

## **Análise quantitativa da complexidade visual de pinturas do renascimento, barroco, romantismo e impressionismo através de entropia e transformada rápida de Fourier**

Vitor Amadeu Souza<sup>1</sup>; 0009-0002-1857-6799

1 – UniFOA, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ.  
[vitor.amadeu@foa.org.br](mailto:vitor.amadeu@foa.org.br)

**Resumo:** Este estudo apresenta uma análise quantitativa da complexidade visual em quatro períodos distintos da história da arte ocidental: Renascimento, Barroco, Romantismo e Impressionismo. Utilizando técnicas de processamento digital de imagens, especificamente cálculos de entropia de Shannon e análise espectral através da Transformada Rápida de Fourier (FFT), foram analisadas obras representativas de cada período: Mona Lisa de Leonardo da Vinci (Renascimento), Las Meninas de Diego Velázquez (Barroco), O Andarilho sobre o Mar de Névoa de Caspar David Friedrich (Romantismo) e Impressão, Nascer do Sol de Claude Monet (Impressionismo). Os resultados revelaram diferenças significativas na distribuição de informação visual entre os períodos, com o Renascimento apresentando a maior entropia média (7,10 bits) e o Impressionismo a menor (6,23 bits). A análise FFT demonstrou padrões espectrais distintos que refletem as características técnicas e estilísticas de cada movimento artístico. Este trabalho contribui para o campo emergente da análise digital de arte, oferecendo uma abordagem quantitativa complementar aos métodos tradicionais de crítica e história da arte.

**Palavras-chave:** Entropia de Shannon. Transformada de Fourier. História da Arte. Processamento Digital de Imagens. Análise Quantitativa.

## INTRODUÇÃO

A análise quantitativa de obras de arte tem emergido como um campo interdisciplinar promissor, combinando métodos computacionais avançados com estudos tradicionais de história da arte (Elgammal *et al.*, 2017). A aplicação de técnicas de processamento digital de imagens permite uma abordagem objetiva para caracterizar aspectos visuais que tradicionalmente dependiam apenas de interpretação subjetiva. Dentro deste contexto, a entropia de Shannon e a análise espectral através da FFT emergem como ferramentas para quantificar a complexidade visual e identificar características distintivas de diferentes períodos artísticos.

A entropia de Shannon, originalmente desenvolvida para teoria da informação por Claude Shannon em 1948, mede a quantidade de informação contida em um sistema, sendo amplamente aplicada em análise de imagens para quantificar a complexidade visual e a distribuição de intensidades de pixel (Shannon, 1948). Em contextos artísticos, altos valores de entropia indicam maior variabilidade tonal e complexidade compositiva, enquanto baixos valores sugerem uniformidade e simplicidade visual (Machado & Cardoso, 1998). Diversos estudos têm demonstrado a eficácia da entropia como métrica para classificação automática de estilos artísticos e análise de características visuais (Shamir, 2012).

A Transformada Rápida de Fourier, por sua vez, permite decompor imagens em componentes de frequência, revelando padrões ocultos na estrutura compositiva das obras (Gonzalez & Woods, 2018). No domínio da frequência, características como texturas, contornos e padrões repetitivos tornam-se evidentes através da distribuição espectral. Estudos recentes têm aplicado análise de Fourier para identificar assinaturas espectrais únicas de diferentes artistas e movimentos artísticos (Johnson *et al.*, 2008; Lyu *et al.*, 2004).

O Renascimento (séculos XIV-XVI) caracterizou-se pela busca da perfeição técnica, uso da perspectiva linear e representação idealizada da realidade, tendo em Leonardo da Vinci um de seus maiores expoentes (Vasari, 1550; Burckhardt, 1860). O período Barroco (século XVII) distinguiu-se pelo dramatismo, contrastes intensos de luz e sombra (*chiaroscuro*) e composições dinâmicas, exemplificados magistralmente na obra de Diego Velázquez (Wölfflin, 1888). O Romantismo (final do século XVIII ao

meio do XIX) enfatizou a expressão emocional, o sublime na natureza e a individualidade artística, com Caspar David Friedrich representando paradigmaticamente estes ideais (Rosenblum, 1975). O Impressionismo (segunda metade do século XIX) revolucionou a pintura através da captura de efeitos luminosos instantâneos, pinceladas soltas e cores puras, sendo Claude Monet um de seus principais precursores (Herbert, 1988).

Embora existam estudos isolados aplicando métricas computacionais a análises artísticas, permanece uma lacuna na literatura quanto à comparação sistemática de diferentes períodos históricos utilizando abordagens quantitativas integradas. Este trabalho visa preencher esta lacuna através de uma análise comparativa, combinando entropia de Shannon e análise espectral FFT para caracterizar quantitativamente as diferenças estilísticas entre Renascimento, Barroco, Romantismo e Impressionismo. A hipótese central do estudo é que cada período artístico apresenta assinaturas quantitativas distintivas que refletem suas características estéticas e técnicas particulares.

## **MÉTODOS**

Para este estudo, foram selecionadas quatro obras emblemáticas representativas de seus respectivos períodos artísticos, todas disponíveis em domínio público através da Wikimedia Commons: Mona Lisa de Leonardo da Vinci (c. 1503-1519) representando o Renascimento; Las Meninas de Diego Velázquez (1656) representando o Barroco; O Andarilho sobre o Mar de Névoa de Caspar David Friedrich (1818) representando o Romantismo; e Impressão, Nascer do Sol de Claude Monet (1872) representando o Impressionismo.

O processamento das imagens foi realizado utilizando a linguagem Python com as bibliotecas NumPy para computação numérica, PIL (Python Imaging Library) para manipulação de imagens, Matplotlib para visualização, SciPy para cálculos estatísticos e Requests para download das imagens. Todas as imagens foram convertidas para o espaço de cores RGB e redimensionadas para 256x256 pixels para padronização, seguindo protocolos estabelecidos na literatura (Shamir, 2012; Elgammal *et al.*, 2017).

O cálculo da entropia de Shannon foi aplicado independentemente aos três canais de cor (R, G, B) de cada imagem. Para cada canal, foi construído um histograma normalizado com 256 níveis de intensidade (0-255), e a entropia foi calculada utilizando a fórmula clássica  $H(X) = -\sum p(x)\log_2 p(x)$ , onde  $p(x)$  representa a probabilidade de ocorrência de cada nível de intensidade (Shannon, 1948). Valores próximos a zero indicam distribuições uniformes (baixa complexidade), enquanto valores próximos ao máximo teórico de 8 bits indicam distribuições equiprováveis (alta complexidade).

Para a análise espectral, cada imagem colorida foi inicialmente convertida para escala de cinza através da média aritmética dos três canais RGB. Subsequentemente, foi aplicada a Transformada Rápida de Fourier bidimensional utilizando o algoritmo FFT implementado na biblioteca NumPy. O espectro resultante foi deslocado utilizando a função `fftshift` para centralizar as componentes de baixa frequência, e a magnitude espectral foi calculada e normalizada em escala logarítmica decibel para melhor visualização dos padrões de frequência (Gonzalez & Woods, 2018).

As imagens foram baixadas diretamente dos servidores da Wikimedia utilizando headers HTTP apropriados para evitar bloqueios, e o tratamento de exceções foi implementado para garantir robustez do processamento. A visualização dos resultados foi realizada através de subplots organizados em matriz 2x4, com as imagens originais na linha superior e seus respectivos espectros FFT na linha inferior, incluindo barras de cor para interpretação quantitativa dos valores espectrais.

O código-fonte está disponível para download através do link: [https://github.com/vitor-souza-ime/entropia\\_fft](https://github.com/vitor-souza-ime/entropia_fft).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A obra renascentista Mona Lisa apresentou os valores mais elevados de entropia, com 7,60 bits no canal vermelho, 7,39 bits no canal verde e 6,32 bits no canal azul, resultando numa média de 7,10 bits. Estes valores elevados refletem a sofisticada técnica do *sfumato* empregada por Leonardo da Vinci, caracterizada por transições graduais e sutis entre tons, criando uma rica variabilidade tonal que se manifesta quantitativamente através da alta entropia (Kemp, 2004). A predominância de informação nos canais vermelho e verde é consistente com a paleta de cores terrosas

típica do Renascimento e com a técnica de modelagem de volumes através de variações cromáticas delicadas.

A análise da obra barroca *Las Meninas* revelou entropia moderada, com 6,91 bits no canal vermelho, 6,62 bits no verde e 6,21 bits no azul, perfazendo uma média de 6,58 bits. Estes valores intermediários refletem o equilíbrio característico de Velázquez entre áreas de alto contraste (típicas do *chiaroscuro* barroco) e regiões de transição mais suaves. A técnica velazquiana de alternância entre precisão detalhada e sugestão pictórica manifesta-se através desta entropia moderada, indicando uma distribuição equilibrada de informação visual sem os extremos de uniformidade ou complexidade máxima (Brown, 1988).

O *Andarilho sobre o Mar de Névoa*, representativa do Romantismo, apresentou entropia relativamente elevada e notavelmente equilibrada entre os canais: 7,16 bits no vermelho, 7,10 bits no verde e 7,19 bits no azul, com média de 7,15 bits. Esta distribuição homogênea entre canais cromáticos e os valores elevados de entropia refletem a técnica de Friedrich de criar atmosferas complexas através de gradações sutis entre névoa, luz e sombra, característico da representação romântica do sublime natural (Koerner, 1990).

A obra impressionista *Impressão* apresentou os menores valores de entropia: 6,63 bits no canal vermelho, 6,14 bits no verde e 5,92 bits no azul, resultando na menor média geral de 6,23 bits. Estes valores mais baixos são consistentes com a técnica impressionista de simplificação formal e uso de cores puras aplicadas em manchas relativamente uniformes, criando áreas de intensidade cromática mais homogênea em comparação com as técnicas de modelagem gradual dos períodos anteriores (House, 1986).

A análise espectral através da FFT revelou padrões distintivos que complementam e corroboram os resultados de entropia. O espectro da *Mona Lisa* demonstrou concentração predominante de energia em frequências médias, indicativo da técnica de modelagem gradual sem contrastes abruptos nem uniformidades excessivas. A distribuição espectral apresenta um decaimento suave das baixas para as altas frequências, característica de imagens com transições tonais delicadas e detalhamento moderado.

Las Meninas apresentou um espectro com maior concentração de energia em baixas frequências, intercalada com picos em frequências médias e altas, refletindo a alternância característica entre grandes massas compositivas (figuras, ambiente) e detalhes precisos (rostos, tecidos, objetos). Esta distribuição espectral bimodal é consistente com a técnica barroca de contrastar áreas de síntese pictórica com zonas de alta definição.

O espectro do Andarilho revelou uma distribuição mais uniforme através das diferentes frequências, com predominância sutil em médias frequências. Esta característica espectral reflete a técnica de Friedrich de criar texturas atmosféricas complexas através da sobreposição de elementos naturais (rochas, névoa, vegetação) em escalas variadas, gerando um espectro rico e equilibrado que corresponde aos altos valores de entropia observados.

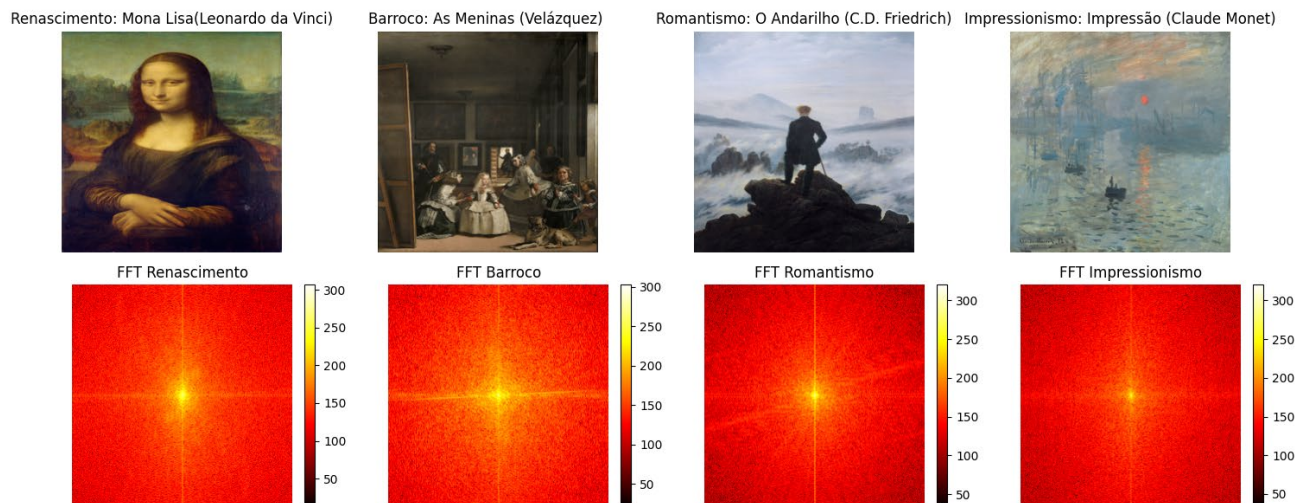
Impressão, Nascer do Sol apresentou concentração marcante de energia em baixas frequências, com decaimento acentuado nas frequências médias e altas. Esta distribuição espectral é consistente com a técnica impressionista de simplificação formal e uso de pinceladas largas, resultando numa imagem dominada por formas gerais e padrões de larga escala, com menor presença de detalhes de alta frequência.

A correlação entre os resultados de entropia e análise espectral demonstra a complementaridade destas métricas na caracterização quantitativa de estilos artísticos. Obras com alta entropia (Renascimento e Romantismo) tenderam a apresentar distribuições espectrais mais ricas e equilibradas, enquanto a obra com menor entropia (Impressionismo) mostrou concentração espectral em baixas frequências. O Barroco ocupou uma posição intermediária em ambas as métricas, refletindo suas características estilísticas de síntese entre precisão e síntese pictórica.

Estes resultados sugerem que diferentes movimentos artísticos desenvolveram assinaturas quantitativas distintivas que refletem suas filosofias estéticas e técnicas específicas. O Renascimento, com sua busca pela perfeição mimética, gerou alta complexidade informacional através de modelagem gradual sofisticada. O Impressionismo, priorizando a captura de efeitos luminosos instantâneos sobre o detalhamento, resultou em menor complexidade informacional mas com distribuição espectral característica. O Romantismo e o Barroco ocuparam posições

intermediárias, cada um com padrões distintivos que correspondem às suas respectivas abordagens estilísticas. A Figura 1 apresenta os resultados obtidos com o experimento elaborado.

Figura 1 - Resultados de FFT de cada obra



Fonte: O autor.

## CONCLUSÕES

A metodologia desenvolvida oferece um protocolo replicável para análises quantitativas comparativas em história da arte, abrindo perspectivas para estudos de maior escala envolvendo múltiplas obras e artistas. Futuros trabalhos poderão expandir esta abordagem incorporando métricas adicionais de complexidade visual, análises de redes neurais convolucionais e estudos longitudinais que examinem a evolução quantitativa de características visuais ao longo de períodos históricos estendidos. A integração de métodos computacionais com estudos humanísticos tradicionais representa um caminho promissor para o avanço do conhecimento interdisciplinar em arte e tecnologia.

## REFERÊNCIAS

- BROWN, J. Velázquez: Painter and Courtier. New Haven: Yale University Press, 1988.
- BURCKHARDT, J. The Civilization of the Renaissance in Italy. London: Phaidon Press, 1860.
- WÖLFFLIN, H. Renaissance and Baroque. Munich: Theodor Ackermann, 1888.



ELGAMMAL, A. et al. CAN: Creative Adversarial Networks, Generating "Art" by Learning About Styles and Deviating from Style Norms. Proceedings of the 8th International Conference on Computational Creativity, p. 96-103, 2017. DOI: 10.48550/arXiv.1706.07068. Acesso em: 15 ago. 2025.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. Digital Image Processing. 4. ed. New York: Pearson, 2018.

HERBERT, R. L. Impressionism: Art, Leisure, and Parisian Society. New Haven: Yale University Press, 1988.

HOUSE, J. Monet: Nature into Art. New Haven: Yale University Press, 1986.

JOHNSON, C. R. et al. Image processing for artist identification. IEEE Signal Processing Magazine, v. 25, n. 4, p. 37-48, 2008. DOI: 10.1109/MSP.2008.923513. Acesso em: 15 ago. 2025.

KEMP, M. Leonardo da Vinci: The Marvellous Works of Nature and Man. Oxford: Oxford University Press, 2004.

KOERNER, J. L. Caspar David Friedrich and the Subject of Landscape. London: Reaktion Books, 1990.

LYU, S.; ROCKMORE, D.; FARID, H. A digital technique for art authentication. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 101, n. 49, p. 17006-17010, 2004. DOI: 10.1073/pnas.0406382101. Acesso em: 15 ago. 2025.

MACHADO, P.; CARDOSO, A. Computing aesthetics. In: BRAZILIAN SYMPOSIUM ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE, 14., 1998, Porto Alegre. Proceedings... Berlin: Springer, 1998. p. 219-228. DOI: 10.1007/10692710\_23. Acesso em: 15 ago. 2025.

ROSENBLUM, R. Modern Painting and the Northern Romantic Tradition. New York: Harper & Row, 1975.

SHAMIR, L. Computer analysis reveals similarities between the artistic styles of Van Gogh and Pollock. Leonardo, v. 45, n. 2, p. 149-154, 2012. DOI: 10.1162/LEON\_a\_00281. Acesso em: 15 ago. 2025.

SHANNON, C. E. A mathematical theory of communication. Bell System Technical Journal, v. 27, n. 3, p. 379-423, 1948. DOI: 10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x. Acesso em: 15 ago. 2025.

VASARI, G. Lives of the Most Excellent Painters, Sculptors, and Architects. Florence: Lorenzo Torrentino, 1550.