

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E COMPUTAÇÃO**



**EFC 4 - Amostragem**

Prof. Levy Bocatto

**Victor Hugo Picerni Pinto Ferreira RA: 187930**

CAMPINAS

3 de dezembro de 2020

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução e objetivo</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Respostas das Atividades</b>	<b>2</b>
2.1	Amostragem de um sinal de áudio . . . . .	2
2.1.1	Item (a) . . . . .	2
2.1.2	Item (b) . . . . .	2
2.2	Subamostragem do sinal de áudio . . . . .	3
2.2.1	item (c) . . . . .	3
2.2.2	item (d) . . . . .	5
2.3	Filtragem para minimização do aliasing . . . . .	5
2.3.1	item (e) . . . . .	5
2.3.2	item (f) . . . . .	7
2.3.3	item (g) . . . . .	9

# 1 Introdução e objetivo

Segundo o Teorema da Amostragem de Shannon-Nyquist, há uma taxa mínima de amostragem para conseguir fazer uma possível reconstrução de um sinal. O fenômeno de alising, que ocorre quando não há essa taxa mínima, será explorado nesse relatório através de um sinal de áudio.

## 2 Respostas das Atividades

### 2.1 Amostragem de um sinal de áudio

O primeiro passo para análise do aliasing do sinal de áudio foi amostrar o áudio dado, com frequência 44.1kHz.

Na linguagem de Matlab foi utilizada a função `audioread`, que retornou dois argumentos. Somamos os valores dos dois canais de áudio (dados pela amostragem) para simplificar a simulação.

#### 2.1.1 Item (a)

**Carregar um arquivo de áudio.**

Para isso, utilizamos a função `audioread()` em Matlab, além de ter uma frequência de 44.1kHz. Dessa forma temos:

```
%-----item a-----  
[y,Fs]=audioread('Queen_Under_Pressure.wav');  
y=y(:,1)+y(:,2);  
Fs6 = Fs/6;
```

Figura 1: Comandos para processamento do áudio em Matlab

#### 2.1.2 Item (b)

**Utilizando a rotina `espectro(y)` fornecida, mostre o espectro de frequências do sinal de áudio e discuta seu conteúdo espectral.**

Através da função fornecida, obtivemos o gráfico correspondente ao espectro de frequências do áudio dado. Com isso, conseguimos analisar a banda e a faixa de frequência.

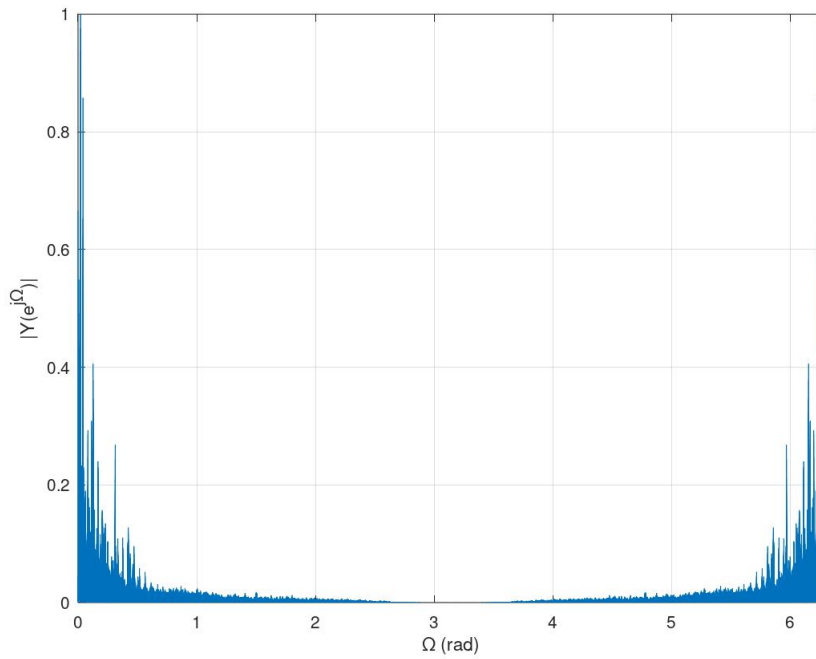


Figura 2: Espectro do sinal amostrado original (Queen under pressure)

Podemos observar a partir do gráfico que o espectro é periódico e limitado em banda, e está concentrado em baixas frequências. Além disso, podemos ver que o espectro em  $\Omega = 3$  é nulo, indicando que não houve aliasing.

## 2.2 Subamostragem do sinal de áudio

Nessa etapa, diminuimos a amostragem para analisar o aliasing produzido por essa operação.

### 2.2.1 item (c)

**Reduza a taxa de amostragem por um fator de  $M = 6$ . Para isto, a cada bloco de  $M$  amostras, Apresente o espectro do sinal subamostrado ( $y_{dec}(n)$ ) e discuta as mudanças em relação ao espectro do sinal original.**

Para reduzir o sinal amostrado, fizemos utilizamos a seguinte rotina:

```

%-----item c-----
n = length(y);
j = 1;

for i = 1:n
    aux = rem(i,6);
    if (aux == 0)
        y_decim(j,1) = y(i);
        j = j+1;
    endif
endfor

espectro(y_decim);

```

Figura 3: Comandos para redução de amostragem com um fator  $M = 6$  em Matlab

Com isso, utilizamos uma rotina em que a cada 6 iterações (cada vez que o resto da divisão por 6 resultava em zero), o sinal da iteração em questão era incluído em uma nova matriz.

O espectro obtido foi

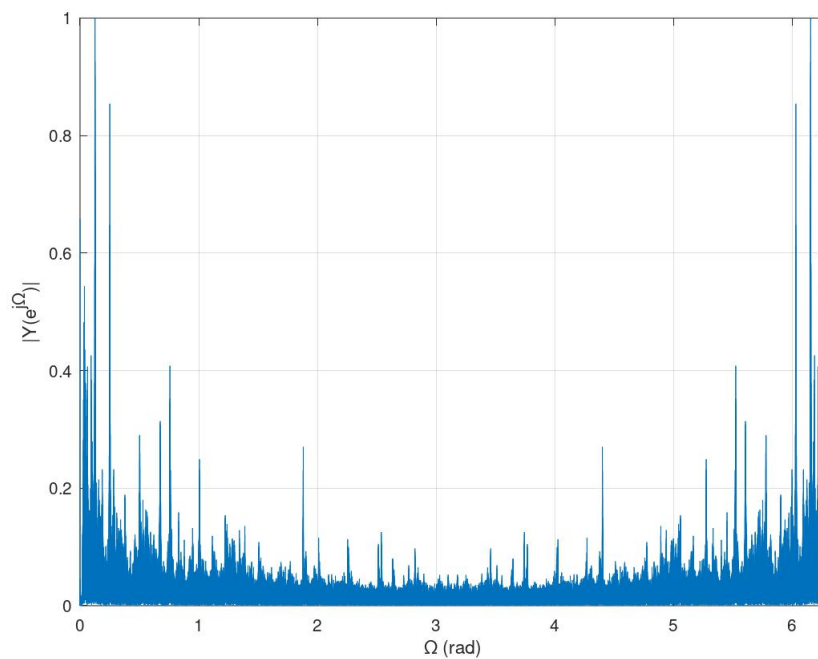


Figura 4: Espectro do sinal subamostrado por um fator  $M = 6$

No gráfico da Figuraé possível observar o efeito do aliasing nas frequências mais altas

do espectro. Isso pode ser justificado dado que a amostragem foi inferior ao dobro da frequência do sinal amostrado, gerando aliasing. Além disso é possível ver que o espectro deixou de ser nulo em  $\omega = 3$  rad graças ao mesmo efeito.

### 2.2.2 item (d)

Ouçã, então, o sinal de áudio original e o subamostrado. Para isto, utilize o comando `soundsc()` do Matlab: `soundsc(z,Fs)`, onde  $F_s$  denota a taxa de amostragem associada ao sinal  $z$ . Comente as diferenças.

O áudio foi reproduzido a partir dos comandos:

```
%-----item d-----  
soundsc(y,Fs);  
soundsc(y_decim,Fs6);
```

Figura 5: Comandos reprodução dos áudios em matlab

Ouvindo o áudio é possível perceber algumas diferenças em relação ao original, A diferença mais presente é percebida através de um som mais abafado e com sensação de eco maior em relação a original. Além disso a qualidade do som caiu significativamente, além de distorções no som, principalmente para frequências mais altas.

## 2.3 Filtragem para minimização do aliasing

### 2.3.1 item (e)

Uma maneira de minimizar o aliasing produzido pela subamostragem consiste em aplicar um filtro passa-baixas (FPB) sobre o sinal original antes da decimação.

Um FPB próximo ao ideal pode ser construído com o auxílio do método da janela de Kaiser. Para este exercício, a rotina `kaiser` é fornecida, a qual recebe como parâmetros a frequência de passagem ( $\Omega_p$ ) e a frequência de rejeição ( $\Omega_r$ ), ambas em rad e retorna a resposta ao impulso do Filtro ( $h$ ).

Apresente e discuta a resposta em frequência do Filtro (utilizando a rotina `espectro(h)`) para os seguintes casos:

- $\Omega p = 0.45[rad], \Omega r = 2[rad]$ ;
- $\Omega p = 0.45[rad], \Omega r = 0.5[rad]$ ;
- $\Omega p = 1.5[rad], \Omega r = 2[rad]$ .

Utilizando a rotina fornecida para calcular os três filtros

```
%-----item e-----
h1 = kaiser(0.45,2);
h2 = kaiser(0.45,0.5);
h3 = kaiser(1.5,2);

espectro(h1);
espectro(h2);
espectro(h3);
```

Figura 6: Rotina para plotar os gráficos dos filtros

chegamos as seguintes respostas:

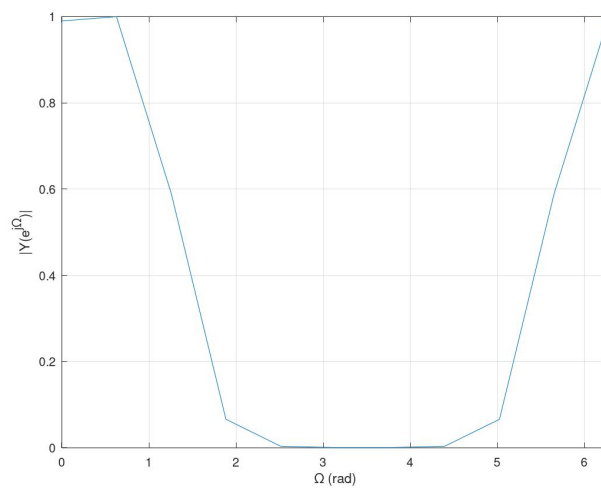


Figura 7: Filtro para  $\Omega p = 0.45$  e  $\Omega r = 2$

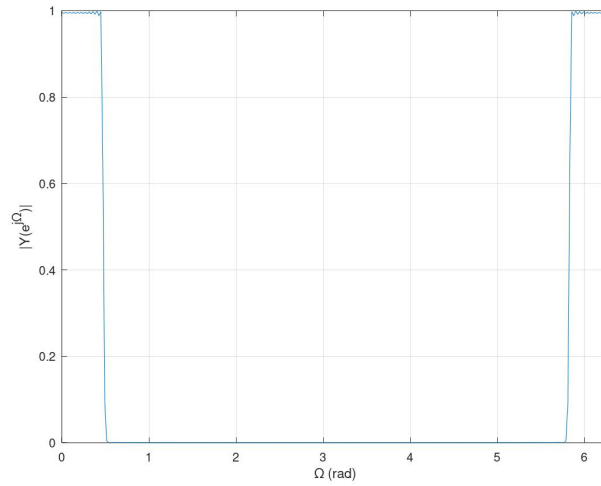


Figura 8: Filtro para  $\Omega p = 0.45$  e  $\Omega r = 0.5$

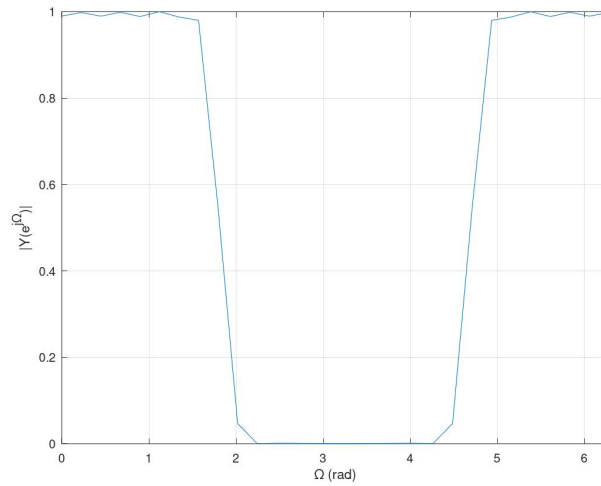


Figura 9: Filtro para  $\Omega p = 1.5$  e  $\Omega r = 2$

Como podemos ver a partir dos gráficos acima, o melhor filtro para nossa aplicação será o filtro da Figura 8, com  $\Omega p = 0.45$  e  $\Omega r = 0.5$ .

A partir dele, podemos ver que frequências mais altas serão excluídas, e frequências mais baixas serão preservadas. Podemos ainda notar que quanto menor a banda de passagem melhor é o filtro.

### 2.3.2 item (f)

Utilizando  $\Omega p = 0.45$  [rad] e  $\Omega r = 0.5$  [rad], Filtre (novamente através da convolução) o sinal original. Apresente e discuta o espectro do sinal Filtrado.



**Escute o sinal Filtrado e analise os efeitos.**

A convolução foi feita com auxílio da função `conv` do Matlab. Com isso, o seguinte código foi implementado:

```
%-----item f-----  
%convolucao  
  
z = conv(h2,y);  
  
soundsc(z,Fs);  
espectro(z);
```

Figura 10: Rotina de convolução

Com isso, obtivemos o espectro a seguir:

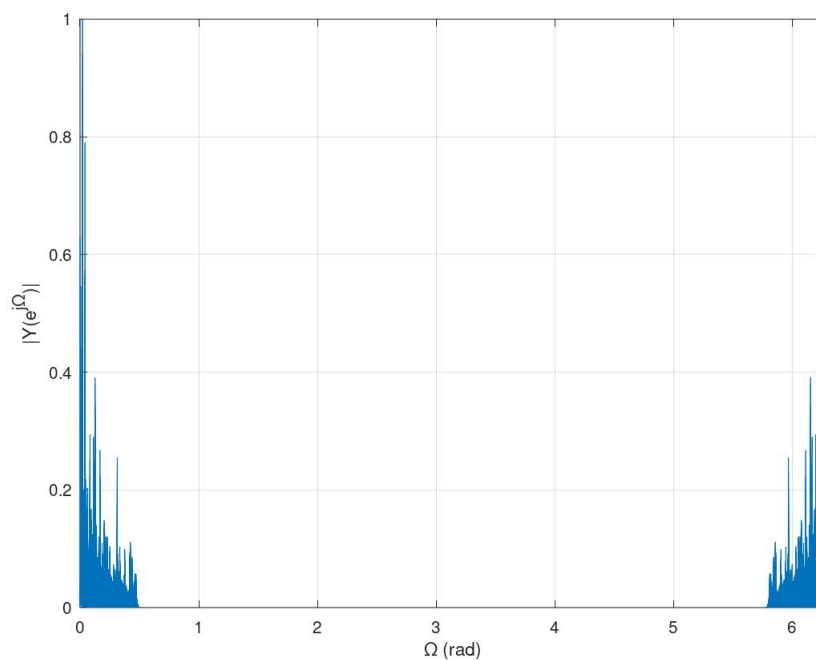


Figura 11: Sinal filtrado (resultado da convolução entre o filtro e o sinal de entrada)

Observamos a partir do gráfico que o sinal para frequências baixas continuou o mesmo, enquanto para maiores frequências ele foi atenuado. As frequências mais significativas do áudio foram preservadas, preservando assim a maior parte do som do sinal.

Ao ouvir o som do sinal filtrado percebemos que o mesmo não possui ruídos significativos, e além disso algumas frequências mais altas foram perdidas, podendo ser percebido

na guitarra e na voz dos cantores. A perda de algumas frequências deixa a qualidade do áudio um pouco inferior.

### 2.3.3 item (g)

(g) Subamostrare o sinal obtido no item (f) (ou seja, o sinal pré-filtrado pelo FPB de Kaiser) por um fator  $M = 6$ . Compare o espectro obtido com aquele associado ao sinal original subamostrado (item (c)). Escute os sinais e discuta as diferenças. Lembre-se de fazer a correção na frequência de amostragem ao utilizar o comando `soundsc`.

O processo de subamostragem adotado foi idêntico ao visto no item(c), e pode ser visto a seguir:

```
%-----item g-----  
  
for i = 1:n  
    aux = rem(i,6);  
    if (aux == 0)  
        z_decim(j,1) = z(i);  
        j = j+1;  
    endif  
endfor  
  
espectro(z_decim);  
  
soundsc(z_decim,Fs6);
```

Figura 12: Rotina para subamostragem do sinal filtrado

Com isso, o gráfico do sinal filtrado e subamostrado foi obtido

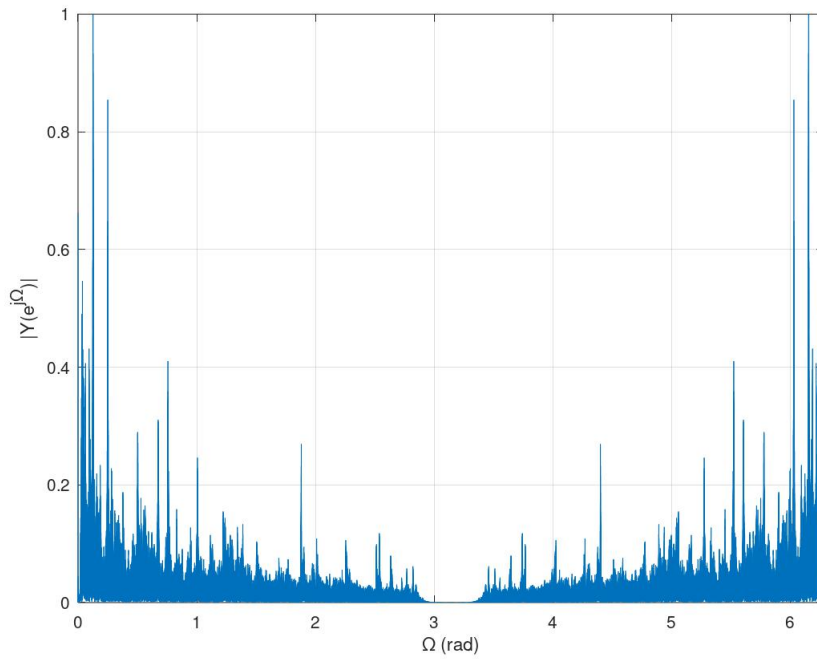


Figura 13: Sinal filtrado e subamostrado por um fator  $M = 6$

O ponto mais importante observado no gráfico foi o sinal zerado para frequências próximas a 3 rad. Com isso podemos deduzir que não houve aliasing. Tirando esse fato os dois sinais são bem parecidos,

Por fim, ouvindo os dois áudios podemos perceber que a diferença entre os dois está nas frequências mais altas, além de um sinal com menos distorções para o sinal filtrado, uma vez que este está livre de aliasing.