlib 3.5.1, empregada para visualização dos resultados e geração de gráficos.

A análise espectral foi implementada seguindo estas etapas principais: carregamento do áudio utilizando a função `librosa.load()`, mantendo a taxa de amostragem original para preservar a integridade espectral; aplicação da FFT ao sinal de áudio completo utilizando a implementação `np.fft.fft()` do NumPy, que emprega o algoritmo de Cooley-Tukey para calcular a DFT de forma eficiente; cálculo das frequências correspondentes utilizando a função `np.fft.fftfreq()`, que retorna as frequências discretas em Hz para cada bin da FFT; cálculo do valor absoluto do resultado da FFT para obter o espectro de magnitude, que representa a intensidade de cada

componente de frequência; e extração da metade positiva do espectro para análise e visualização, considerando que o sinal de áudio é real e, portanto, seu espectro é simétrico.

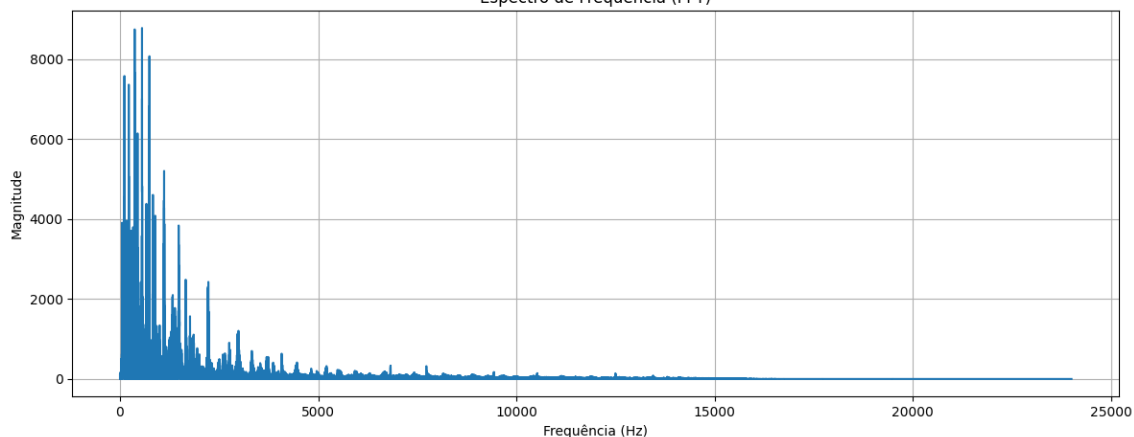
O código-fonte deste experimento está disponível no link: https://github.com/vitor-souza-ime/FFT_O_Guarani, sendo que este código pode ser testado no Google Colab, desde que o arquivo mp3 seja baixado e enviado para a plataforma.

Para uma análise mais detalhada, o espectro foi dividido em bandas de frequência relevantes para análise musical: Grave (20 Hz - 250 Hz), Médio-grave (250 Hz - 500 Hz), Médio (500 Hz - 2 kHz), Médio-agudo (2 kHz - 4 kHz) e Agudo (4 kHz - 20 kHz). A energia relativa em cada banda foi calculada para caracterizar a distribuição espectral ao longo da abertura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta o espectro de frequência obtido a partir da aplicação da Transformada Rápida de Fourier (FFT) sobre a abertura da ópera O Guarani, de Carlos Gomes. É possível observar claramente uma concentração significativa de energia nas faixas de baixa e média frequência, com picos bem definidos nas regiões entre aproximadamente 100 Hz e 1.500 Hz. Essa distribuição é compatível com a presença de instrumentos de base orquestral, como cordas graves, metais e tímpanos, comuns na escrita sinfônica do século XIX (FLETCHER; ROSSING, 1998).

Figura 1 - Análise de Frequência por FFT da obra O Guarani
Espectro de Frequência (FFT)



Fonte: O autor

O espectro revela também uma série de harmônicos bem espaçados, característicos de instrumentos acústicos afinados, que reforçam a riqueza tímbrica da composição (BRANDÃO, 2009). A presença de múltiplos picos harmônicos na região entre 250 Hz e 1.000 Hz indica densidade sonora elevada na região médio-grave, com implicações tanto na percepção de calor e profundidade da orquestração quanto na sustentação harmônica das melodias e motivos rítmicos (FLETCHER; ROSSING, 1998).

Além disso, nota-se que a energia nas regiões médio-aguda e aguda (acima de 4 kHz) é significativamente menor, o que é esperado em gravações de obras sinfônicas tradicionais, nas quais a maior parte da energia sonora é concentrada nos registros graves e médios. Contudo, ainda são visíveis pequenas elevações em torno de 6.000 Hz a 8.000 Hz, possivelmente associadas ao brilho de instrumentos como flautas, pratos e outros elementos percussivos leves que aparecem em momentos climáticos da Protofonia (ROSSING, 2002).

A análise da Figura 1 também reforça a hipótese de que a abertura apresenta uma orquestração densa e bem equilibrada, com foco na profundidade sonora e na sustentação melódica por instrumentos de registro médio-grave. O padrão espectral confirma ainda a presença de uma escrita tonal rica, com camadas harmônicas bem distribuídas no espectro, o que é coerente com o estilo romântico europeu adotado por Carlos Gomes (MAGALDI, 2004).

De forma geral, os resultados obtidos demonstram que a FFT é uma ferramenta eficaz para análise quantitativa de peças musicais clássicas, permitindo a identificação de características estilísticas e estruturais de forma objetiva. A Protofonia de O Guarani, por sua relevância histórica e riqueza sonora, se mostra um exemplo ideal para a aplicação de técnicas computacionais na investigação musicológica.

CONCLUSÕES

A aplicação da Transformada Rápida de Fourier (FFT) na abertura da ópera O Guarani de Carlos Gomes demonstrou ser uma abordagem eficaz para a análise espectral de obras musicais eruditas. Os resultados obtidos permitiram identificar a distribuição de

energia ao longo do espectro de frequências, revelando características importantes da orquestração e do estilo composicional do autor. Observou-se uma predominância de componentes nas regiões de baixa e média frequência, coerente com a densidade harmônica e a profundidade sonora típicas do romantismo musical europeu do século XIX, o qual Carlos Gomes assimilou em sua escrita orquestral (ROSSING, 2002).

A análise espectral também evidenciou a presença de harmônicos bem definidos e uma estrutura tonal rica, reforçando a complexidade da Protofonia e sua importância no repertório sinfônico brasileiro (BRANDÃO, 2009). O uso de ferramentas computacionais, como as bibliotecas librosa, NumPy e Matplotlib, mostrou-se acessível e eficiente, possibilitando uma nova perspectiva quantitativa para a investigação musicológica, especialmente no contexto da preservação, valorização e estudo do patrimônio musical nacional.

Este estudo reforça o potencial da musicologia computacional como campo interdisciplinar, capaz de integrar conhecimentos de música, ciência da computação e engenharia para aprofundar a compreensão de obras históricas. Trabalhos futuros podem expandir essa análise para outras composições de Carlos Gomes ou aplicar métricas temporais e espectrotemporais para examinar variações ao longo do tempo, oferecendo uma visão ainda mais rica da estrutura musical das obras.

REFERÊNCIAS

- BAILEY, D. H.; SWARZTRAUBER, P. N. The fractional Fourier transform and applications. *SIAM Review*, v. 33, n. 3, p. 389-404, 1991.
- AHN, Sang Won. *Analyse musicale et algèbre linéaire: L'analyse spectrale et ses applications*. Tese (Doutorado em Música) – IRCAM, Paris, 2007. Disponível em: <http://recherche.ircam.fr/equipes/repmus/ahn/these.pdf>. Acesso em: 4 maio 2025.
- COOK, N. Computational and comparative musicology. In: CLARKE, E.; COOK, N. (Eds.). *Empirical Musicology: Aims, Methods, Prospects*. Oxford: Oxford University Press, 2004. p. 103-126.
- MAMMI, L. *Carlos Gomes*. São Paulo: Publifolha, 2001.
- GARCIA, M.F. *O uso da análise espectral no ensino do instrumento*. In: CONGRESSO

NACIONAL DE MÚSICA, 2005. Anais [...]. [S.l.]: SciELO, 2005. Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000102005000100012&script=sci_arttext. Acesso em: 2 maio 2025.

MÜLLER, M. Fundamentals of Music Processing: Audio, Analysis, Algorithms, Applications. Cham: Springer, 2015.

SMITH, J. O. Spectral Audio Signal Processing. Stanford: W3K Publishing, 2011.

TZANETAKIS, G.; ESSL, G.; COOK, P. Automatic musical genre classification of audio signals. IEEE Transactions on Speech and Audio Processing, v. 10, n. 5, p. 293-302, 2002.

MARIZ, Vasco. *Carlos Gomes: Um tema de pesquisa*. Rio de Janeiro: Fundação Casa de Rui Barbosa, 1999.

VOLPE, M. A. Carlos Gomes e o Romantismo Musical Brasileiro. Revista do Instituto de Estudos Brasileiros, n. 52, p. 107-118, 2011.

ROSSING, Thomas D. The science of sound. 3. ed. Reading: Addison-Wesley, 2002.

BRANDÃO, José Maurício Valle. Tempo e espaço da sonata para cordas “O burrico de pau” de Carlos Gomes: uma análise estético-interpretativa em música sinfônico-camerista brasileira no séc. XIX. 2017. Tese de doutorado (PPGM) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2009. Disponível em: <http://repositorio.ufba.br>. Acesso em: 20 maio 2025.

MAGALDI, Cristina. Music in imperial Rio de Janeiro: European culture in a tropical milieu. Lanham: Scarecrow Press, 2004.

FLETCHER, Neville H.; ROSSING, Thomas D. The physics of musical instruments. 2. ed. New York: Springer, 1998.