UNICAMP

ES704 - Instrumentação básica

Atividade 7: Medição de Pressão

Gabriel Henrique de Morais	177339
Maria Clara Ferreira	183900
Vinicius Santos Souza	195097

Prof. Eric Fujiwara

Sumário

Cálculo da Pressão do Sistema.

A deflexão do diafragma (y) empregado na medição da pressão do sistema em estudo é dada por :

$$y = \frac{3\Delta p(1-\nu^2)r^4}{16E_m h^3}$$

Onde:

ΔP: $Diferença\ de\ pressão$

$\nu = 0,305$: $Coeficiente\ de\ Poisson$

$r = 3\ mm$: $raio\ do\ diafragma$

$h = 1\ mm$: $espessura\ do\ diafragma$

$E_m = 180\ GPa$: $Módulo\ de\ young$

Substituindo os dados fornecidos e utilizando os valores de deflexão do arquivo “Data07.csv” , foi estabelecido uma relação entre a pressão exercida ao longo do tempo e a deflexão do diafragma :

$$y = \frac{3\Delta p(1-0{,}305^2)(3.10^{-3})^4}{16.180.10^9.(1.10^{-3})^3}$$

$$y = \Delta p.\ 7,6526\ .\ 10^{-14}$$

A partir dessa relação estabelecida, utilizou-se um programa em python para plotar a variação da pressão ao longo do tempo a partir dos dados de deflexão (*y*) do arquivo “Data07.csv”. O código completo se encontra no Apêndice.

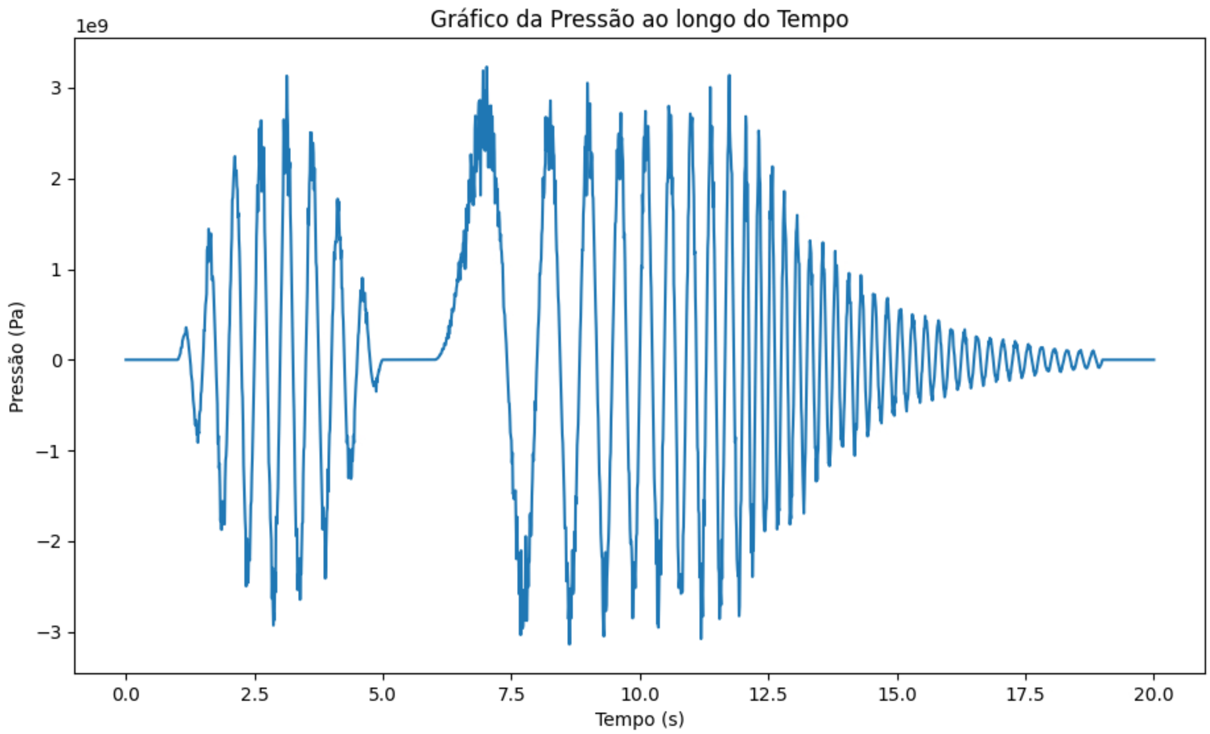

Gráfico 1 : Curva de diferença de pressão aplicada no diafragma em função do tempo. O gráfico foi gerado utilizando as bibliotecas matplotlib e numpy em python.

A partir dos valores de pressão obtidos, utilizou-se algumas funções da biblioteca numpy para calcular a pressão máxima, média e RMS :

- **Pressão Máxima:** $3,23 \,.\, 10^{9}\ Pa$
- **Pressão Média:** $6,19 \,.\, 10^{7}\ Pa$
- **Pressão RMS:** $1,22 \,.\, 10^{9}\ Pa$

Cálculo da Força no diafragma.

Considerando que a pressão está sendo aplicada sobre uma região circular de 6 mm de diâmetro, e que $p = \frac{F}{A}$, teremos:

$$F = \pi r^2 * p$$

Novamente, um código em python foi utilizado para plotar a variação de força ao longo do tempo, utilizando os dados de pressão obtidos.

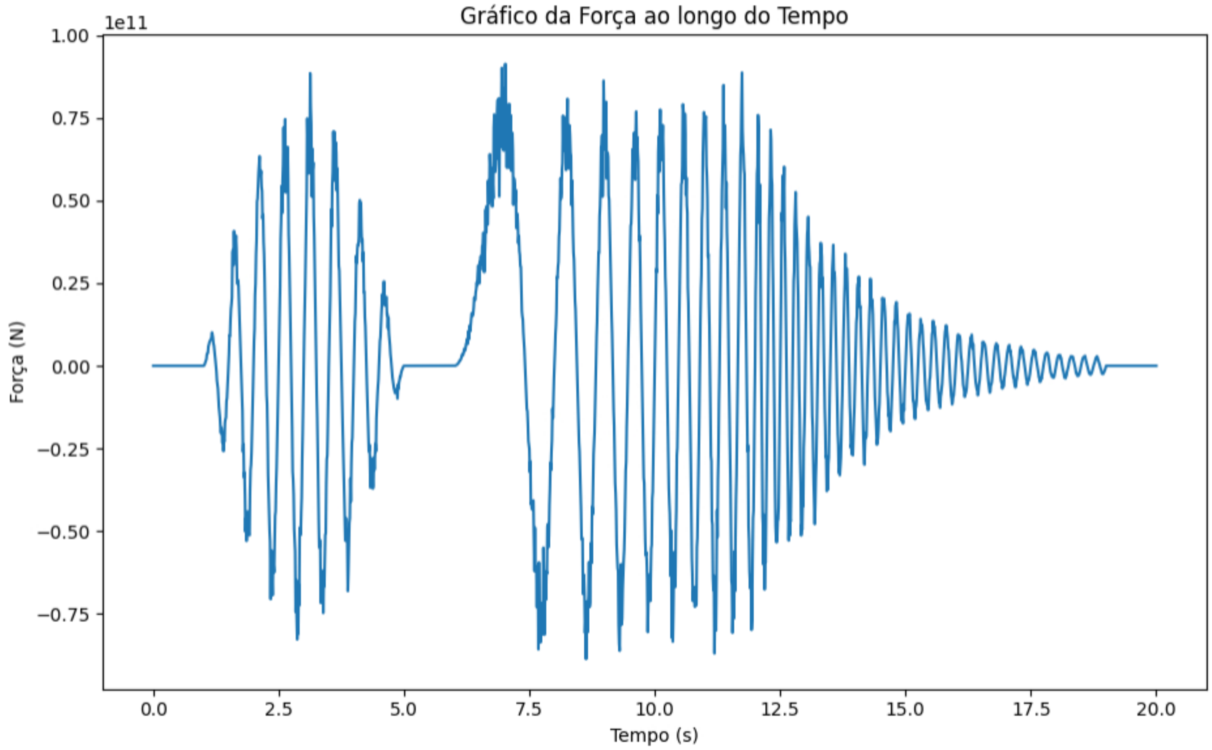

Gráfico 2 : Curva de força aplicada no diafragma devido a diferença de pressão em função do tempo. O gráfico foi gerado utilizando as bibliotecas matplotlib e numpy em python.

- **Força Máxima:** $91,35.10^9 N$
- **Força Média:** $1,75.10^9 N$
- **Força RMS:** $34,44.10^9 N$

Análise da variação temporal de pressão no sistema.

Para a análise da variação temporal da pressão, facilitada pelo comportamento senoidal do sinal, observou-se a variação da magnitude em função da frequência, utilizando a transformada de Fourier.

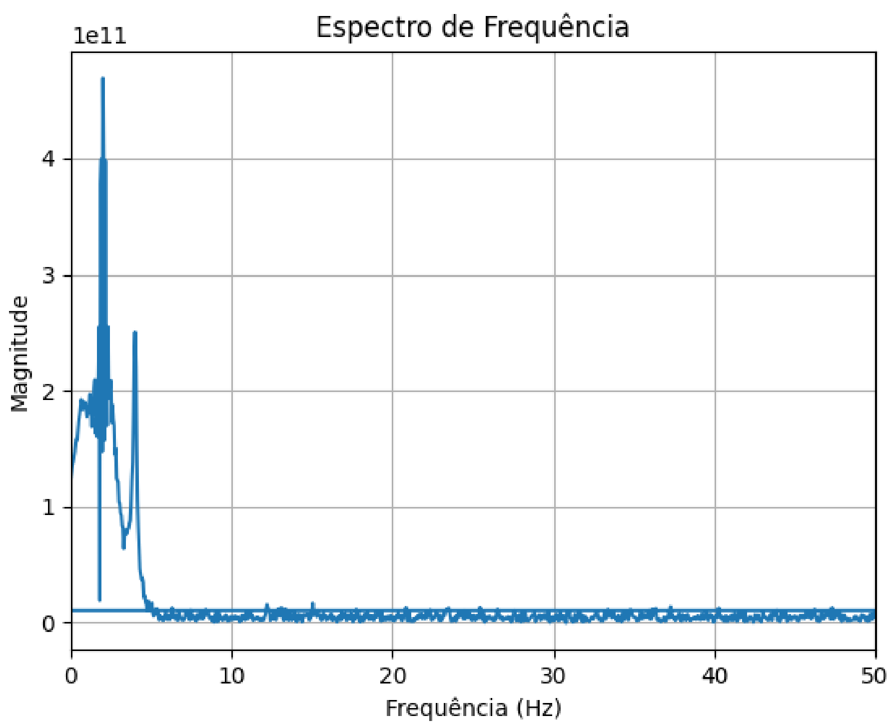

Gráfico 3 : Análise do espectro de frequência da pressão. O gráfico foi gerado utilizando as bibliotecas matplotlib e numpy em python.

Para verificar essa relação entre a frequência e magnitude no tempo, utilizou-se uma transformada de fourier janelada para gerar um espectrograma do sistema.

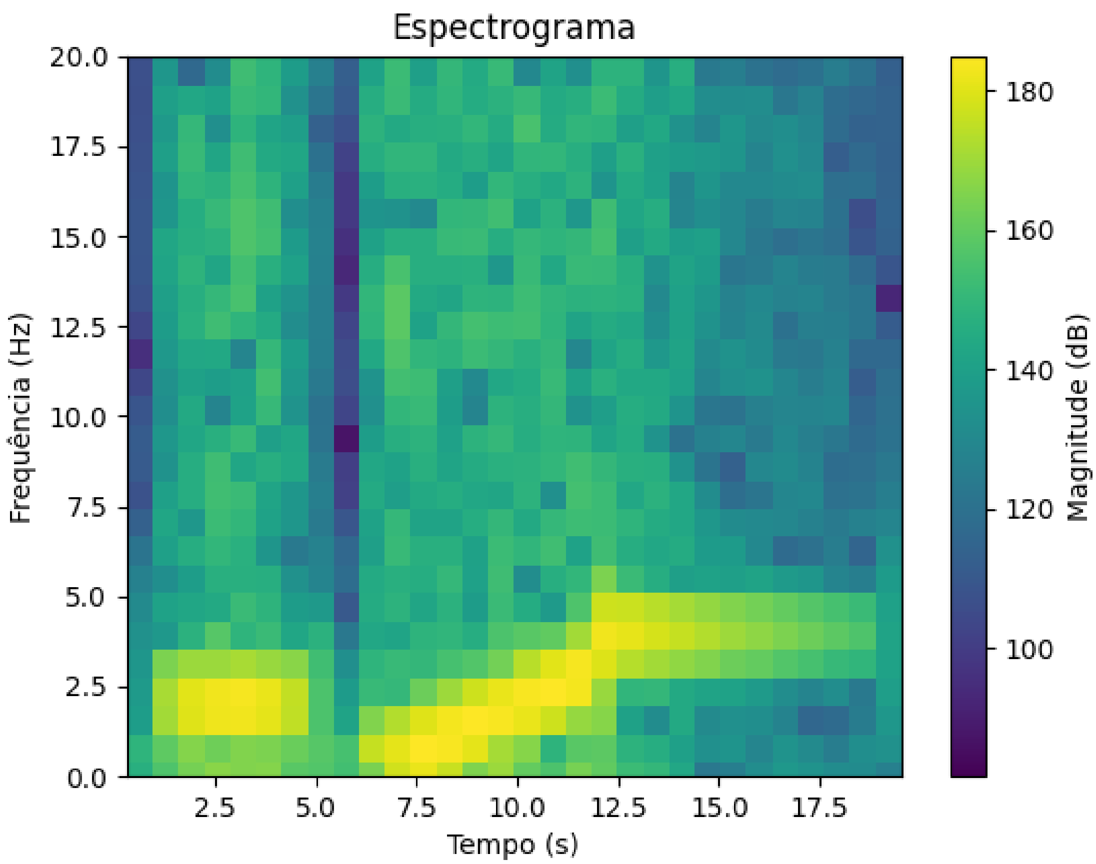

Gráfico 4 : Espectrograma da frequência do gráfico 1. O gráfico foi gerado utilizando as bibliotecas matplotlib e numpy em python.

O gráfico 3 mostra que há dois picos de frequências mais predominantes no sinal. O espectrograma complementa a análise, ao mostrar como essas variações de frequência ocorrem ao longo do tempo. Observou-se que nos primeiros instantes que o sinal possui uma frequência de aproximadamente 2,5 Hz com intensidade de 180dB, o qual após um breve momento sem vibrações, é seguido por um sinal de frequência crescente que se segue até ~5 Hz com 180dB, mas continuamente atenua a sua intensidade.

Essa análise mostra três comportamentos, o primeiro é o fenômeno de batimento, o segundo é uma excitação de intensidade constante com a frequência constantemente aumentando, e o terceiro é o decaimento exponencial.

Esses três comportamentos podem ser simplificados por sistemas que:

- Está sendo excitado por duas ondas com frequências ligeiramente diferentes, gerando o fenômeno de batimento.
- Se comporta como um sistema massa-mola excitado por uma força de frequência variável.
- Se comporta como um sistema massa-mola-amortecedor, visto que a sua resposta cai com o tempo limitado por um padrão exponencial. Trata-se de um sistema sub-amortecido.

Conclusão

A partir dos dados fornecidos e das análises e cálculos realizados, pode-se dizer que informações mais particulares do sistema, como :

- Analisando a frequência dos sinais, também é possível observar que as frequências na faixa de 2,5 e 5 Hz são as mais relevantes para o sistema.
- A análise da frequência pelo espectro de frequência e espectrograma se tornam complementares e convergentes mostrando a influência de frequências de 0 até 5 Hz, mas com maior relevância para as frequências de 2,5 e 5 Hz.

Pode-se também obter diferentes interpretações do sistema, como dois possíveis sistemas simplificados, um massa-mola, ou um massa-mola-amortecedor, além da ocorrência do fenômeno de batimento.

Além disso, tão relevante quanto um sensor adequado, uma boa metodologia de pós-processamento de dados é essencial, juntamente, com as devidas técnicas para análise dos dados, dado que a análise do valor médio da variação de pressão não seria suficiente, visto caráter periódico proveniente de um sistema harmonicamente excitado. Essa característica do sistema demandou conhecimentos de análise de sinais e vibrações de sistemas para o entendimento do fenômeno.

Apêndice

Algoritmo utilizado para todas as análises :

```
import csv
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
from scipy.signal import spectrogram

# Nome do arquivo CSV
nome_arquivo = 'Data07.csv'

# Lista para armazenar os valores de deflexão
valores_deflexao = []

# Leitura do arquivo CSV e extração dos valores de deflexão
with open(nome_arquivo, 'r') as arquivo_csv:
    leitor_csv = csv.reader(arquivo_csv)
    for linha in leitor_csv:
        valor = float(linha[0])  # Supondo que os valores sejam números
        valores_deflexao.append(valor)

# Cálculo do vetor de tempo
frequencia = 100  # Frequência em Hz
tempo = np.arange(len(valores_deflexao)) / frequencia

# converte a deflexão de mm para metro
valores_deflexao_metro = np.array(valores_deflexao) / 1000

# Cálculo do vetor de pressão
fator_conversao = 7.6526e-14
valores_pressao = np.array(valores_deflexao_metro) / fator_conversao

# Cálculo do vetor de força
raio = 3  # Raio da região circular em mm
area = np.pi * (raio ** 2)  # Área da região circular em mm^2
valores_forca = valores_pressao * area

# Gráfico da pressão
plt.figure()
plt.plot(tempo, valores_pressao)
```

```
plt.title('Gráfico da Pressão ao longo do Tempo')
plt.xlabel('Tempo (s)')
plt.ylabel('Pressão (Pa)')

# Cálculo das estatísticas da pressão
pressao_maxima = np.max(valores_pressao)
pressao_media = np.mean(valores_pressao)
pressao_rms = np.sqrt(np.mean(np.square(valores_pressao)))

# Impressão das estatísticas da pressão
print(f"\nPressão Máxima: {pressao_maxima:.2e} Pa")
print(f"Pressão Média: {pressao_media:.2e} Pa")
print(f"Pressão RMS: {pressao_rms:.2e} Pa\n")

# Exibição do gráfico da pressão em uma janela separada
plt.show()

# Gráfico da força
plt.figure()
plt.plot(tempo, valores_forca)
plt.title('Gráfico da Força ao longo do Tempo')
plt.xlabel('Tempo (s)')
plt.ylabel('Força (N)')

# Cálculo das estatísticas da força
forca_maxima = np.max(valores_forca)
forca_media = np.mean(valores_forca)
forca_rms = np.sqrt(np.mean(np.square(valores_forca)))

# Impressão das estatísticas da força
print(f"Força Máxima: {forca_maxima:.2f} N")
print(f"Força Média: {forca_media:.2f} N")
print(f"Força RMS: {forca_rms:.2f} N\n")

# Exibição do gráfico da força em uma janela separada
plt.show()

# Cálculo da Transformada de Fourier
fft_values = np.fft.fft(valores_pressao)
freq = np.fft.fftfreq(len(valores_pressao), 1 / frequencia)

# Gráfico da magnitude da Transformada de Fourier
```

```
plt.figure()
plt.plot(freq, np.abs(fft_values))
plt.title('Espectro de Frequência')
plt.xlabel('Frequência (Hz)')
plt.ylabel('Magnitude')
plt.xlim(0, frequencia / 2)  # Mostrar apenas até a metade do espectro
(frequências positivas)
plt.grid(True)

# Exibição do gráfico do espectro de frequência
plt.show()

# Parâmetros da janela de análise
window = 'hann'  # Tipo de janela (pode ser 'hann', 'hamming', 'blackman',
etc.)
window_size = 128  # Tamanho da janela
overlap = 0.5  # Porcentagem de sobreposição entre janelas adjacentes

# Cálculo do espectrograma
frequencies, times, spectrogram_vals = spectrogram(valores_pressao,
fs=frequencia, window=window,
                                                   nperseg=window_size,
noverlap=int(window_size * overlap))

# Plot do espectrograma
plt.figure()
plt.pcolormesh(times, frequencies, 10 * np.log10(spectrogram_vals),
shading='auto')
plt.colorbar(label='Magnitude (dB)')
plt.title('Espectrograma')
plt.xlabel('Tempo (s)')
plt.ylabel('Frequência (Hz)')

# Define o intervalo do eixo das frequências
freq_min = 0  # Frequência mínima desejada
freq_max = 20 # Frequência máxima desejada
plt.ylim(freq_min, freq_max)

# Exibição do espectrograma
plt.show()
```

Referências

SERPA, Alberto L. Vibrações de Sistemas Mecânicos (1 GDL). 2011.

FUJIWARA, Eric. 02 - Análise de sinais II.

FUJIWARA, Eric. 06 – Medição de pressão.