

# Atividade Prática sobre Análise Espectral

Valéria Lys Ribeiro Carneiro, 89397

Departamento de Engenharia Elétrica,

Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG Email: valerialribeiroc@gmail.com

**Resumo**—Este trabalho explora a análise espectral de sinais utilizando a Transformada de Fourier e o espectrograma. O objetivo principal é compreender e aplicar essas técnicas na análise de sinais, incluindo a identificação de padrões em sinais não-periódicos. Os resultados demonstram a eficácia dessas ferramentas em diversas áreas, como biologia, tecnologia e comunicação, ampliando as perspectivas para suas futuras aplicações.

As orientações e conceitos fundamentais para a análise dos resultados foram fornecidos pelo professor da disciplina, Rodolpho Neves, em aula virtual síncrona, permitindo a elucidação eficiente de dúvidas e um entendimento claro dos tópicos abordados.

## I. INTRODUÇÃO

A análise espectral é uma ferramenta essencial no Processamento Inteligente de Sinais, pois permite a compreensão de fenômenos complexos através de técnicas matemáticas. Dentre essas técnicas, a Transformada de Fourier é fundamental para realizar a transição entre os domínios do tempo e da frequência, pois ela permite decompor o sinal em vários componentes espectrais e, dessa forma, compreender o papel de cada componente.

Este trabalho consiste na resolução de um roteiro de atividade prática sobre Análise Espectral, proposto na matéria de Processamento Inteligente de Sinais, que compõe a grade curricular do curso de Especialização em Inteligência Artificial e Computacional da Universidade Federal de Viçosa.

## II. OBJETIVOS

### A. Objetivos Gerais

O objetivo deste trabalho é compreender e aplicar técnicas de análise espectral utilizando a Transformada de Fourier e o espectrograma.

### B. Objetivos Específicos

- Analisar sinais no domínio da frequência utilizando a Transformada de Fourier.
- Explorar o espectrograma para análise de sinais não-estacionários.
- Aplicar técnicas de esteganografia em sinais de áudio.
- Investigar padrões de comunicação em sons de baleias.

## III. MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento do roteiro de atividades foi realizado utilizando a linguagem de programação Python, executada na plataforma Google Colab. Os materiais de entrada foram disponibilizados, assim como os *scripts*, para garantir a análise detalhada dos resultados obtidos.

## IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### A. Domínio do tempo versus Domínio da frequência

Tendo em vista o teorema da amostragem: "A frequência de amostragem deve ser maior que o dobro da maior frequência contida no sinal", analisou-se um sinal "x" em que a largura do espectro está contida na faixa  $[-4000, 4000]$  Hz. O sinal consiste em uma soma de senóides em que o primeiro termo é uma senóide com frequência de 500 Hz com 0,7 de amplitude, o segundo é uma senóide de 2000 Hz com amplitude igual a 1, que possui energia maior, devido a sua amplitude ser maior e o terceiro termo é um ruído de distribuição uniforme que vai de 0 à 1 com 9999 pontos, multiplicado por 2, adicionado para obter uma distribuição de ruído por todo o espectro do sinal.

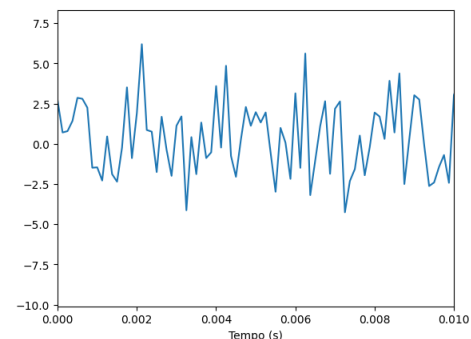


Figura 1. Recorte do sinal "x".

Ao aplicar a Transformada Rápida de Fourier a esse sinal, obteve-se o seguinte gráfico:

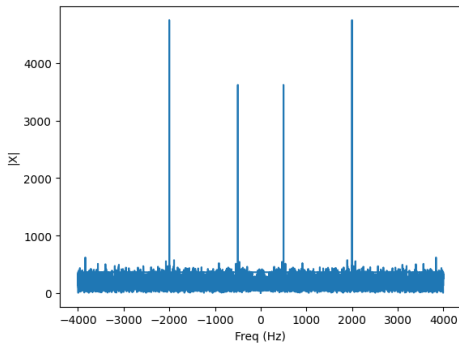


Figura 2. Sinal "x" no domínio da frequência.

Pelo gráfico da Figura 2, observa-se a distribuição de frequência do sinal nos domínios negativo e positivo. Para simplificar, analisa-se apenas o domínio positivo, visto que ocorre um espelhamento de frequências. Dessa forma, observa-se que há um pico de menor frequência, correspondendo ao senóide de 500 Hz, um pico de maior frequência que corresponde ao senóide de 2000 Hz e uma distribuição de ruído uniforme por todo o espectro do sinal.

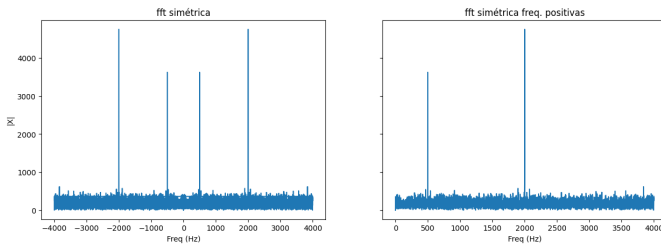


Figura 3. Sinal em todo seu espectro e sinal no domínio positivo

Por fim, realizou-se a conversão do sinal do domínio da frequência para o domínio do tempo para observar o princípio da Transformada Inversa de Fourier que define ser possível obter a forma do sinal no domínio do tempo a partir dos dados da sua distribuição de frequências.

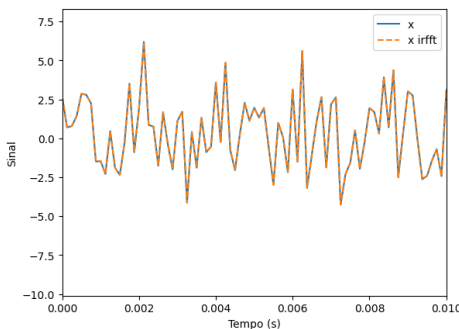


Figura 4. Sinal convertido do domínio da frequência para o domínio do tempo.

### B. Transformada de Fourier de curta duração

1) *Análise espectral tradicional (somente frequência):* A análise de Fourier tradicional se limita a sinais periódicos,

pois essa propriedade garante que a transformada inversa de um sinal seja o sinal original. Para analisar sinais não-periódicos, pode-se contornar este problema utilizando a Transformada de Fourier de curta duração como princípio. A fim de demonstrar a aplicação desse princípio, criou-se um sinal não-periódico  $y$  como uma cossenóide de  $2\pi$  vezes uma janela de frequências entre 150 Hz e 450 Hz com espalhamento no tempo.

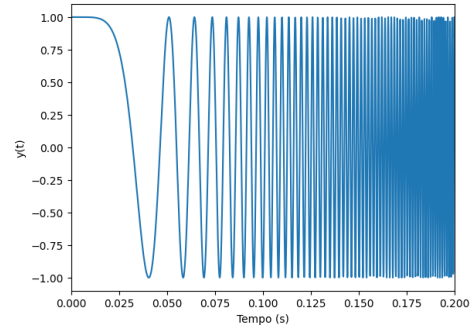


Figura 5. Recorte do sinal  $y$  em função do tempo.

Esse sinal apresenta a seguinte distribuição de energia:

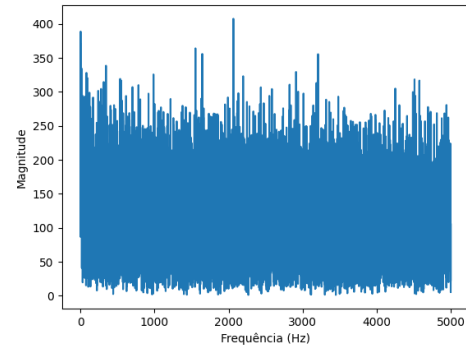


Figura 6. Magnitude do sinal versus frequência.

Apesar de possuir a distribuição de frequências do sinal, a análise espectral tradicional é capaz de presumir um conteúdo espectral entre 150 Hz e 450 Hz, mas não é capaz de relacionar a variação da frequência no tempo, ou seja, não consegue saber o tempo exato em que uma frequência ocorre.

2) *Análise espectral - frequência e tempo:* Para visualizar as frequências de um sinal no decorrer do tempo, utiliza-se o espectrograma, que, nesse caso, é basicamente um mapa de calor da energia daquele sinal. A Transformada de Fourier de curta duração divide o sinal em pequenos trechos que se repetem em infinitas partes e calcula a transformada de cada trecho, revelando a evolução espectral do sinal no tempo.

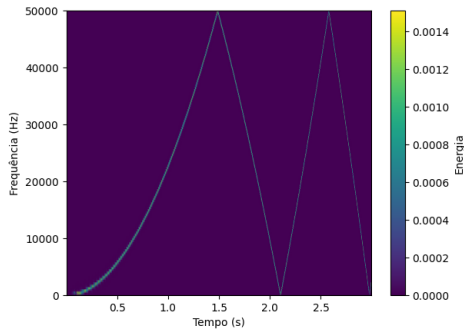


Figura 7. Espectrograma de y.

Uma aplicação importante da Transformada de Fourier de curta duração é na análise de sinais biológicos, como o eletrocardiograma e o eletroencefalograma. Esses sinais podem variar ao longo do tempo, refletindo mudanças no funcionamento do corpo; a transformada permite a decomposição desses sinais em diferentes trechos, facilitando a identificação de padrões como arritmias cardíacas ou distúrbios neurológicos.

### C. Esteganografia ou "Ouvir imagens?"

Esteganografia se refere a técnicas utilizadas para esconder informações dentro de alguma outra coisa. Uma das técnicas pode ser feita com a utilização de espectrogramas. Para fim de compreensão, o arquivo lena.wav foi carregado e escutado com uma frequência de amostragem de 44100 Hz. Em seguida, construiu-se o espectrograma do sinal de áudio:

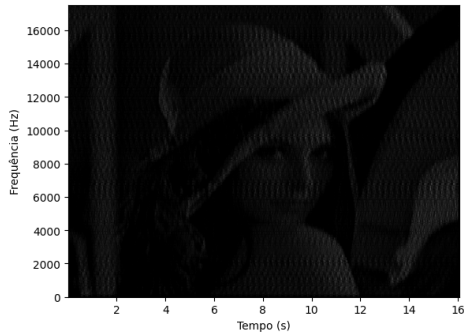


Figura 8. Espectrograma do sinal de áudio.

O som de lena.wav foi gerado convertendo a imagem em uma matriz de frequências e modulando essas frequências ao longo do tempo. Cada linha da imagem foi associada a um conjunto específico de frequências, criando um sinal de áudio que, ao ser analisado no espectrograma, reconstrói visualmente a imagem.

É possível obter melhores resultados e captar maior quantidade de detalhes do sinal, apenas variando alguns parâmetros da análise espectral. Ao variar o número de amostras por janela, foram obtidos os seguintes resultados:

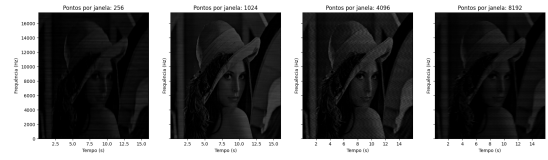


Figura 9. Comparativo do número de amostras por janela.

Ao variar o número de pontos que foram sobrepostos nas janelas, obteve-se:



Figura 10. Comparativo do número de pontos que foram sobrepostos nas janelas.

Por fim, ajustar o número de frequências que foram analisadas resultou em:

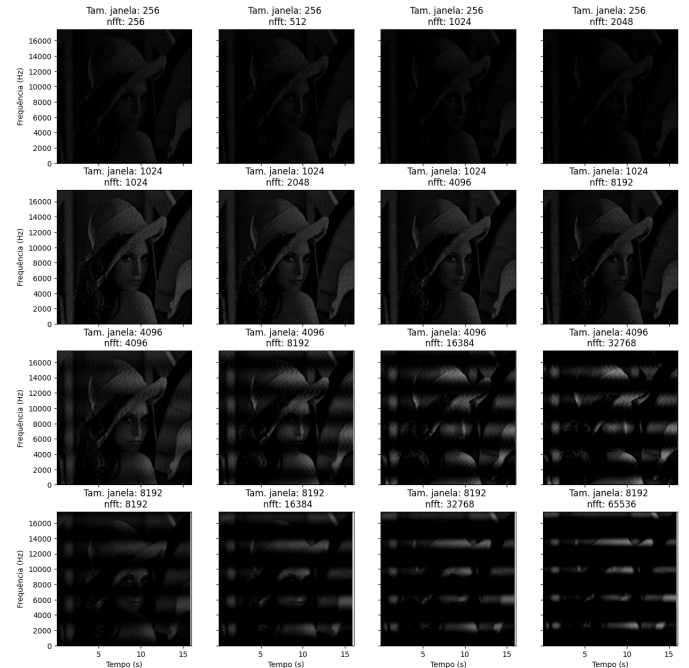


Figura 11. Comparativo do número de frequências que foram analisadas.

Observa-se que, ao dividir a frequência em muitas partes, alguns pontos da imagem deixam de ter energia suficiente para compor um sinal visual, fazendo com que algumas faixas se anulem.

Uma aplicação interessante dessa técnica é na transmissão de dados sem conexão digital. Torna-se possível enviar informações visuais como imagens ou textos por meio de sinais de áudio, que podem ser transmitidos via rádio.

#### D. Canto das baleias

Os cetáceos de grande porte emitem sons com características distintas, que podem ser a base da comunicação entre esses animais. Ao analisar os sinais sonoros, podemos observar como as variações de frequência ao longo do tempo criam padrões específicos, cada um com um possível propósito.

A título de analisar essa comunicação, o arquivo whalcalls.mat foi carregado, contendo três variáveis: fs, que representa a frequência de amostragem dos sinais, e X1 e X2 que são matrizes onde cada linha corresponde a um chamado.

Ao ouvir os padrões sonoros presentes em X1, tem-se a impressão de se tratar de um mesmo chamado, enquanto os padrões em X2 se diferem de X1, porém parecem equivalentes entre si.

Para visualizar a distribuição de energia desses chamados, plotou-se o espectrograma de X1 e de X2:

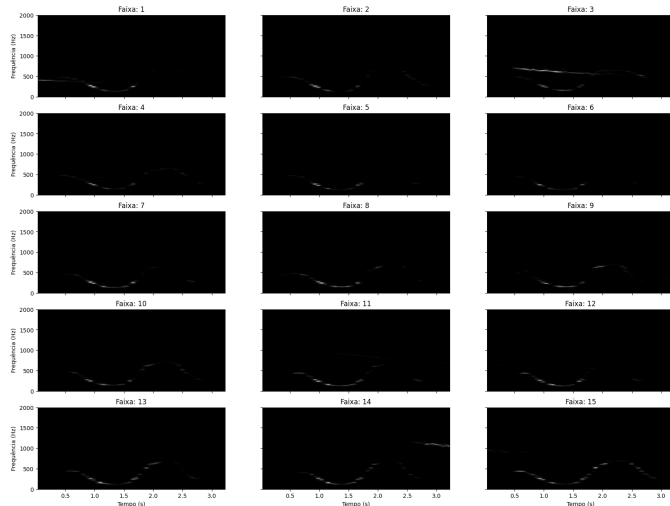


Figura 12. Espectrograma de X1.

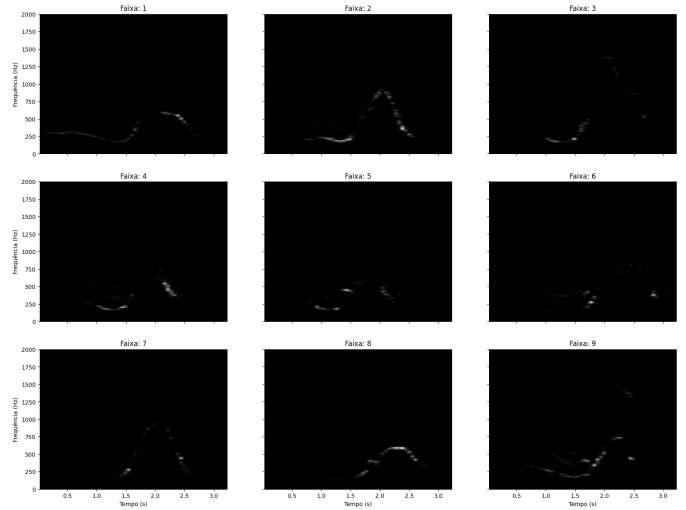


Figura 13. Espectrograma de X2.

Os espectrogramas revelaram padrões distintos entre os chamados de X1 e X2, sugerindo diferentes funções comunicativas.

#### V. CONCLUSÕES

A análise espectral desempenha um papel crucial no entendimento e interpretação de sinais complexos. Neste trabalho, foi possível observar a aplicação da Transformada de Fourier e da Transformada de Fourier de curta duração para analisar sinais no domínio da frequência e do tempo, além de explorar o uso de espectrogramas para estudar sinais não-periódicos.

A técnica de esteganografia, aplicada em sinais de áudio, mostrou seu potencial para ocultar informações visuais sem a necessidade de conexão digital. Além disso, a análise dos chamados de cetáceos indicou padrões distintos de comunicação, oferecendo novos insights sobre a interação desses animais. Assim, as técnicas utilizadas demonstram potencial em diversas áreas, como biologia, tecnologia e comunicação, e instigam ao imaginário sobre a extensão das suas possibilidades de aplicação.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Bender, W., Gruhl, D., Morimoto, N., & Lu, A. (1996). Techniques for data hiding. *IBM Systems Journal*, 35(3&4), 313-336.
- [2] Da Rocha, Adson Ferreira et al. *Processamento de Sinais Biológicos*.
- [3] Gonzalez, R. C., e Woods, R. E. (2010). *Processamento de Imagens Digitais*. 3ª edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall.