

**INSTITUTO
FEDERAL**
Santa Catarina

Câmpus
São José

Avaliação 3

Projetos de Filtros usando o método da amostragem

Curso: Engenharia de Telecomunicações
Disciplina: PSD29007 - Processamento de Sinais Digitais
Professor: Elen Macedo Lobato

Alunos
Filipi Virgilio
João Pedro Menegali Salvan Bitencourt
Yago Castro Rosa

Sumário

Introdução	2
Questão 1	2
Questão 2	5
Questão 3	10
Questão 4	16
Questão 5	18
Questão 6	23

Introdução

Neste documento, serão mostrados alguns projetos de filtros utilizando o método da amostragem.

Para tal, foi utilizada a linguagem MATLAB para a demonstração das respostas em frequência e ao impulso, dado os parâmetros desejados.

Questão 1

Projete um filtro passa-baixas usando o método da amostragem em frequência que satisfaça a especificação a seguir:

- $M = 200$
- $\Omega_p = 4,0$ rad/s
- $\Omega_r = 4,2$ rad/s
- $\Omega_s = 10,0$ rad/s

Utilizando a linguagem MATLAB, foi criado o código abaixo, que permite visualizar a resposta em frequência do filtro passa-baixas com as especificações dadas acima:

```
1  clc; close all; clear all;
2
3  M = 200; % Ordem do filtro
4  N = M+1; % Quantidade de amostras
5  Omega_p = 4; % Frequência de corte na banda de passagem
6  Omega_r = 4.2; % Frequência de corte na banda de rejeição
7  Omega_s = 10; % Frequência de amostragem
8  kp = floor(N*Omega_p/Omega_s); % Número de amostras na frequência de passagem
9  kr = floor(N*Omega_r/Omega_s); % Número de amostras na frequência de rejeição
10 tamanhoDaFonte = 16;
11
12 if (kr-kp)>1
13     kp=kr-1;
14 end
15
16 A = [ones(1,kp+1) zeros(1,M/2-kr+1)];
17
18 k = 1:M/2;
19 for n=0:M,
20     h(n+1) = A(1) + 2*sum((-1).^k.*A(k+1).*cos(pi.*k*(1+2*n)/N));
21 end;
22
23 h = h./N;
24 [H,w]=freqz(h,1,2048,Omega_s);
25
26 figure(1)
27 plot(w,20*log10(abs(H)))
28 axis([0 5 -50 10])
29 h_ylabel = ylabel('Resposta de Módulo (dB)');
30 set(h_ylabel, 'FontSize', tamanhoDaFonte);
31 h_xlabel = xlabel('Frequência (rad/s)');
32 set(h_xlabel, 'FontSize', tamanhoDaFonte);
33 h_title = title(['Resposta em Frequência (ordem ', num2str(M), ')']);
34 set(h_title, 'FontSize', tamanhoDaFonte);
35
36 figure(2)
37 stem(h)
38 h_ylabel = ylabel('Resposta ao impulso');
39 set(h_ylabel, 'FontSize', tamanhoDaFonte);
40 h_xlabel = xlabel('amostras (n)');
41 set(h_xlabel, 'FontSize', tamanhoDaFonte);
42 h_title = title('Resposta ao impulso');
43 set(h_title, 'FontSize', tamanhoDaFonte);
```

No código acima, nas linhas 3 a 7 são definidos os parâmetros desejados para o comportamento do filtro. Em seguida, nas linhas 8 e 9, são calculadas a quantidade de amostras para as frequência de passagem e rejeição.

No trecho de código abaixo, extraído do código acima, é mostrada uma condicional que garante a correta faixa de passagem do filtro. Dessa forma, quando o vetor "A" é construído, a quantidade de amostras para as funções `zeroes` e `ones` fica correta:

```
12 if (kr-kp)>1
13     kp=kr-1;
14 end
```

Após o cálculo do vetor "A", obtém-se o valor de "k" e calcula-se o vetor de resposta ao impulso "h". A faixa de valores vai de 0 até "M", ou seja, de 0 a 200, conforme mostrado abaixo:

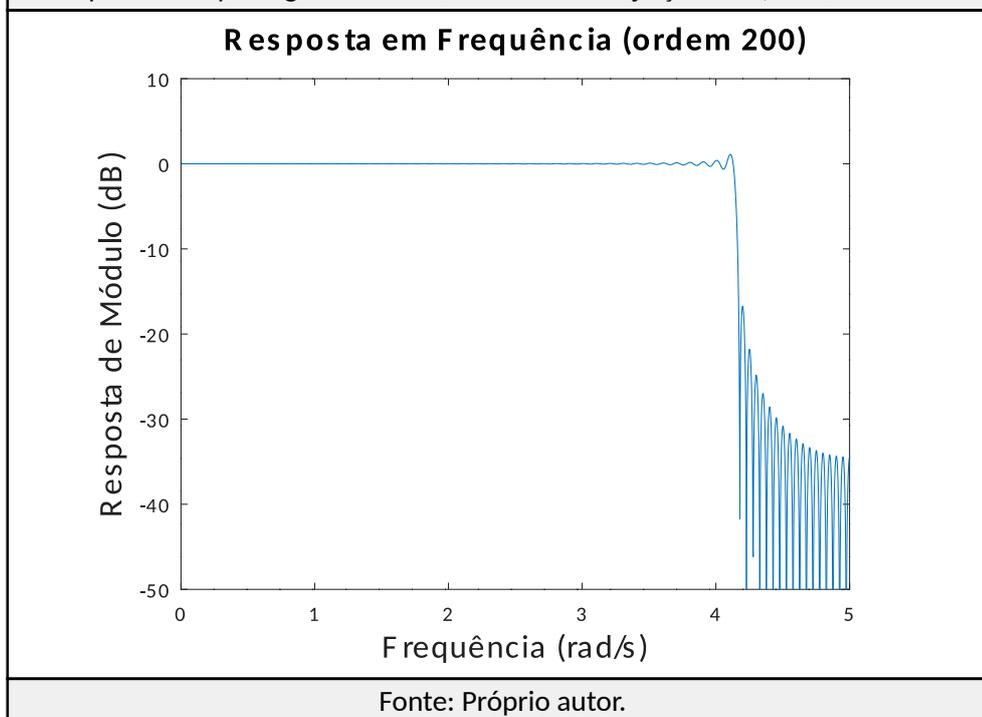
```
18 k = 1:M/2;
19 for n=0:M,
20     h(n+1) = A(1) + 2*sum((-1).^k.*A(k+1).*cos(pi.*k*(1+2*n)/N));
21 end;
22
23 h = h./N;
24 [H,w]=freqz(h,1,2048,omega_s);
```

Na linha 23, mostrada acima, o vetor "h" é normalizado, e isso é feito dividindo-se cada valor do mesmo por N, que nesse caso é 201. Já na linha 24, são calculados os pontos para que se obtenha a frequência angular ω (rad/s) e o vetor "H" que é a resposta em frequência para cada ponto de ω .

Na geração dos gráficos, a magnitude é normalizada para decibéis, utilizando a fórmula:

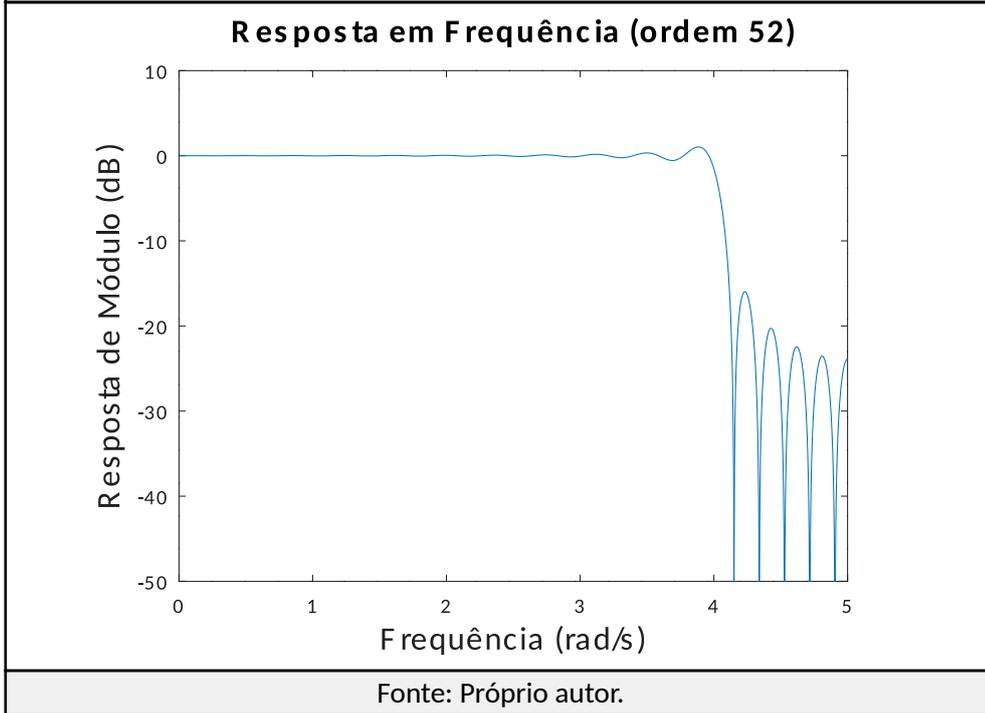
$$20 * \log_{10}(|H|)$$

Figura 1: Resposta em frequência do filtro passa-baixas de ordem 200, com frequência de passagem de 4 rad/s e banda de rejeição de 4,2 rad/s e acima.

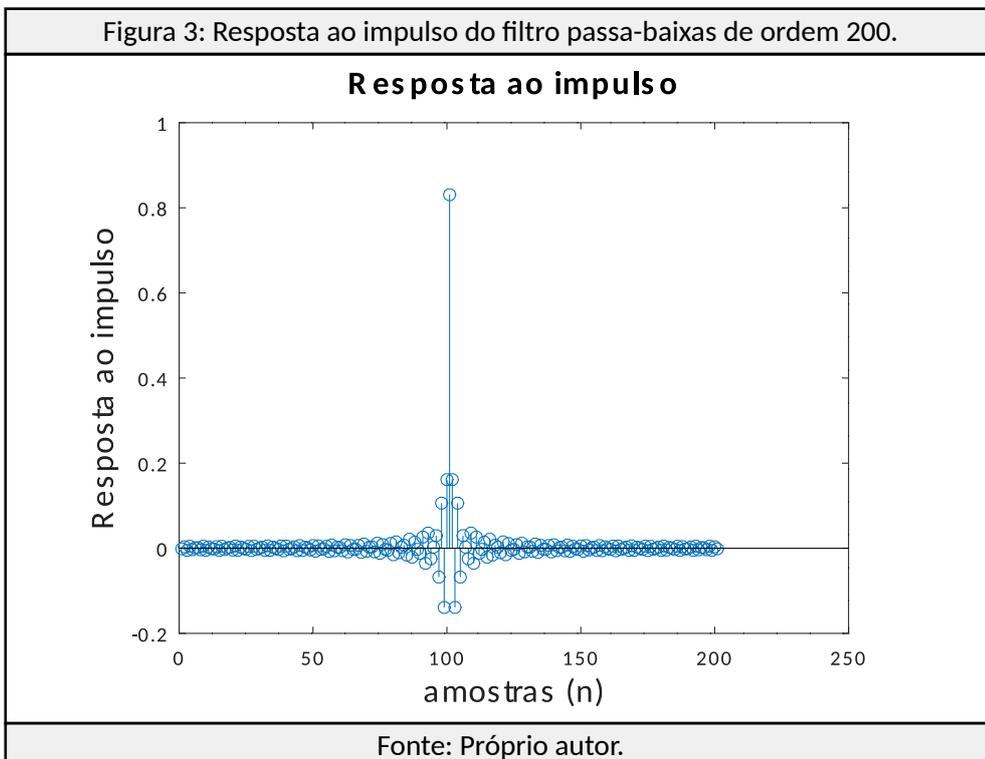


Na Fig. 1 é mostrada a resposta em frequência do filtro projetado. Para efeito de comparação, no gráfico abaixo é mostrado o projeto do mesmo filtro, porém, com ordem 52:

Figura 2: Resposta em frequência do filtro passa-baixas de ordem 52, com frequência de passagem de 4 rad/s e banda de rejeição de 4,2 rad/s e acima.



Comparando a Fig. 1 com a Fig. 2, é possível notar que esta possui menor atenuação na banda de rejeição, bem como maior flutuação na banda de transição. Na figura seguinte, é mostrada a resposta ao impulso para o filtro projetado de ordem 200:



Questão 2

Projete um filtro passa-altas usando o método da amostragem em frequência que satisfaça a especificação a seguir:

- $M = 52$
- $\Omega_r = 4,0$ rad/s
- $\Omega_p = 4,2$ rad/s
- $\Omega_s = 10,0$ rad/s
- Agora aumente o número de amostras, mantendo a paridade e faça suas considerações.

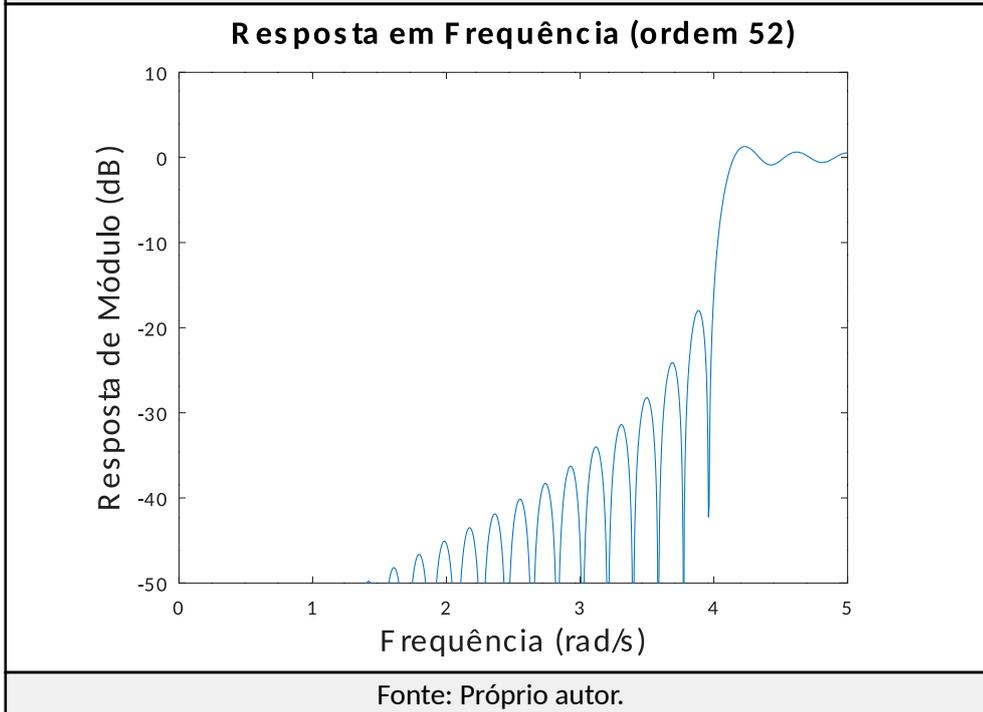
Conforme realizado na questão anterior, segue o código na linguagem MATLAB criado:

```
1  clc; close all; clear all;
2
3  fig = 1;
4  for M=52:40:224
5      N = M+1;
6      Omega_p = 4.2;
7      Omega_r = 4;
8      Omega_s = 10;
9      kp = floor(N*Omega_p/Omega_s);
10     kr = floor(N*Omega_r/Omega_s);
11
12     if (kr-kp)>1
13         kp=kr-1;
14     end
15
16     A = [zeros(1,kr+1) ones(1,M-kp+1)];
17
18     k = 1:M/2;
19     for n=0:M,
20         h(n+1) = A(1) + 2*sum((-1).^k.*A(k+1).*cos(pi.*k*(1+2*n)/N));
21     end;
22
23     h = h./N;
24     [H,w]=freqz(h,1,1024,Omega_s);
25
26     tamanhoDaFonte = 16;
27
28     figure(fig)
29     plot(w,20*log10(abs(H)))
30     axis([0 5 -50 10])
31     h_ylabel = ylabel('Resposta de Módulo (dB)');
32     set(h_ylabel, 'FontSize', tamanhoDaFonte);
33     h_xlabel = xlabel('Frequência (rad/s)');
34     set(h_xlabel, 'FontSize', tamanhoDaFonte);
35     h_title = title(['Resposta em Frequência (ordem ', num2str(M), ')']);
36     set(h_title, 'FontSize', tamanhoDaFonte);
37
38     figure(fig+1)
39     stem(h)
40     h_ylabel = ylabel('Resposta ao impulso');
41     set(h_ylabel, 'FontSize', tamanhoDaFonte);
42     h_xlabel = xlabel('amostras (n)');
43     set(h_xlabel, 'FontSize', tamanhoDaFonte);
44     h_title = title('Resposta ao impulso');
45     set(h_title, 'FontSize', tamanhoDaFonte);
46
47     fig = fig + 2;
48 end
```

Para esse caso, foi criado um laço que varia a ordem. Isso faz com que o número de amostras também varie, mantendo a paridade entre cada aumento.

Com isso, abaixo, será possível comparar o efeito desse aumento de ordem e amostras na resposta em frequência do filtro, bem como na resposta ao impulso:

Figura 4: Resposta em frequência do filtro passa-alta de ordem 52, com frequência de passagem de 4,2 rad/s e acima e banda de rejeição de 4 rad/s.



Na Fig. 4 é mostrado o filtro passa-altas de ordem 52, sendo esta a ordem inicial. Nas figuras seguintes, a ordem e, conseqüentemente, a quantidade de amostras serão aumentadas e será possível comparar o formato da resposta em frequência para cada caso.

Figura 5: Resposta em frequência do filtro passa-alta de ordem 92, com frequência de passagem de 4,2 rad/s e acima e banda de rejeição de 4 rad/s.

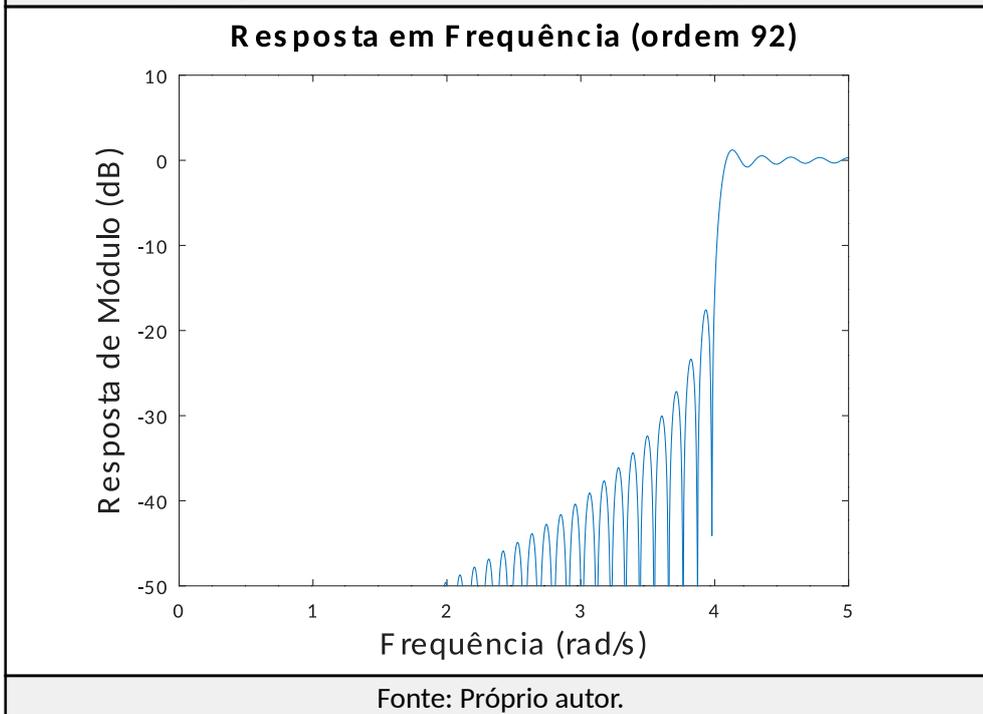


Figura 6: Resposta em frequência do filtro passa-alta de ordem 132, com frequência de passagem de 4,2 rad/s e acima e banda de rejeição de 4 rad/s.

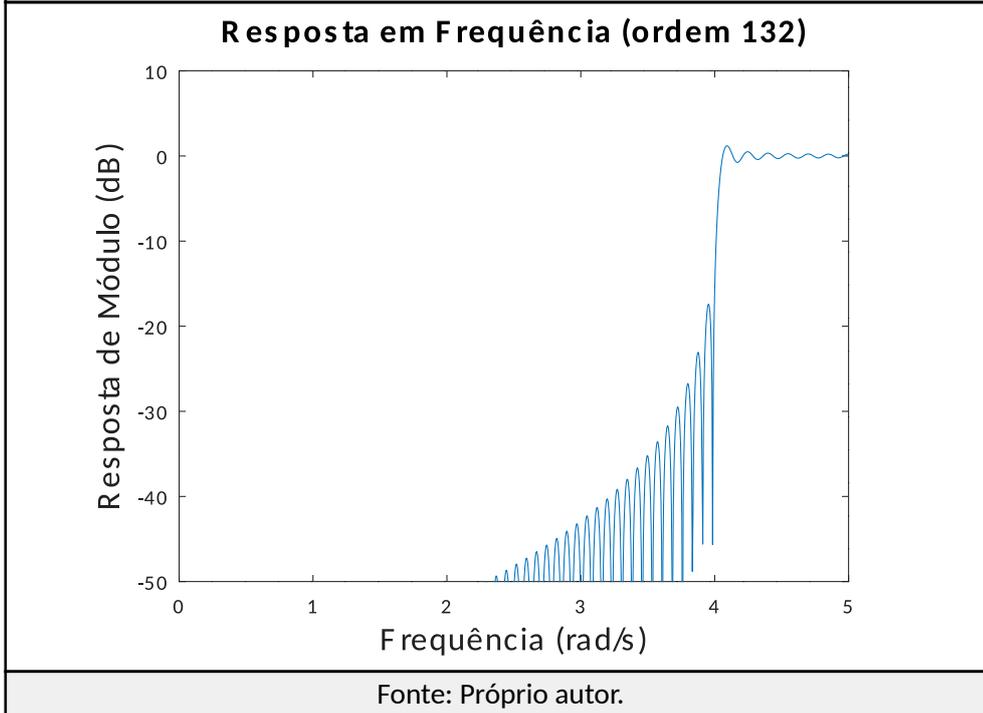


Figura 7: Resposta em frequência do filtro passa-alta de ordem 172, com frequência de passagem de 4,2 rad/s e acima e banda de rejeição de 4 rad/s.

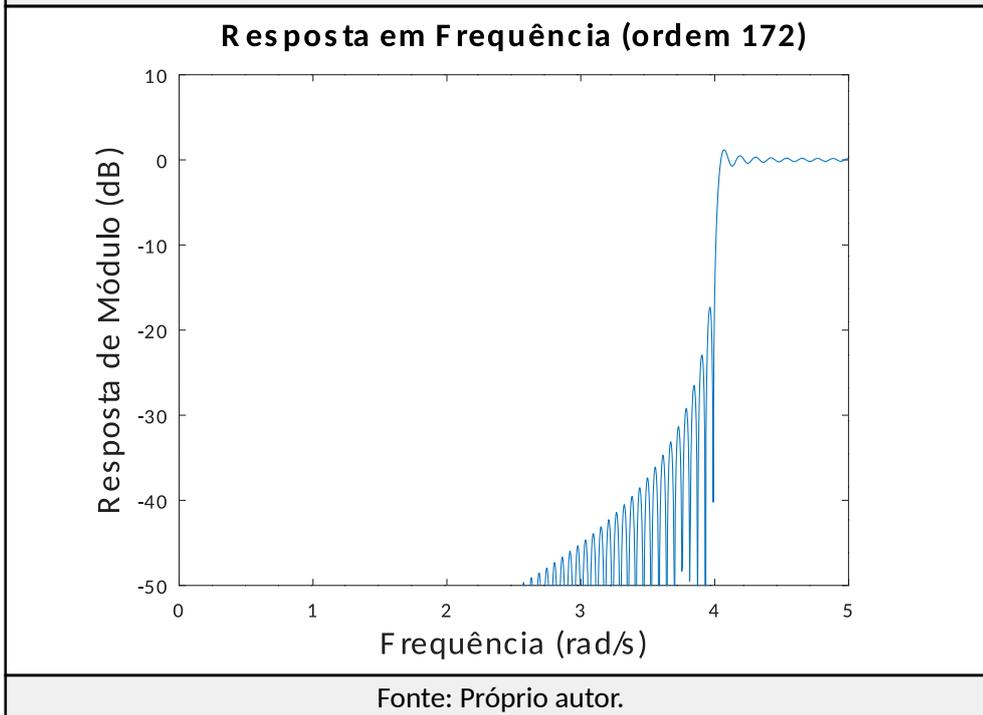
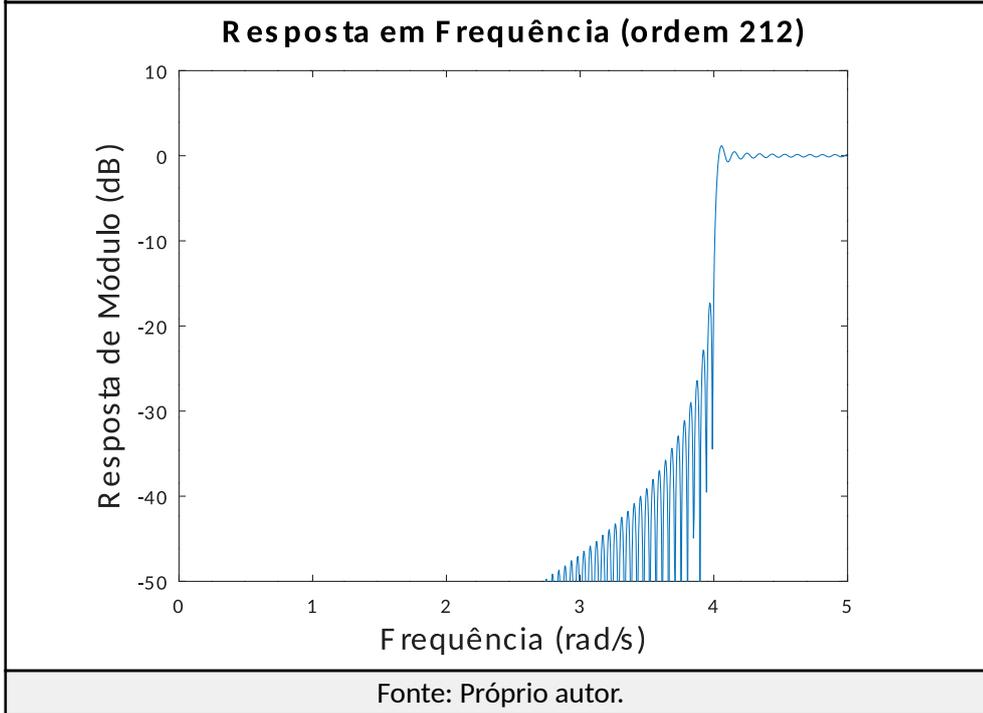
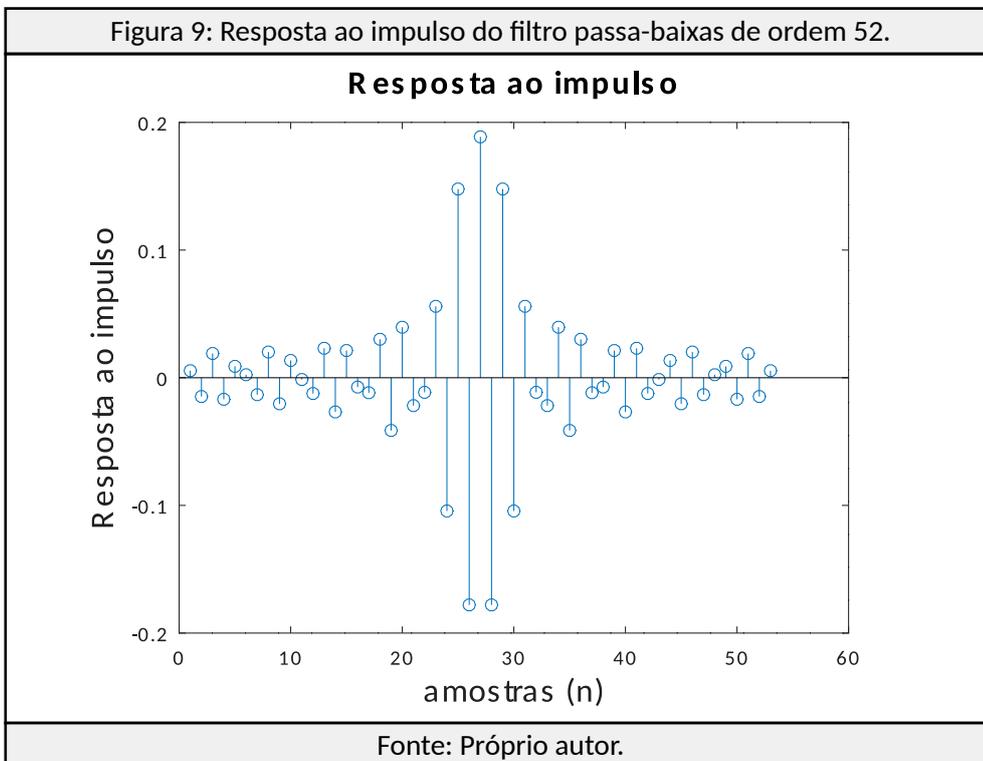


Figura 8: Resposta em frequência do filtro passa-alta de ordem 172, com frequência de passagem de 4,2 rad/s e acima e banda de rejeição de 4 rad/s.



Da Fig. 4 até a Fig. 8 é possível aferir que a transição da banda de rejeição para a banda de passagem ficou mais abrupta. Além disso, percebe-se menor amplitude de ondulação na banda de passagem. Por fim, é possível verificar que ocorre maior atenuação na banda de rejeição, provocada pelo aumento da ordem do filtro que saiu de 52 e foi aumentada em passos de 40 até a ordem 212.

Abaixo, é mostrada a resposta ao impulso para o filtro de ordem 52:



Nas figuras seguintes, serão mostradas as respostas ao impulso para os filtros de ordem 92, 132, 172 e 212:

Figura 10: Resposta ao impulso do filtro passa-baixas de ordem 92.

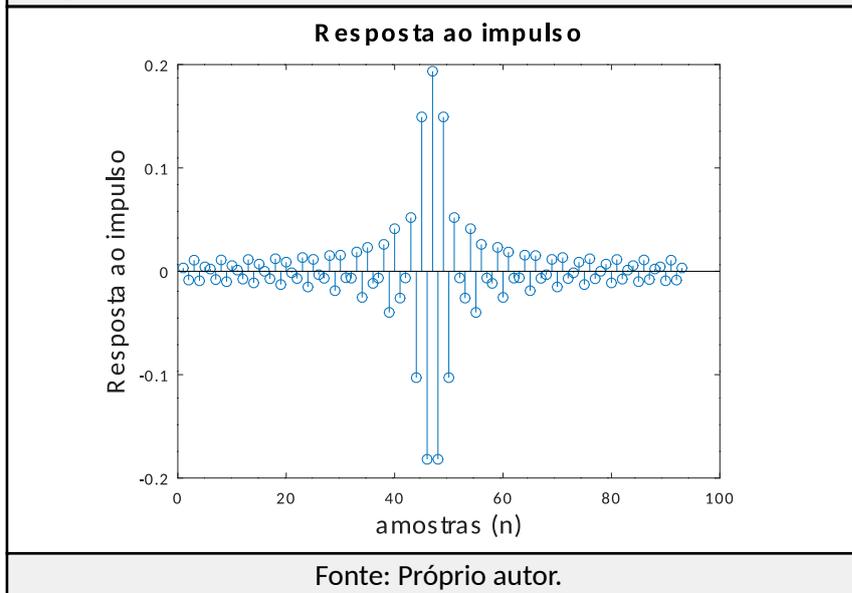


Figura 11: Resposta ao impulso do filtro passa-baixas de ordem 132.

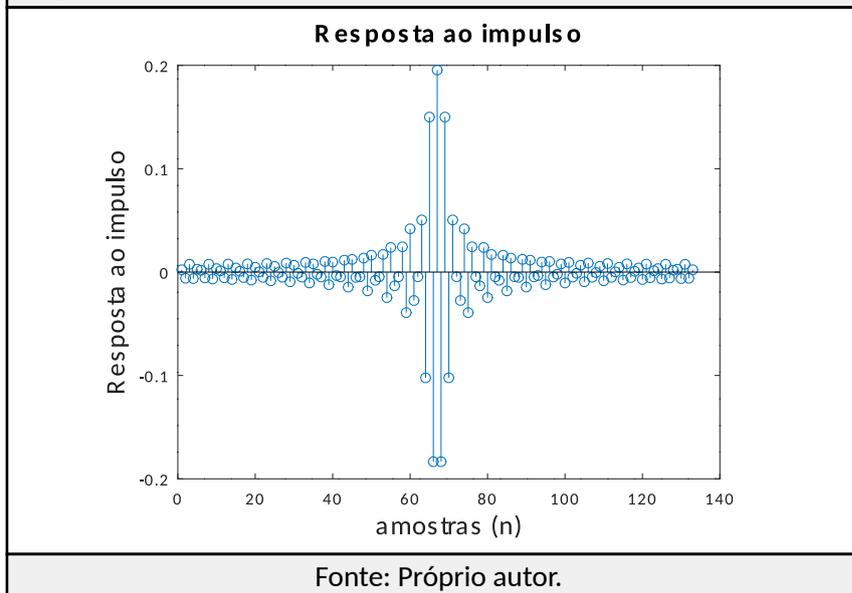


Figura 12: Resposta ao impulso do filtro passa-baixas de ordem 172.

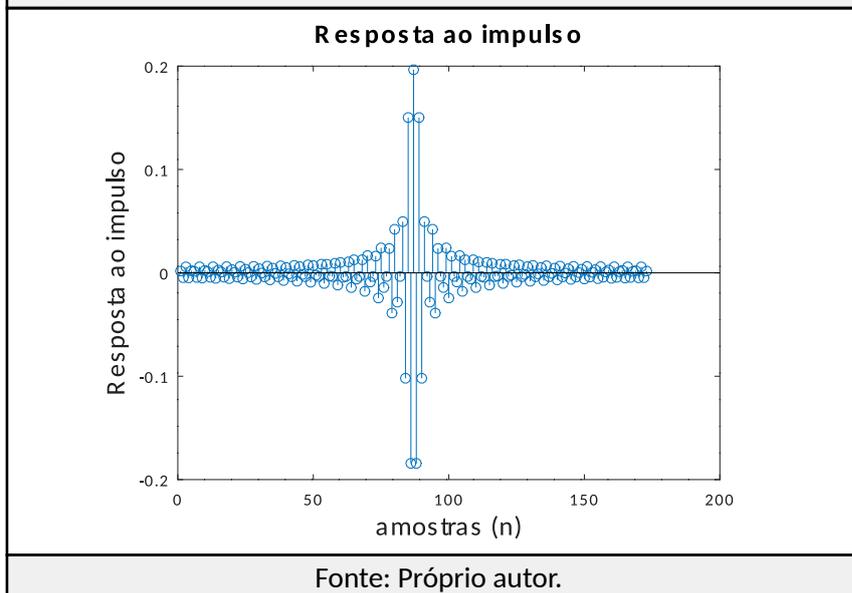
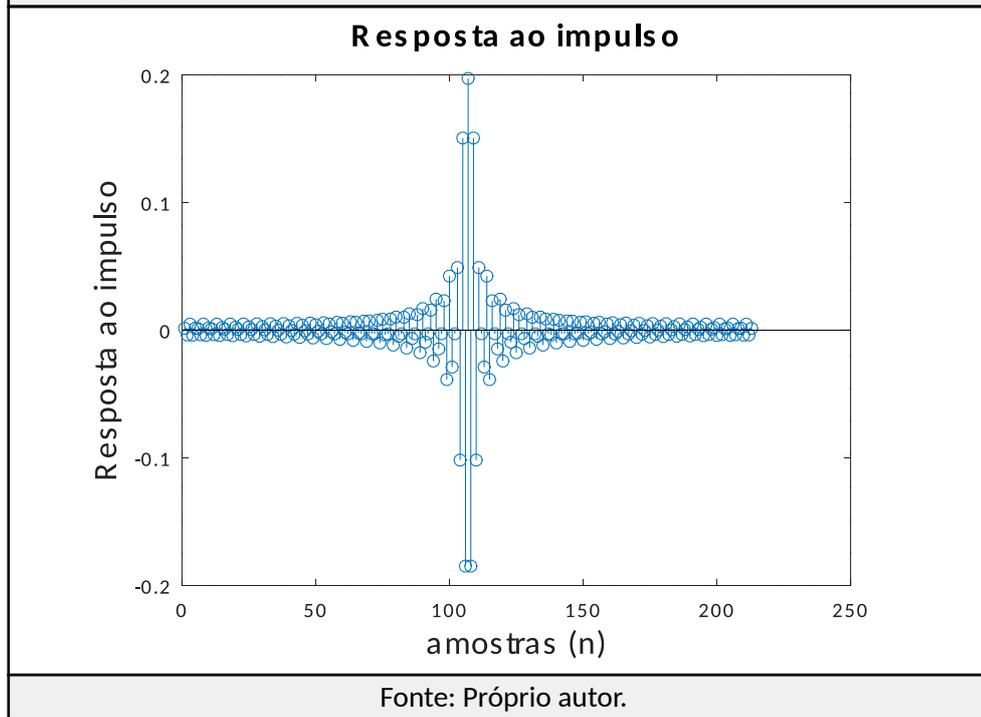


Figura 13: Resposta ao impulso do filtro passa-baixas de ordem 212.



Questão 3

Projete um filtro passa-faixa usando o método da amostragem em frequência que satisfaça a especificação a seguir:

- $M = 52$
- $\Omega_{r1} = 2 \text{ rad/s}$
- $\Omega_{p1} = 3 \text{ rad/s}$
- $\Omega_{p2} = 7 \text{ rad/s}$
- $\Omega_{r2} = 8 \text{ rad/s}$
- $\Omega_s = 20,0 \text{ rad/s}$
- Agora aumente o número de amostras, mantendo sua paridade e faça suas considerações.

Abaixo, está o código MATLAB criado:

```
1  clc; close all; clear all;
2
3  fig = 1;
4  for M=52:40:212
5      N = M+1;
6      Omega_p1 = 3;
7      Omega_p2 = 7;
8      Omega_r1 = 2;
9      Omega_r2 = 8;
10     Omega_s = 20;
11     kp1 = floor(N*Omega_p1/Omega_s);
12     kp2 = floor(N*Omega_p2/Omega_s);
13     kr1 = floor(N*Omega_r1/Omega_s);
14     kr2 = floor(N*Omega_r2/Omega_s);
15
16     if (kr1-kp1)>1
17         kp1=kr1-1;
18     end
19
20     if (kr2-kp2)>1
21         kp2=kr2-1;
22     end
23
```

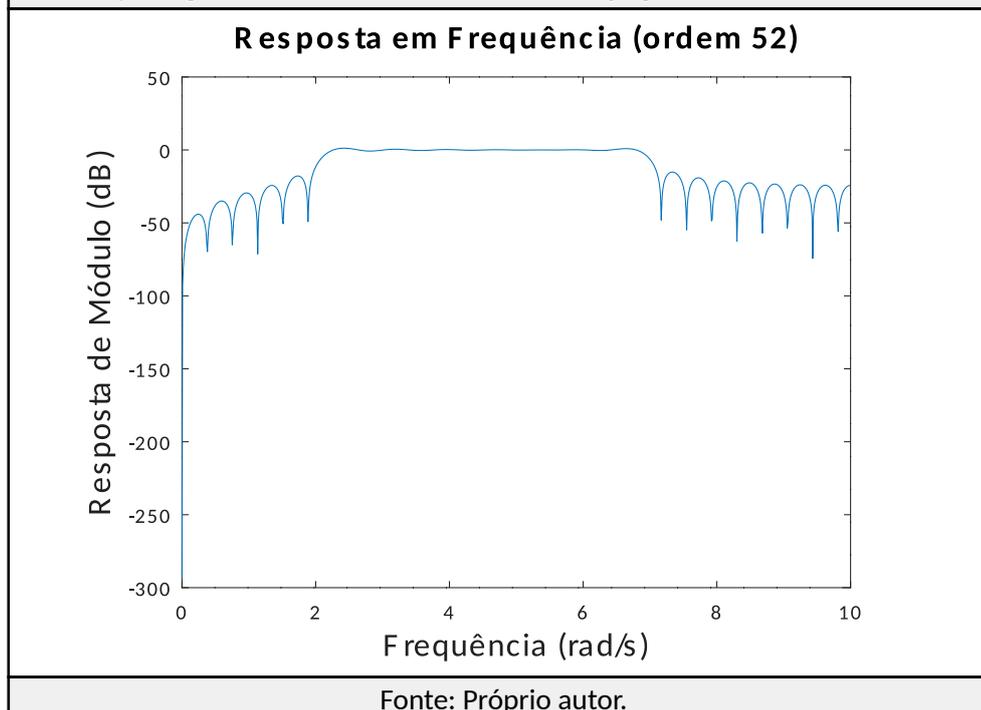
```

24 A = [zeros(1,kr1+1) ones(1,kp2-kp1) zeros(1,kr2+1)];
25
26 k = 1:M/2;
27 for n=0:M,
28     h(n+1) = A(1) + 2*sum((-1).^k.*A(k+1).*cos(pi.*k*(1+2*n)/N));
29 end;
30
31 h = h./N;
32 [H,w]=freqz(h,1,1024,Omegas);
33
34 tamanhoDaFonte = 16;
35
36 figure(fig)
37 plot(w,20*log10(abs(H)))
38 axis([0 5 -50 10])
39 h_ylabel = ylabel('Resposta de Módulo (dB)');
40 set(h_ylabel, 'FontSize', tamanhoDaFonte);
41 h_xlabel = xlabel('Frequência (rad/s)');
42 set(h_xlabel, 'FontSize', tamanhoDaFonte);
43 h_title = title(['Resposta em Frequência (ordem ', num2str(M), ')']);
44 set(h_title, 'FontSize', tamanhoDaFonte);
45
46 figure(fig+1)
47 stem(h)
48 h_ylabel = ylabel('Resposta ao impulso');
49 set(h_ylabel, 'FontSize', tamanhoDaFonte);
50 h_xlabel = xlabel('amostras (n)');
51 set(h_xlabel, 'FontSize', tamanhoDaFonte);
52 h_title = title('Resposta ao impulso');
53 set(h_title, 'FontSize', tamanhoDaFonte);
54
55 fig = fig + 2;
56 end

```

Da mesma maneira como realizado na questão 2, foi criado um laço para variar a quantidade de amostras, mantendo a paridade entre cada variação. Abaixo, está a resposta em frequência para o filtro passa-faixa de ordem 52 e com os parâmetros informados acima:

Figura 14: Resposta em frequência do filtro passa-faixa de ordem 52, frequência de passagem entre 3 e 7 rad/s e banda de rejeição de 2 rad/s e 8 rad/s.



Nas figuras seguintes, será mostrada a resposta na frequência quando aumenta-se a quantidade de amostras:

Figura 15: Resposta em frequência do filtro passa-faixa de ordem 92, frequência de passagem entre 3 e 7 rad/s e banda de rejeição de 2 rad/s e 8 rad/s.

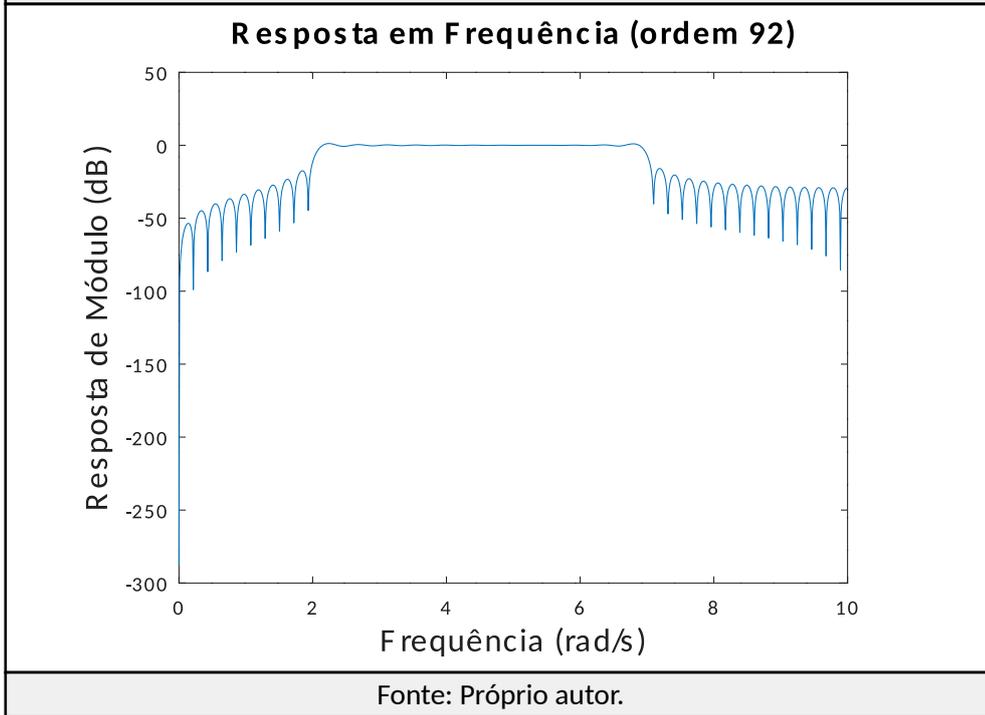


Figura 16: Resposta em frequência do filtro passa-faixa de ordem 132, frequência de passagem entre 3 e 7 rad/s e banda de rejeição de 2 rad/s e 8 rad/s.

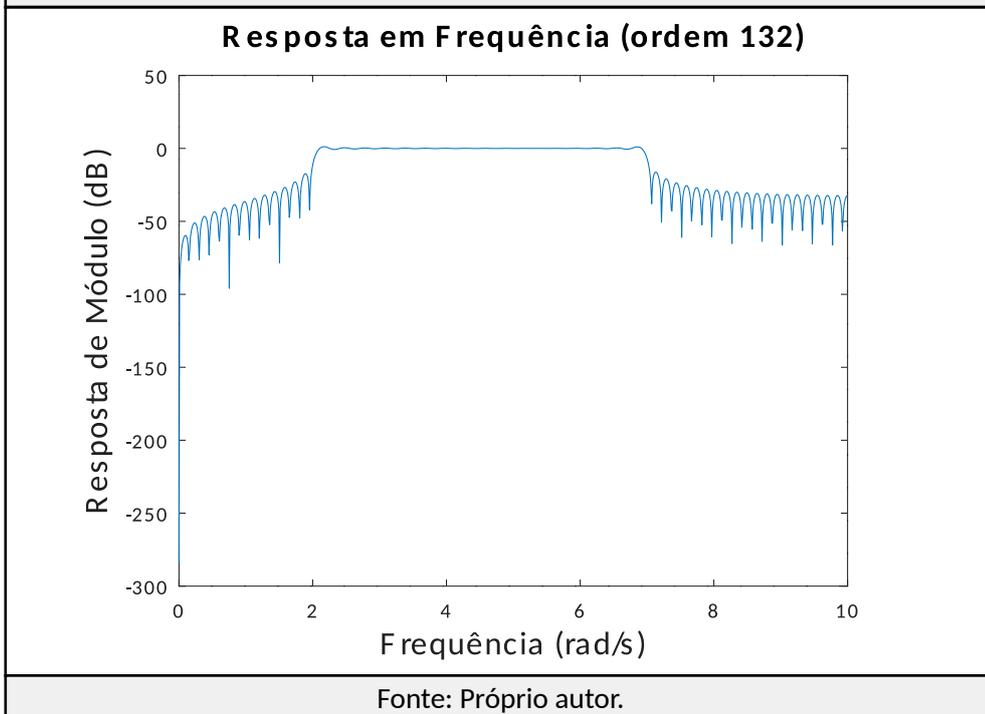


Figura 17: Resposta em frequência do filtro passa-faixa de ordem 172, frequência de passagem entre 3 e 7 rad/s e banda de rejeição de 2 rad/s e 8 rad/s.

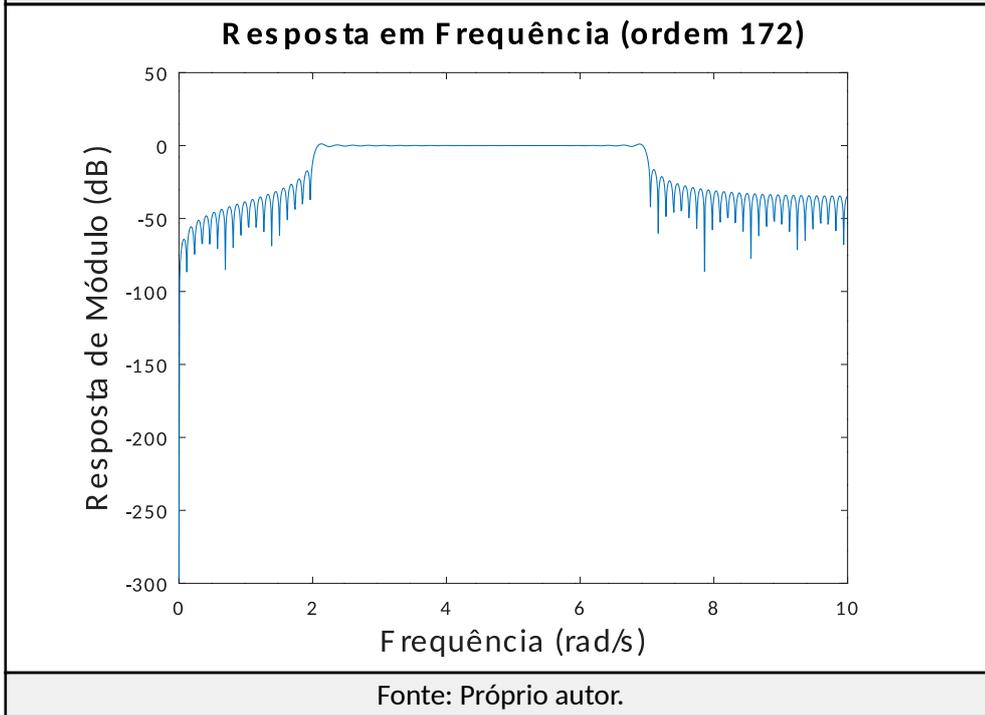
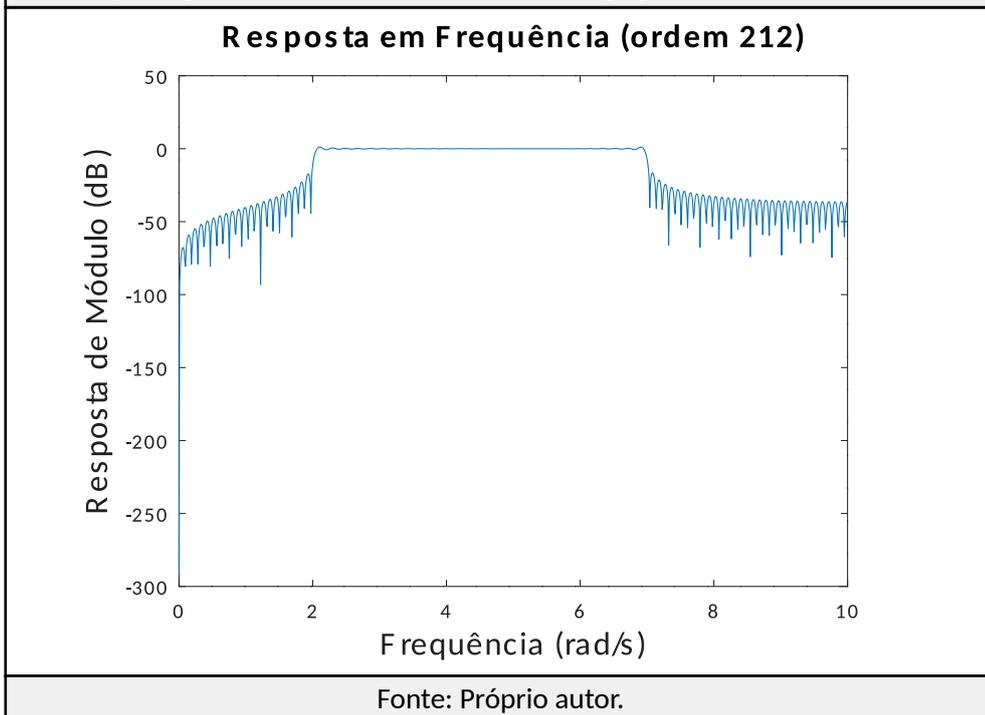


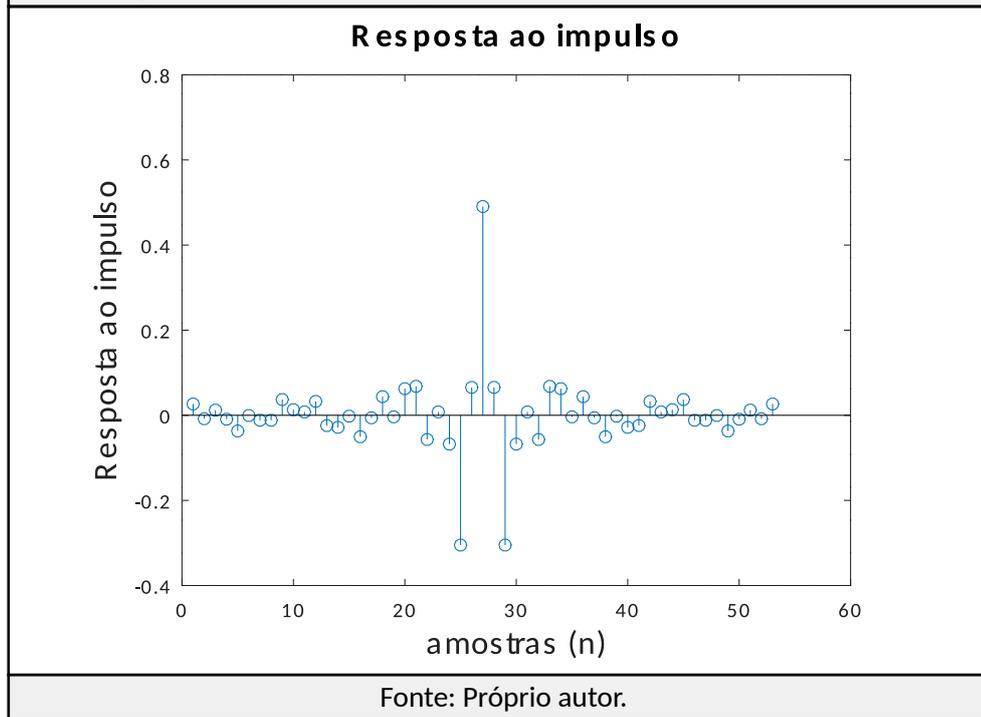
Figura 18: Resposta em frequência do filtro passa-faixa de ordem 212, frequência de passagem entre 3 e 7 rad/s e banda de rejeição de 2 rad/s e 8 rad/s.



Da Fig. 15 até a Fig. 18, é possível aferir que ocorre diminuição na banda de transição, sendo uma transição mais abrupta conforme a ordem do filtro aumenta. Além disso, conforme visto anteriormente, a atenuação na banda de rejeição também aumenta.

Na figura seguinte, será mostrada a resposta ao impulso para o filtro passa-faixa de ordem 52:

Figura 19: Resposta ao impulso do filtro passa-faixa de ordem 52.



Nas próximas figuras, será mostrado o que ocorre na resposta ao impulso quando a ordem e a quantidade de amostras são aumentadas:

Figura 20: Resposta ao impulso do filtro passa-faixa de ordem 92.

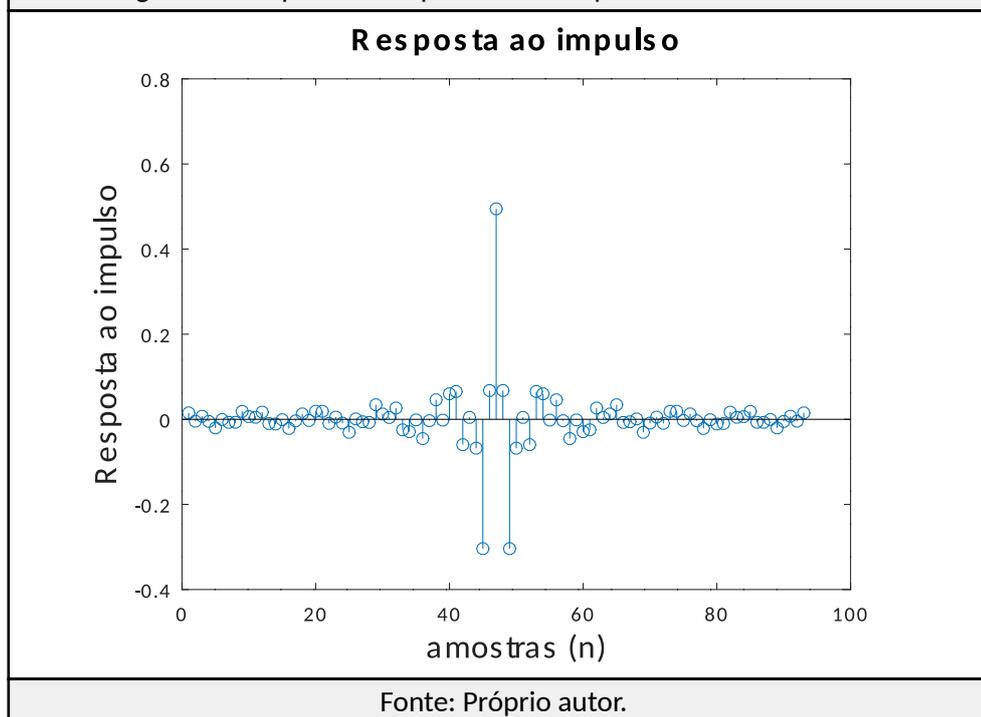


Figura 21: Resposta ao impulso do filtro passa-faixa de ordem 132.

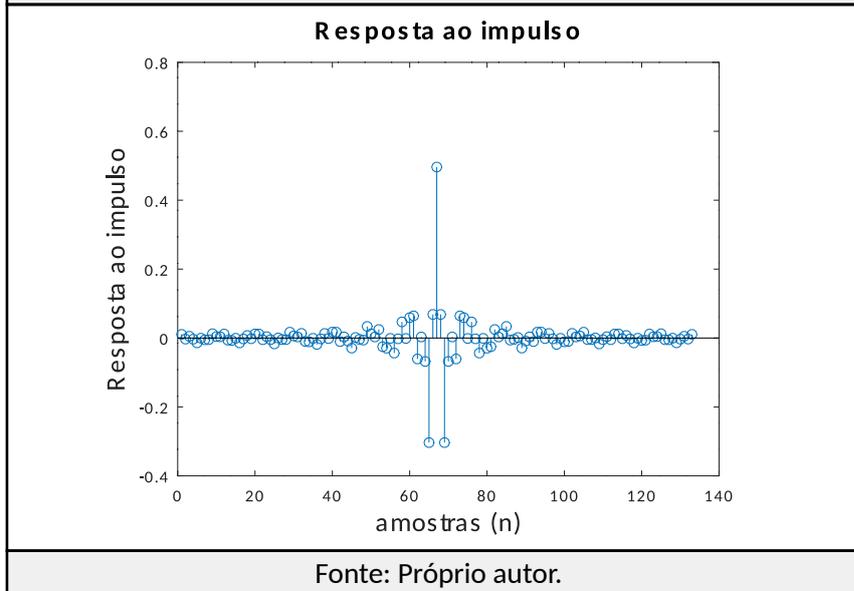


Figura 22: Resposta ao impulso do filtro passa-faixa de ordem 172.

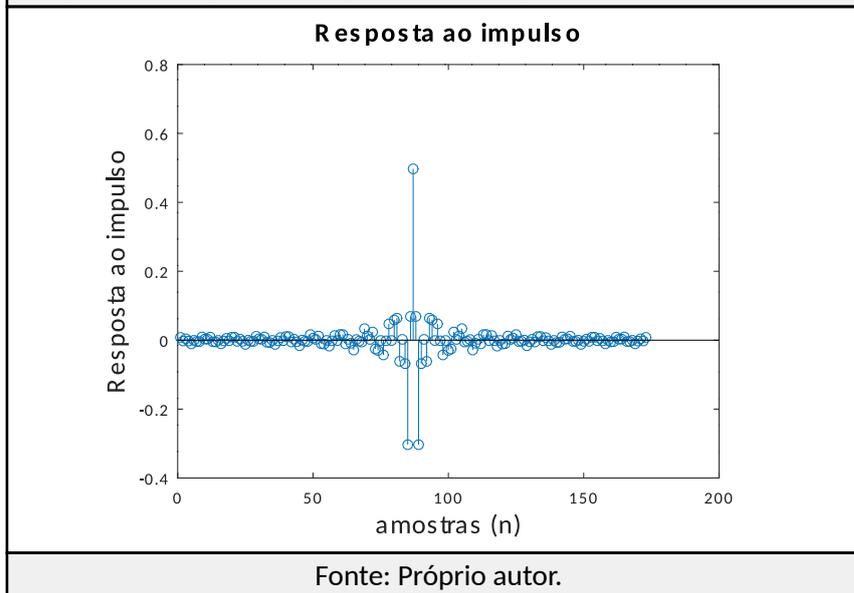
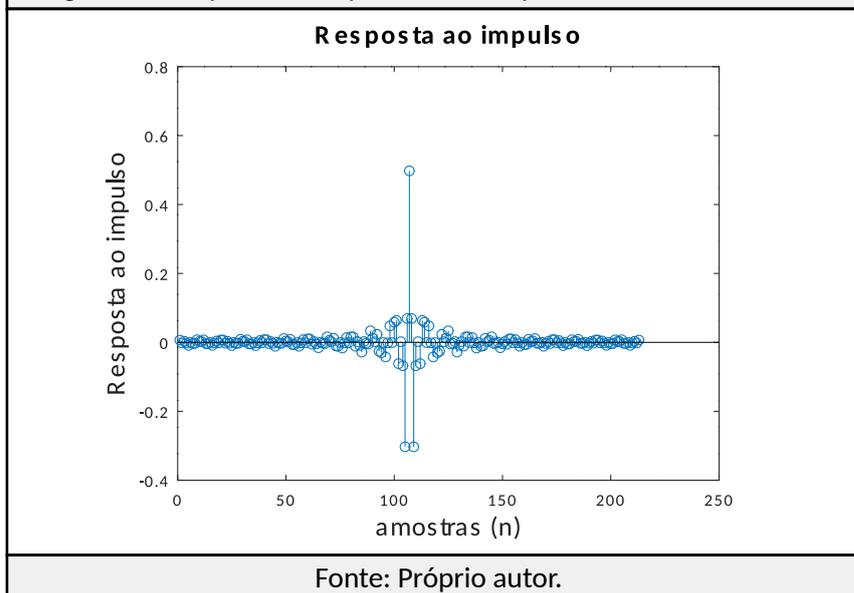


Figura 23: Resposta ao impulso do filtro passa-faixa de ordem 212.



Questão 4

Projete um filtro rejeita-faixa usando o método da amostragem em frequência que satisfaça a especificação a seguir:

- $M = 52$
- $\Omega_{p1} = 2 \text{ rad/s}$
- $\Omega_{r1} = 3 \text{ rad/s}$
- $\Omega_{r2} = 7 \text{ rad/s}$
- $\Omega_{p2} = 8 \text{ rad/s}$
- $\Omega_s = 20,0 \text{ rad/s}$

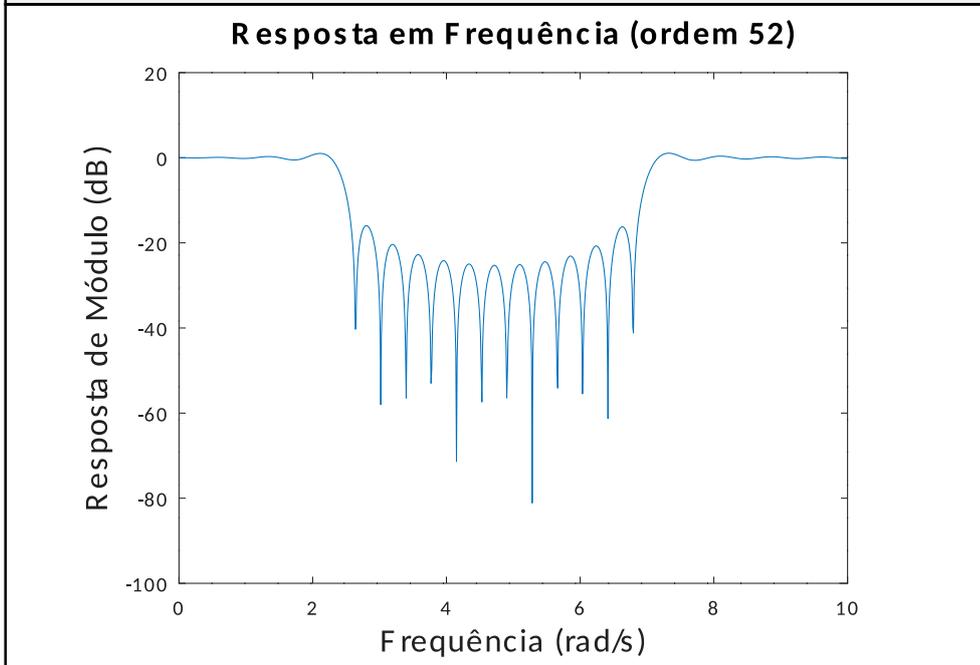
Abaixo, está o código na linguagem MATLAB:

```
1  clc; close all; clear all;
2
3  M=52
4  N = M+1;
5  Omega_p1 = 2;
6  Omega_p2 = 8;
7  Omega_r1 = 3;
8  Omega_r2 = 7;
9  Omega_s = 20;
10 kp1 = floor(N*Omega_p1/Omega_s);
11 kp2 = floor(N*Omega_p2/Omega_s);
12 kr1 = floor(N*Omega_r1/Omega_s);
13 kr2 = floor(N*Omega_r2/Omega_s);
14
15 if (kr1-kp1)>1
16     kp1=kr1-1;
17 end
18 if (kp2-kr2)>1
19     kp2=kr2+1;
20 end
21
22 A = [ones(1,kp1+1) zeros(1,kr2-kr1+1) ones(1,M/2-kp2+1)];
23
24 k = 1:M/2;
25 for n=0:M,
26     h(n+1) = A(1) + 2*sum((-1).^k.*A(k+1).*cos(pi.*k*(1+2*n)/N));
27 end;
28
29 h = h./N;
30 [H,w]=freqz(h,1,1024,Omega_s);
31
32 tamanhoDaFonte = 16;
33 figure(1);
34 plot(w,20*log10(abs(H)));
35 %axis([0 5 -50 10])
36 h_ylabel = ylabel('Resposta de Módulo (dB)');
37 set(h_ylabel, 'FontSize', tamanhoDaFonte);
38 h_xlabel = xlabel('Frequência (rad/s)');
39 set(h_xlabel, 'FontSize', tamanhoDaFonte);
40 h_title = title(['Resposta em Frequência (ordem ', num2str(M), ')']);
41 set(h_title, 'FontSize', tamanhoDaFonte);
42
43 figure(2);
44 stem(h);
45 h_ylabel = ylabel('Resposta ao impulso');
46 set(h_ylabel, 'FontSize', tamanhoDaFonte);
47 h_xlabel = xlabel('amostras (n)');
48 set(h_xlabel, 'FontSize', tamanhoDaFonte);
49 h_title = title('Resposta ao impulso');
50 set(h_title, 'FontSize', tamanhoDaFonte);
```

Para o caso do filtro rejeita-faixa, o vetor A é composto pela sequência formada por `zeroes()`, `ones()` e `zeroes()`. Dessa forma, apenas as frequências abaixo de Ω_{p1} e acima de Ω_{p2} não sofrem atenuação.

O filtro rejeita-faixa possui a seguinte resposta em frequência:

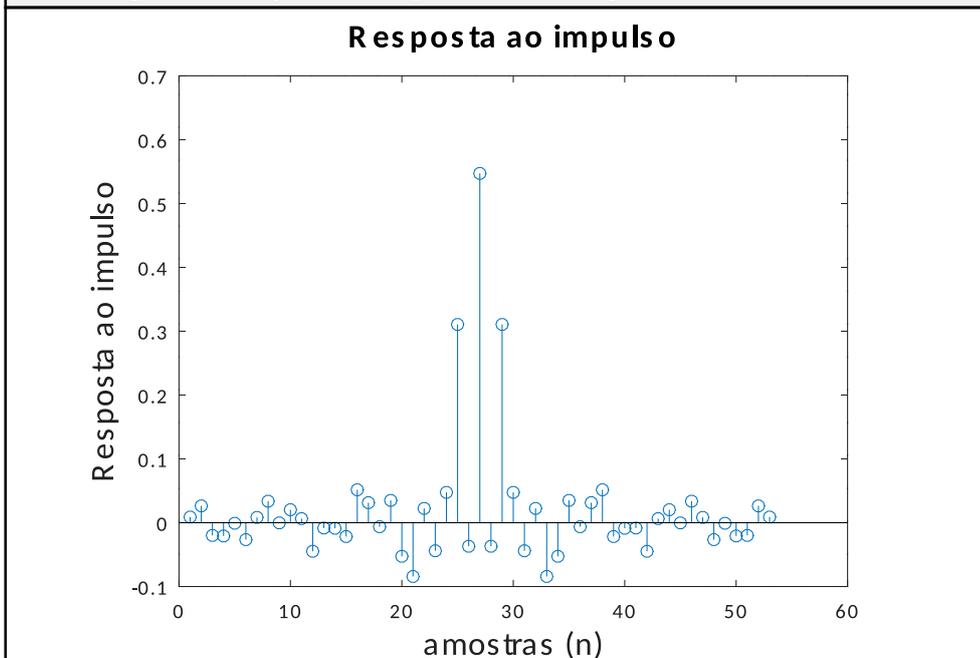
Figura 24: Resposta em frequência para o filtro rejeita-faixas de ordem 52, frequência de passagem abaixo de 3 rad/s e acima 7 rad/s e banda de rejeição entre 2 rad/s e 8 rad/s.



Fonte: Próprio autor.

A resposta ao impulso é dada abaixo:

Figura 25: Resposta ao impulso do filtro rejeita-faixa de ordem 52.



Fonte: Próprio autor.

Questão 5

Projete um filtro passa-faixa tipo III usando o método da amostragem em frequência que satisfaça a especificação a seguir:

- $M = 52$
- $\Omega_{r1} = 2$ rad/s
- $\Omega_{p1} = 3$ rad/s
- $\Omega_{p2} = 7$ rad/s
- $\Omega_{r2} = 8$ rad/s
- $\Omega_s = 20,0$ rad/s
- Agora aumente o número de amostras, mantendo sua paridade. Compare com os resultados da questão 3.

Segue, abaixo, o código criado na linguagem MATLAB:

```
1  clc; close all; clear all;
2
3  fig = 1;
4  tamanhoDaFonte = 16;
5  for M=52:40:224
6      N = M+1;
7      Omega_p1 = 3;
8      Omega_p2 = 7;
9      Omega_r1 = 2;
10     Omega_r2 = 8;
11     Omega_s = 20;
12     kp1 = floor(N*Omega_p1/Omega_s);
13     kp2 = floor(N*Omega_p2/Omega_s);
14     kr1 = floor(N*Omega_r1/Omega_s);
15     kr2 = floor(N*Omega_r2/Omega_s);
16
17     if (kr1-kp1)>1
18         kp1=kr1-1;
19     end
20     if (kr2-kp2)>1
21         kp2=kr2-1;
22     end
23
24     A = [zeros(1,kr1+1) ones(1,kp2-kp1) zeros(1,kr2+1)];
25
26     k = 1:M/2;
27     for n=0:M,
28         h(n+1) = sum((-1).^(k+1).*A(k+1).*sin(pi.*k*(1+2*n)/N));
29     end;
30
31     h = 2*h./N;
32     [H,w]=freqz(h,1,1024,Omega_s);
33
34     figure(fig);
35     plot(w,20*log10(abs(H)));
36     %axis([0 5 -50 10])
37     h_ylabel = ylabel('Resposta de Módulo (dB)');
38     set(h_ylabel, 'FontSize', tamanhoDaFonte);
39     h_xlabel = xlabel('Frequência (rad/s)');
40     set(h_xlabel, 'FontSize', tamanhoDaFonte);
41     h_title = title(['Resposta em Frequência (ordem ', num2str(M), ')']);
42     set(h_title, 'FontSize', tamanhoDaFonte);
43
44     figure(fig+1);
45     stem(h);
46     h_ylabel = ylabel('Resposta ao impulso');
47     set(h_ylabel, 'FontSize', tamanhoDaFonte);
48     h_xlabel = xlabel('amostras (n)');
```

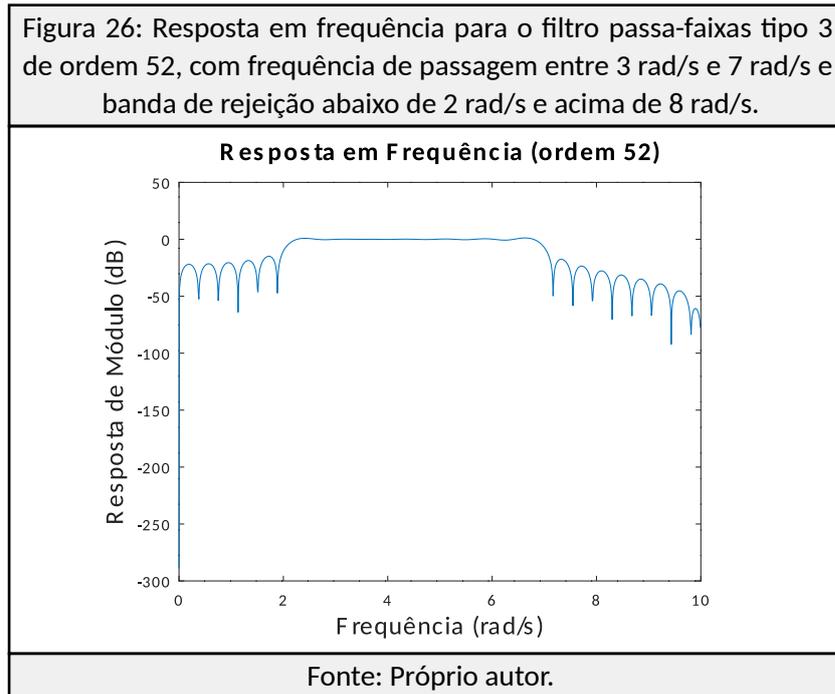
```

49     set(h_xlabel, 'FontSize', tamanhoDaFonte);
50     h_title = title('Resposta ao impulso');
51     set(h_title, 'FontSize', tamanhoDaFonte);
52
53     fig = fig + 2;
54 end

```

Assim como realizado em questões anteriores, foi criado um laço principal que varia a quantidade de amostras mantendo a paridade com a ordem. Para fazer a realização do tipo 3, foi ajustado o somatório da expressão contida no laço de cálculo do vetor “h”. Em seguida, na linha 31, cada amplitude tem ganho duplicado.

Na figura abaixo é mostrado a resposta na frequência para o filtro passa-faixa de ordem 52:



Nas figuras seguintes, será mostrada a resposta na frequência quando aumenta-se a quantidade de amostras.

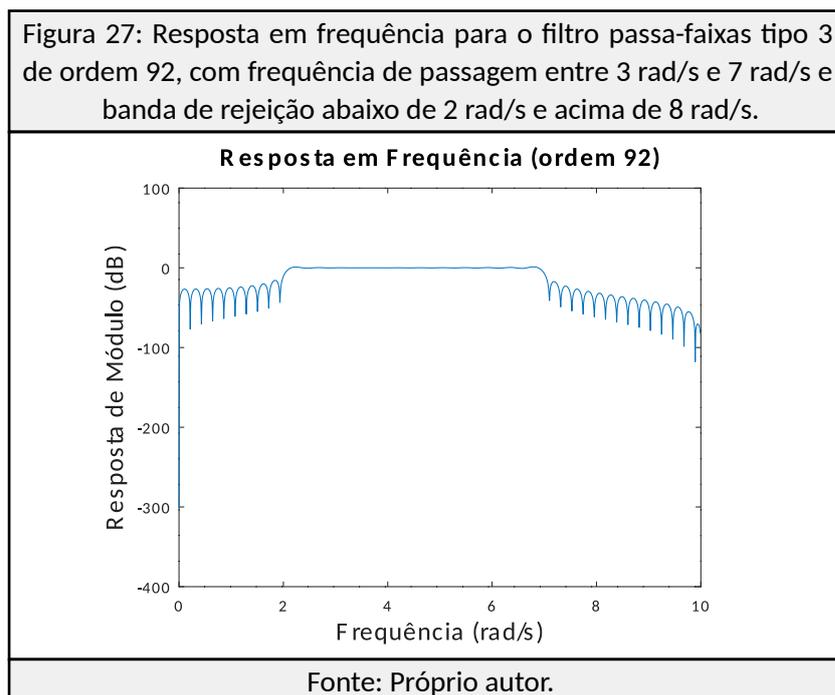


Figura 28: Resposta em frequência para o filtro passa-faixas tipo 3 de ordem 132, com frequência de passagem entre 3 rad/s e 7 rad/s e banda de rejeição abaixo de 2 rad/s e acima de 8 rad/s.

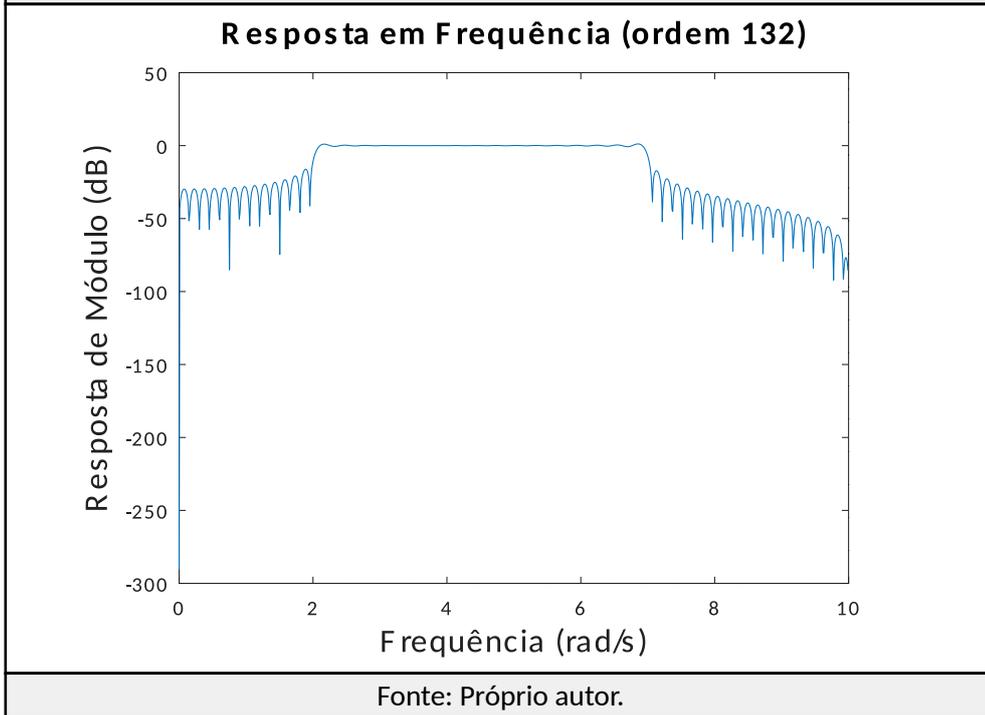


Figura 29: Resposta em frequência para o filtro passa-faixas tipo 3 de ordem 172, com frequência de passagem entre 3 rad/s e 7 rad/s e banda de rejeição abaixo de 2 rad/s e acima de 8 rad/s.

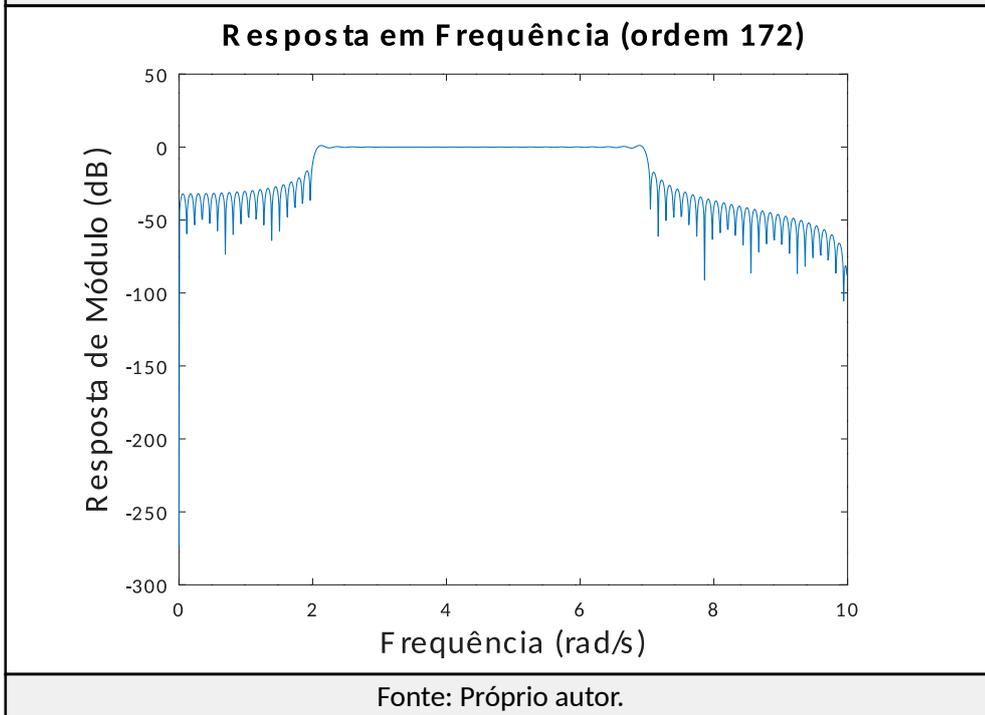
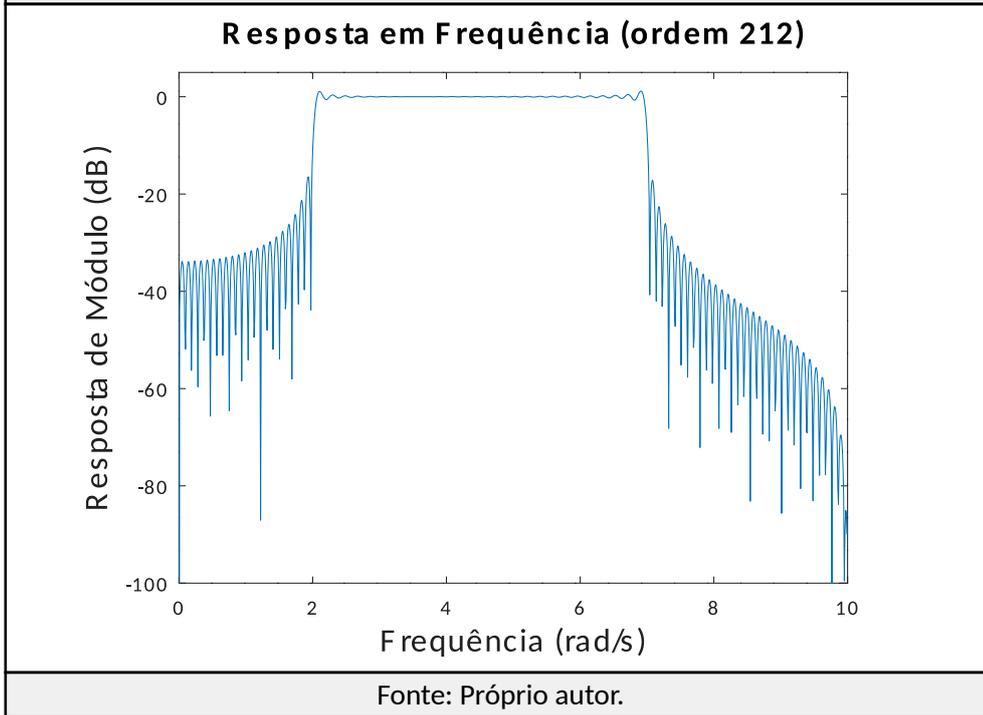
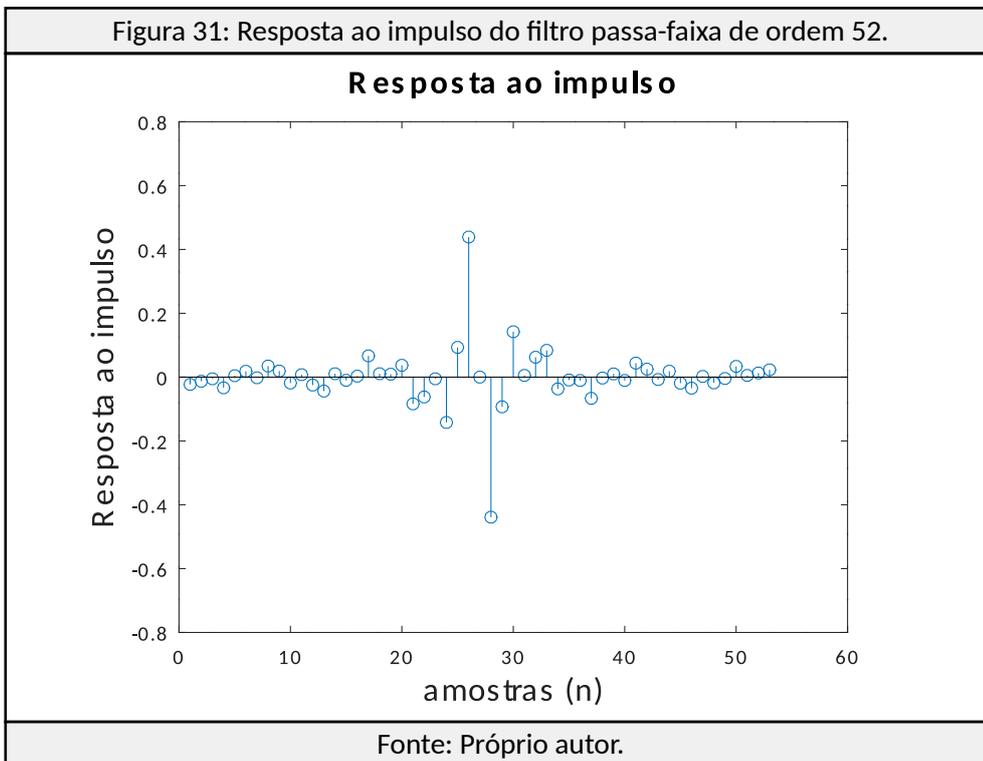


Figura 30: Resposta em frequência para o filtro passa-faixas tipo 3 de ordem 212, com frequência de passagem entre 3 rad/s e 7 rad/s e banda de rejeição abaixo de 2 rad/s e acima de 8 rad/s.



Da Fig. 26 até a Fig. 30, é possível aferir que o aumento na ordem diminui a banda de transição, situação observada pela transição mais abrupta da banda de passagem para a banda de rejeição. Na Fig. 30, o gráfico foi ampliado no eixo Y (Resposta de Módulo(dB)), possibilitando a melhor visualização do efeito de Gibbs, que ocorre por conta das somas parciais da série de Fourier, a qual possuem descontinuidades.

Na figura abaixo, é mostrada a resposta ao impulso para o filtro passa-faixa do tipo 3 e ordem 52:



Nas figuras seguintes, será mostrado o efeito na resposta ao impulso quando a quantidade de amostras é aumentada.

Figura 32: Resposta ao impulso do filtro passa-faixa de ordem 92.

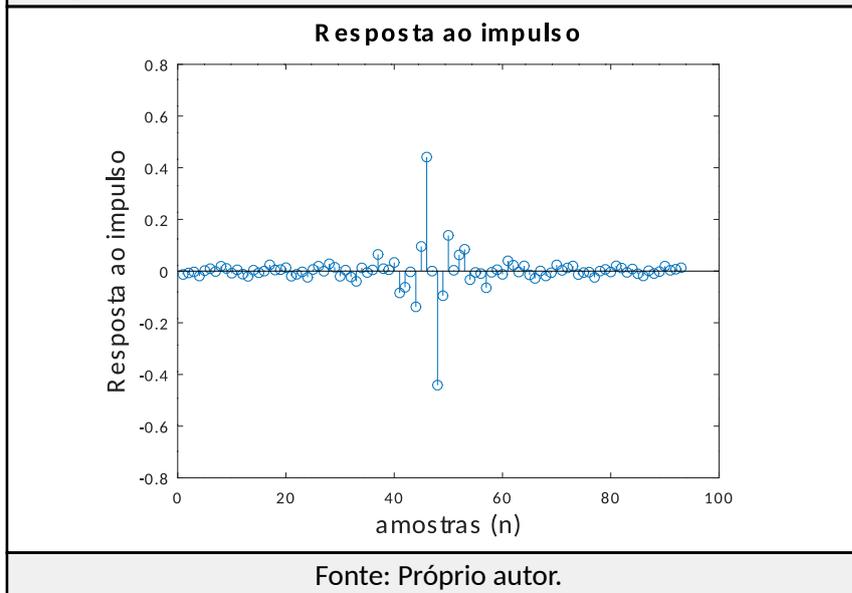


Figura 33: Resposta ao impulso do filtro passa-faixa de ordem 132.

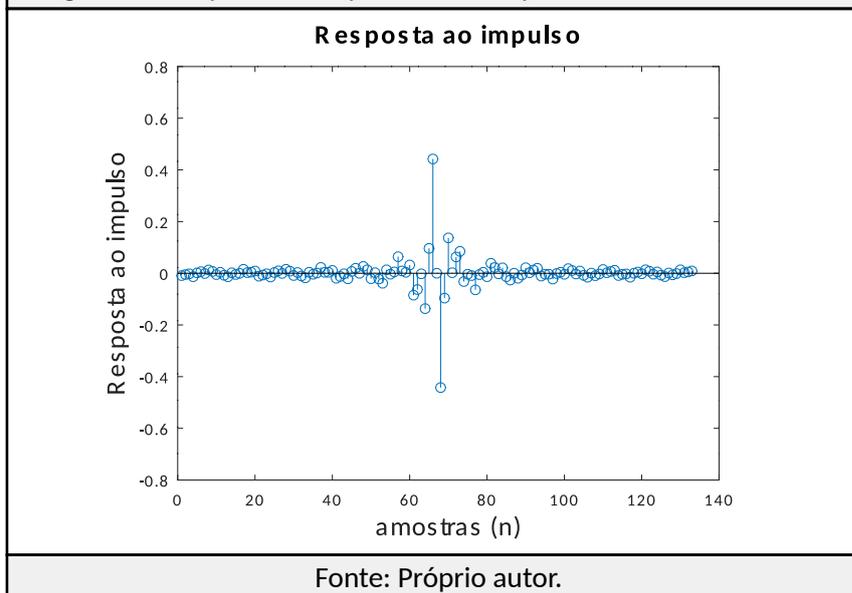


Figura 34: Resposta ao impulso do filtro passa-faixa de ordem 172.

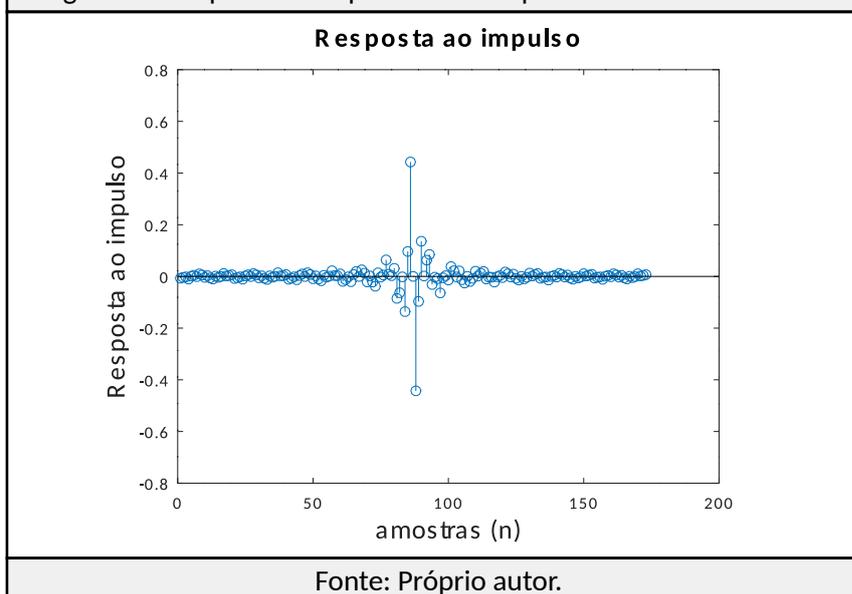
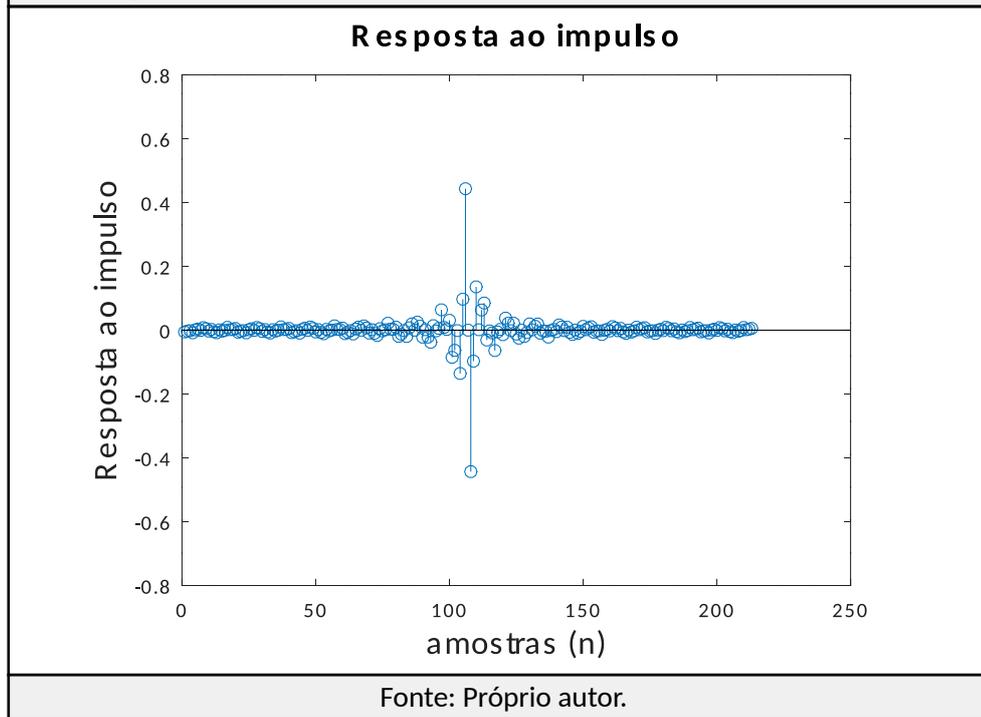


Figura 35: Resposta ao impulso do filtro passa-faixa de ordem 212.



Questão 6

Projete um filtro passa-baixas usando o método da amostragem em frequência que satisfaça a especificação a seguir:

- $M = 53$
- $\Omega_p = 4,0$ rad/s
- $\Omega_r = 4,2$ rad/s
- $\Omega_s = 10,0$ rad/s

Segue, abaixo, o código criado na linguagem MATLAB:

```

1  clc; close all; clear all;
2
3  M = 53;
4  N = M+1;
5  Omega_p = 4;
6  Omega_r = 4.2;
7  Omega_s = 10;
8  tamanhoDaFonte = 16;
9  kp = floor(N*Omega_p/Omega_s);
10 kr = floor(N*Omega_r/Omega_s);
11
12 if (kr-kp)>1
13     kp=kr-1;
14 end
15
16 A = [ones(1,kp+1) zeros(1,floor(N/2-kr+1))];
17 k = 1:(M-1)/2;
18
19 for n=0:M,
20     h(n+1) = A(1) + 2*sum((-1).^k.*A(k+1).*cos(pi.*k*(1+2*n)/N));
21 end;
22
23 h = h./N;
24 [H,w]=freqz(h,1,2048,Omega_s);
25 figure(1)
26 plot(w,20*log10(abs(H)))

```

```

27 axis([0 5 -50 10])
28 h_ylabel = ylabel('Resposta de Módulo (dB)');
29 set(h_ylabel, 'FontSize', tamanhoDaFonte);
30 h_xlabel = xlabel('Frequência (rad/s)');
31 set(h_xlabel, 'FontSize', tamanhoDaFonte);
32 h_title = title(['Resposta em Frequência (ordem ', num2str(M), ')']);
33 set(h_title, 'FontSize', tamanhoDaFonte);
34
35 figure(2)
36 stem(h)
37 h_ylabel = ylabel('Resposta ao impulso');
38 set(h_ylabel, 'FontSize', tamanhoDaFonte);
39 h_xlabel = xlabel('amostras (n)');
40 set(h_xlabel, 'FontSize', tamanhoDaFonte);
41 h_title = title('Resposta ao impulso');
42 set(h_title, 'FontSize', tamanhoDaFonte);

```

Nesse caso, por conta da paridade ímpar, foi realizado um ajuste no vetor “A” para que seja criado um filtro do tipo 2, conforme mostrado no trecho de código abaixo:

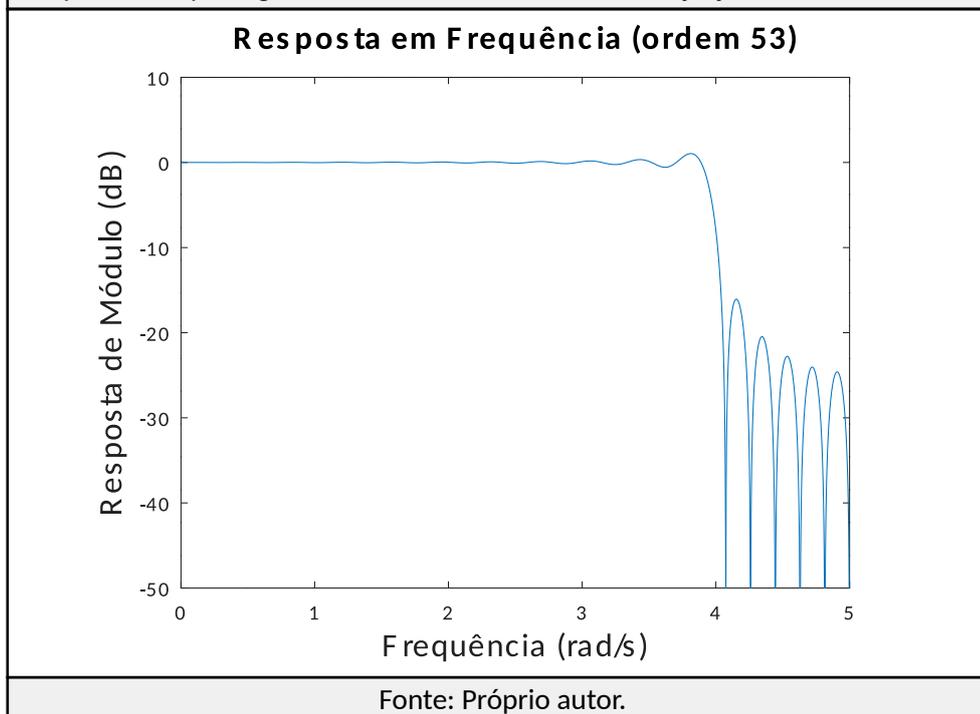
```

16 A = [ones(1, kp+1) zeros(1, floor(N/2-kr+1))];
17 k = 1:(M-1)/2;

```

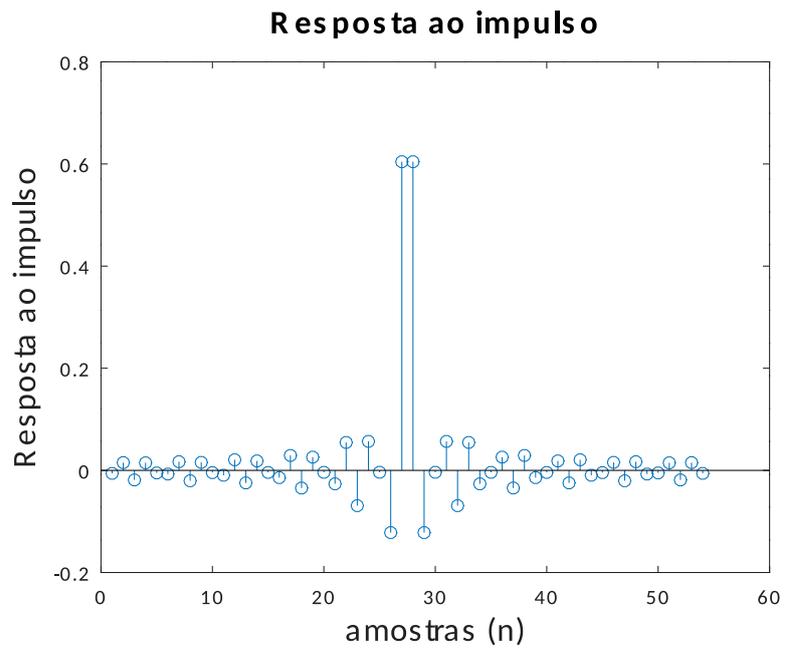
Comparando com o código do primeiro exercício, na linha 16 é possível verificar que a função que cria os zeros foi alterada de `zeros(1, M/2-kr+1)` para `zeros(1, floor(N/2-kr+1))`. Além disso, o vetor “k” foi ajustado de `k = 1:M/2`; para `k = 1:(M-1)/2`. Por fim, a resposta em frequência, ficou da seguinte forma:

Figura 36: Resposta em frequência do filtro passa-baixas de ordem 53, com frequência de passagem abaixo de 4 rad/s e banda de rejeição acima de 4,2 rad/s.



A resposta ao impulso é dada por:

Figura 37: Resposta ao impulso do filtro passa-baixas de ordem 53.



Fonte: Próprio autor.