



**INSTITUTO
FEDERAL**

Santa Catarina

Câmpus
São José

Filtros Digitais

Processamento de Sinais Digitais

Arthur Cadore Matuella Barcella

05 de Maio de 2024

Engenharia de Telecomunicações - IFSC-SJ

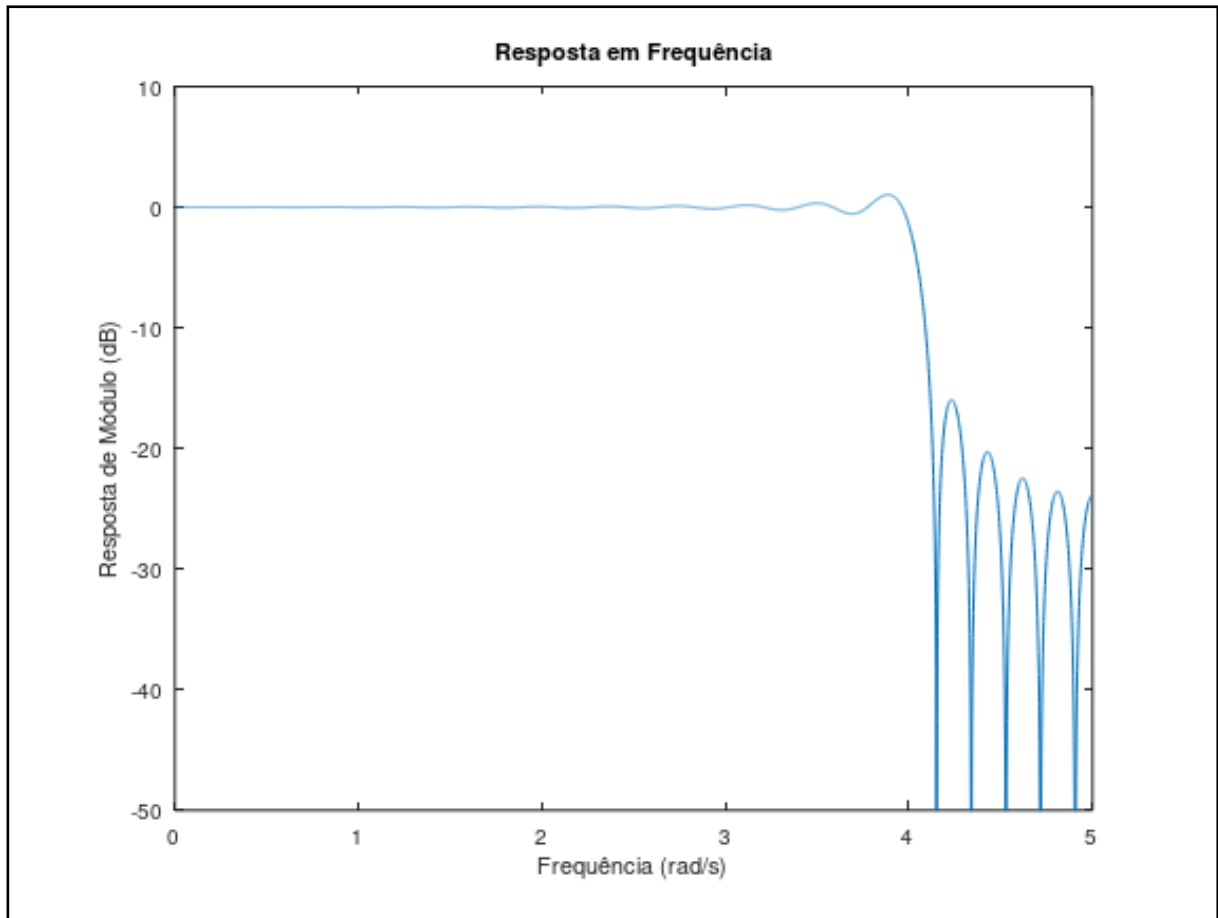
Sumário

1. Exemplo:	3
2. Questão 1:	5
3. Questão 2:	8
4. Questão 3:	11
5. Questão 4:	14
6. Questão 5:	17
7. Questão 6:	20

1. Exemplo:

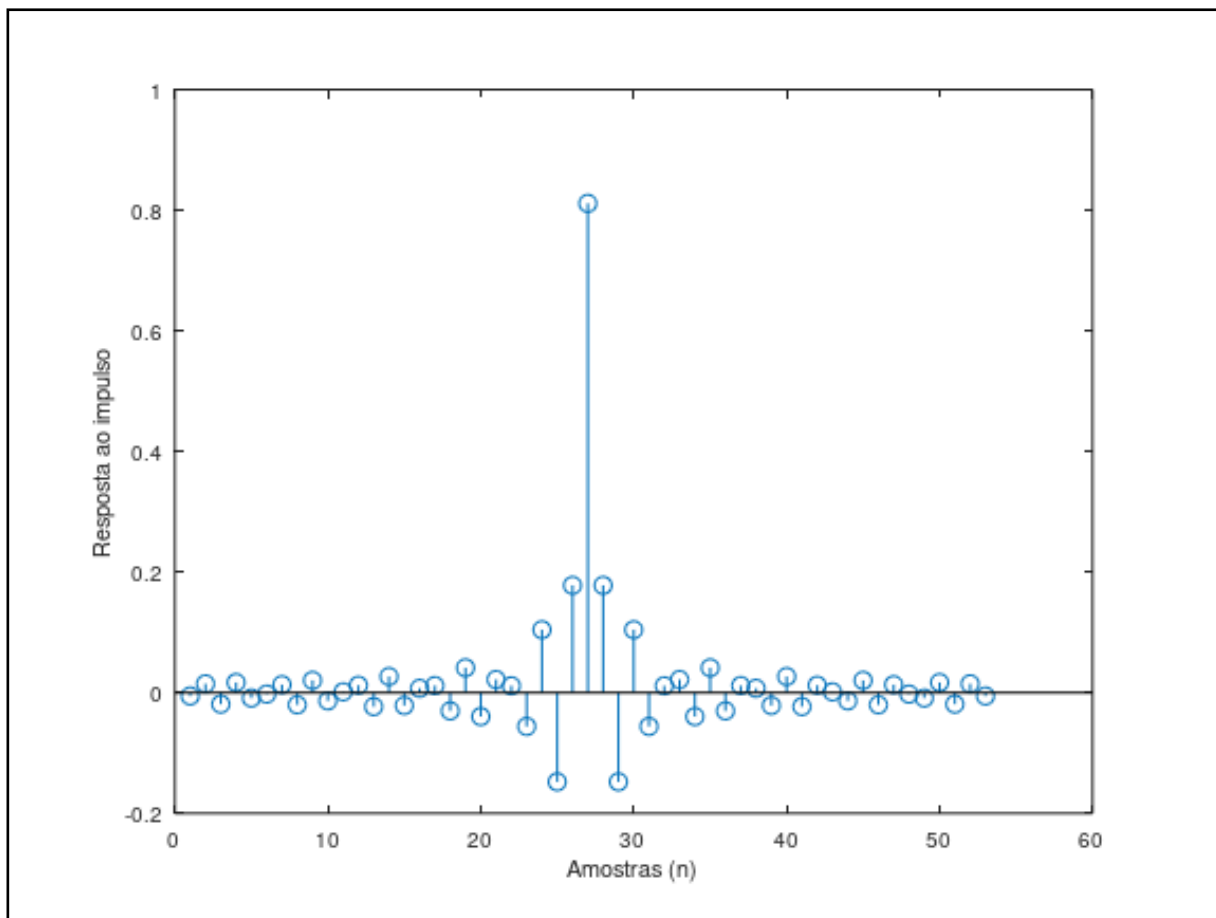
```
1 clear all % Limpa todas as variáveis e funções da área de trabalho
2
3 M = 52; % Define a ordem do filtro
4 N = M + 1; % Define o comprimento do filtro
5 Omega_p = 4; % Frequência de passagem
6 Omega_r = 4.2; % Frequência de rejeição
7 Omega_s = 10; % Frequência de amostragem
8
9 kp = floor(N * Omega_p / Omega_s); % Índice de passagem
10 kr = floor(N * Omega_r / Omega_s); % Índice de rejeição
11
12 A = [ones(1, kp + 1) zeros(1, M / 2 - kr + 1)]; % Vetor de resposta ideal
    em frequência
13
14 % Corrigindo o cálculo de 'A' para evitar vetores de tamanho não inteiro
15 A = [ones(1, kp + 1) zeros(1, ceil(M / 2 - kr) + 1)];
16
17 % Ajuste de kp se a diferença entre kr e kp for maior que 1
18 if (kr - kp) > 1
19     kp = kr - 1;
20 end
21
22 % Inicializando o vetor de resposta ao impulso
23 h = zeros(1, N);
24
25 k = 1:M/2; % Índices para o cálculo da resposta ao impulso
26 for n = 0:M
27     h(n + 1) = A(1) + 2 * sum((-1).^k .* A(k + 1) .* cos(pi * k * (1 + 2
    * n) / N));
28 end
29
30 h = h / N; % Normalização da resposta ao impulso
31
32 % Calculando a resposta em frequência
33 [H, w] = freqz(h, 1, 2048, Omega_s);
34
35 % Plotando a resposta em frequência
36 figure(1)
37 plot(w, 20 * log10(abs(H)))
38 axis([0 5 -50 10])
39 ylabel('Resposta de Módulo (dB)')
40 xlabel('Frequência (rad/s)')
41 title('Resposta em Frequência')
42
43 % Plotando a resposta ao impulso
44 figure(2)
45 stem(h)
46 ylabel('Resposta ao impulso')
47 xlabel('Amostras (n)')
```

Figura 1: Elaborada pelo Autor



Forma de onda no domínio do tempo e densidade espectral de potência do sinal filtrado.

Figura 2: Elaborada pelo Autor



Forma

2. Questão 1:

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

- $M = 200$
- $\Omega_p = 4 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$
- $\Omega_r = 4,2 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$
- $\Omega_s = 10,0 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$

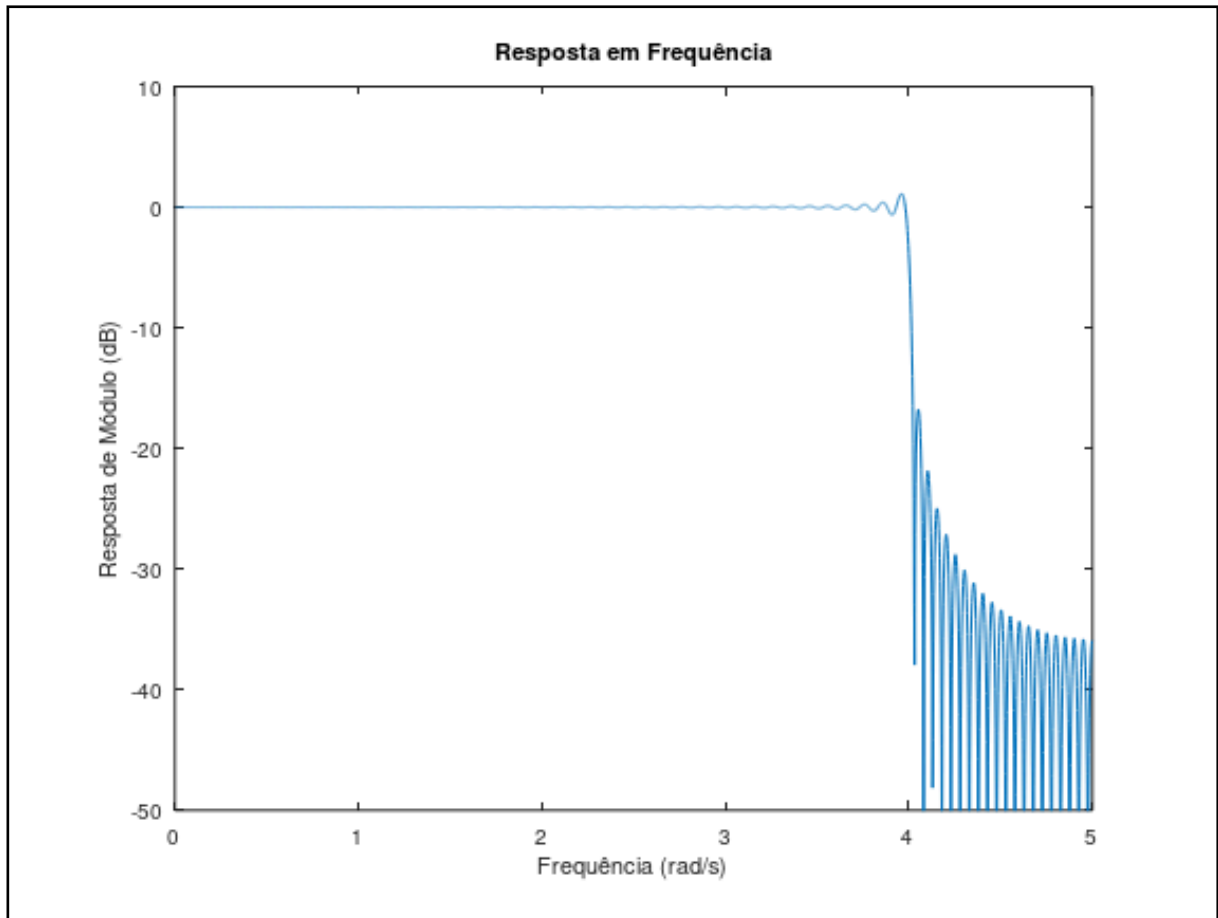
```
1 clear all % Limpa todas as variáveis e funções da área de trabalho
2
3 % Definindo os parâmetros do filtro
4 M = 200; % Define a ordem do filtro
5 N = M + 1; % Define o comprimento do filtro
6 Omega_p = 4.0; % Frequência de passagem
7 Omega_r = 4.2; % Frequência de rejeição
8 Omega_s = 10.0; % Frequência de amostragem
9
10 kp = floor(N * Omega_p / Omega_s); % Índice de passagem
11 kr = floor(N * Omega_r / Omega_s); % Índice de rejeição
12
```

```

13 % Corrigindo o cálculo de 'A' para evitar vetores de tamanho não inteiro
14 A = [ones(1, kp + 1) zeros(1, N - (kp + 1))];
15
16 % Ajuste de kp se a diferença entre kr e kp for maior que 1
17 if (kr - kp) > 1
18     kp = kr - 1;
19 end
20
21 % Inicializando o vetor de resposta ao impulso
22 h = zeros(1, N);
23
24 k = 1:M/2; % Índices para o cálculo da resposta ao impulso
25 for n = 0:M
26     h(n + 1) = A(1) + 2 * sum((-1) .^ k .* A(k + 1) .* cos(pi * k * (1 + 2
27 * n) / N));
28 end
29 h = h / N; % Normalização da resposta ao impulso
30
31 % Calculando a resposta em frequência
32 [H, w] = freqz(h, 1, 2048, Omega_s);
33
34 % Plotando a resposta em frequência
35 figure(1)
36 plot(w, 20 * log10(abs(H)))
37 axis([0 5 -50 10])
38 ylabel('Resposta de Módulo (dB)')
39 xlabel('Frequência (rad/s)')
40 title('Resposta em Frequência')
41
42 % Plotando a resposta ao impulso
43 figure(2)
44 stem(h)
45 ylabel('Resposta ao impulso')
46 xlabel('Amostras (n)')

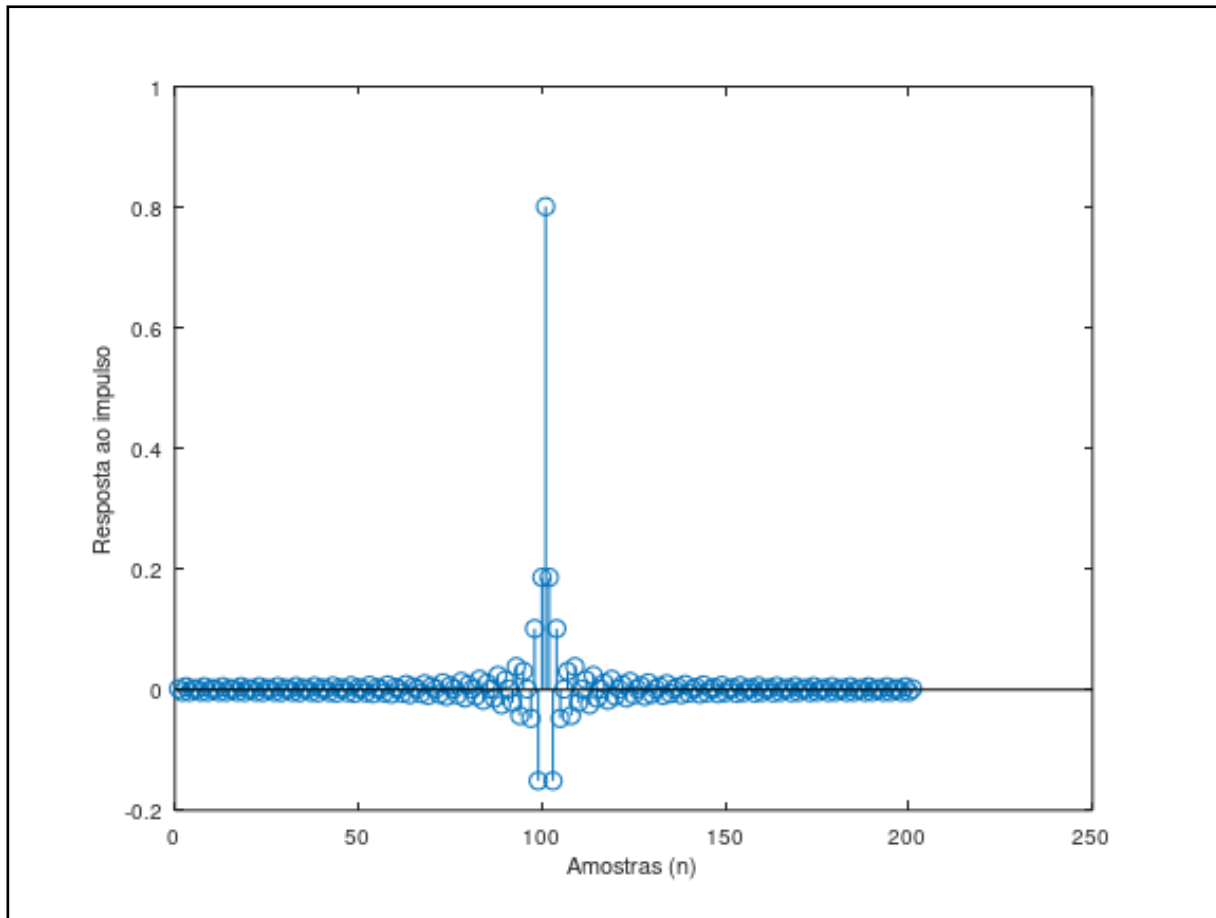
```

Figura 3: Elaborada pelo Autor



Forma de onda no domínio do tempo e densidade espectral de potência do sinal filtrado.

Figura 4: Elaborada pelo Autor



Forma

3. Questão 2:

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

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

```
1 clear all % Limpa todas as variáveis e funções da área de trabalho
2
3 % Definindo os parâmetros do filtro
4 M = 52; % Define a ordem do filtro
5 N = M + 1; % Define o comprimento do filtro
6 Omega_r = 4.0; % Frequência de rejeição
7 Omega_p = 4.2; % Frequência de passagem
8 Omega_s = 10.0; % Frequência de amostragem
9
10 kp = floor(N * Omega_p / Omega_s); % Índice de passagem
11 kr = floor(N * Omega_r / Omega_s); % Índice de rejeição
```

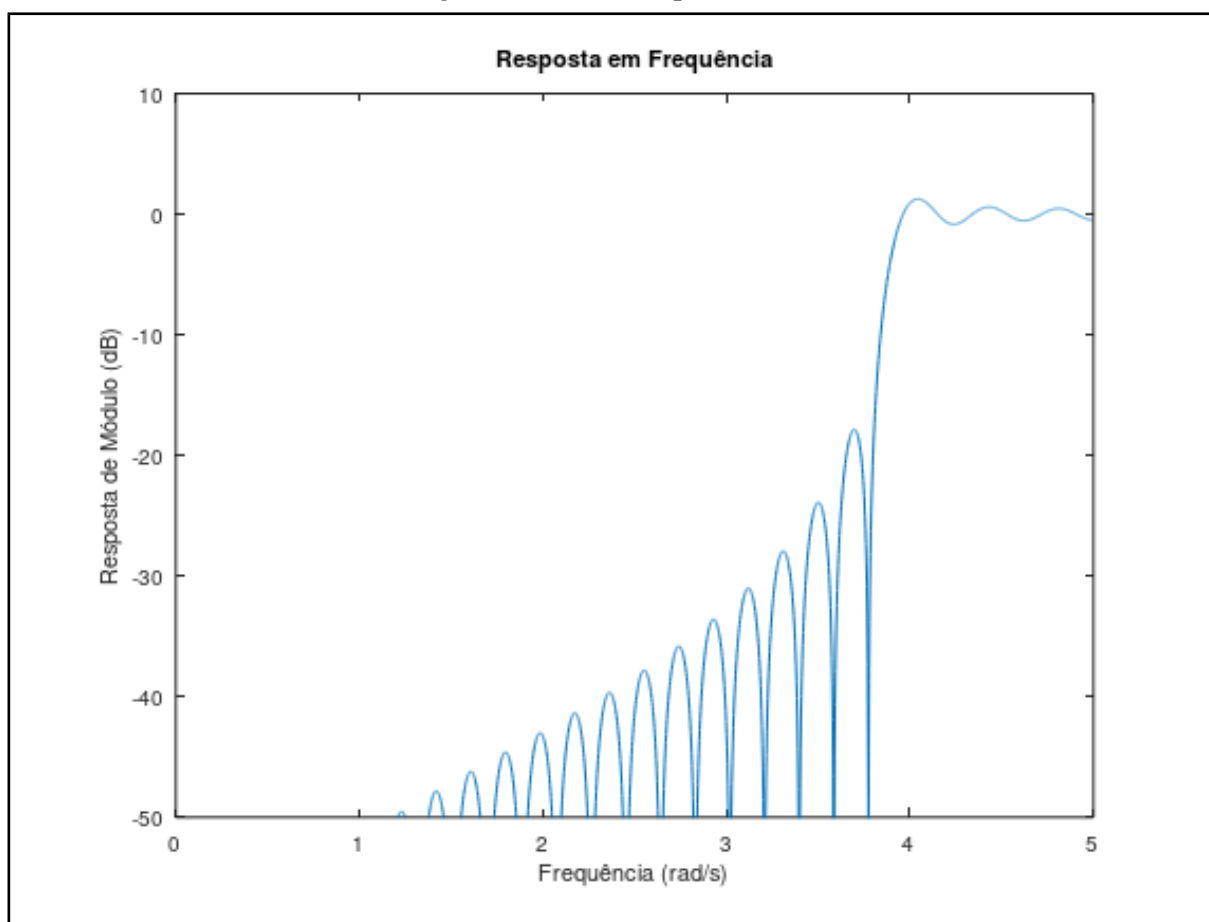


```

12
13 % Corrigindo o cálculo de 'A' para evitar vetores de tamanho não inteiro
14 A = [zeros(1, kr) ones(1, N - kr)];
15
16 % Ajuste de kr se a diferença entre kr e kp for maior que 1
17 if (kr - kp) > 1
18     kp = kr - 1;
19 end
20
21 % Inicializando o vetor de resposta ao impulso
22 h = zeros(1, N);
23
24 k = 1:M/2; % Índices para o cálculo da resposta ao impulso
25 for n = 0:M
26     h(n + 1) = A(1) + 2 * sum((-1).^k .* A(k + 1) .* cos(pi * k * (1 + 2
27 * n) / N));
28 end
29 h = h / N; % Normalização da resposta ao impulso
30
31 % Calculando a resposta em frequência
32 [H, w] = freqz(h, 1, 2048, Omega_s);
33
34 % Plotando a resposta em frequência
35 figure(1)
36 plot(w, 20 * log10(abs(H)))
37 axis([0 5 -50 10])
38 ylabel('Resposta de Módulo (dB)')
39 xlabel('Frequência (rad/s)')
40 title('Resposta em Frequência')
41
42 % Plotando a resposta ao impulso
43 figure(2)
44 stem(h)
45 ylabel('Resposta ao impulso')
46 xlabel('Amostras (n)')

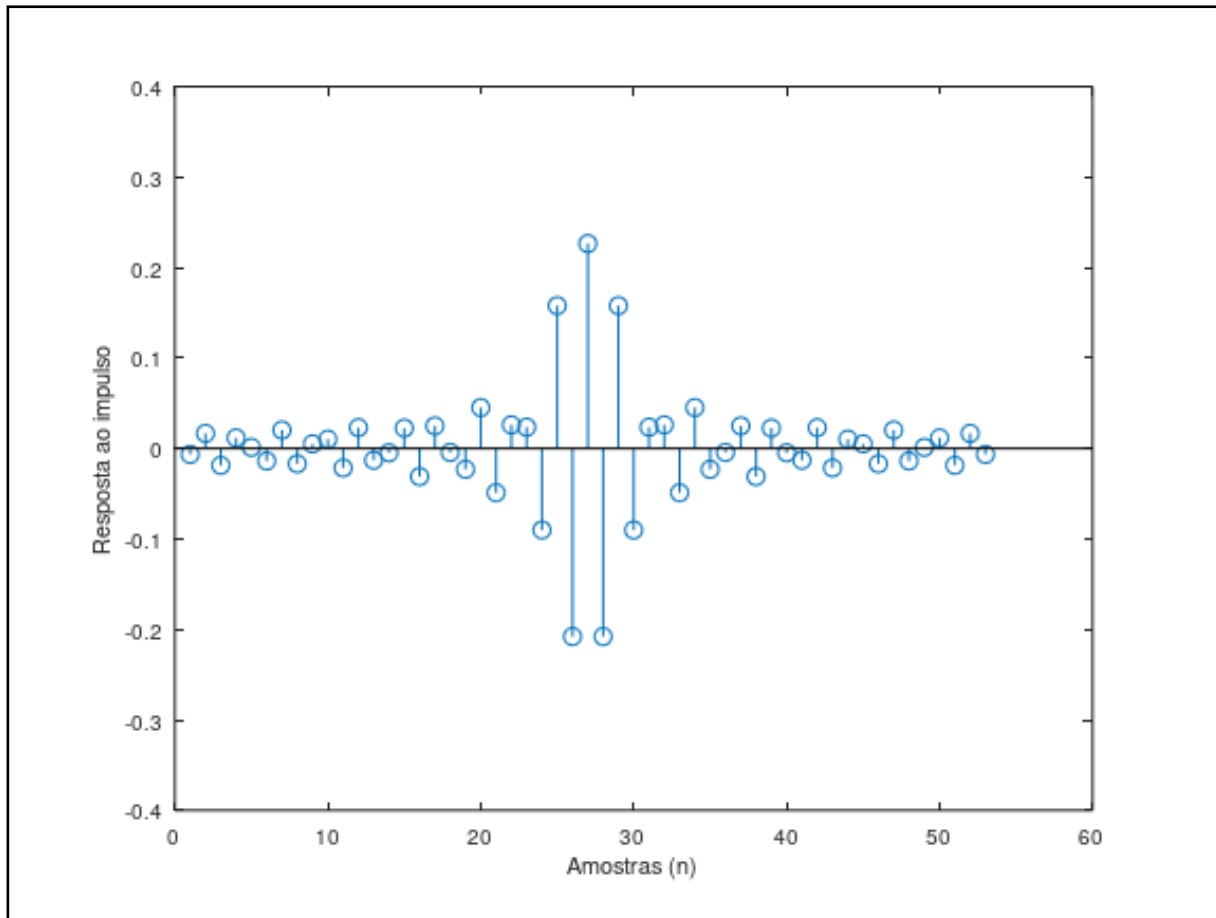
```

Figura 5: Elaborada pelo Autor



Forma

Figura 6: Elaborada pelo Autor



Forma

4. Questão 3:

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

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

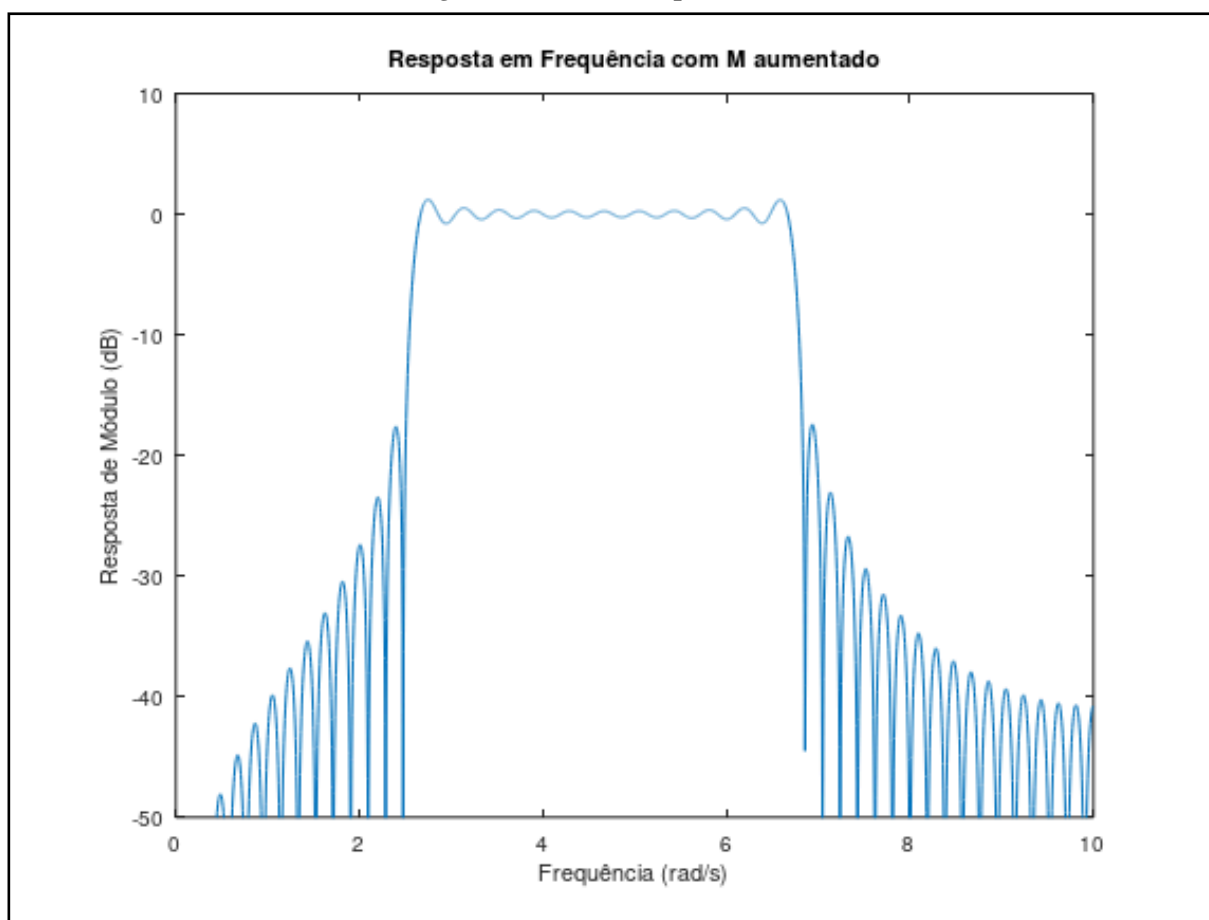
```
1 clear all % Limpa todas as variáveis e funções da área de trabalho
2
3 % Definindo os parâmetros do filtro
4 M = 104; % Aumentar a ordem do filtro para 104 (paridade mantida)
5 N = M + 1; % Define o comprimento do filtro
6 Omega_r1 = 2.0; % Frequência de rejeição 1
7 Omega_p1 = 3.0; % Frequência de passagem 1
8 Omega_r2 = 7.0; % Frequência de rejeição 2
```

```

9  Omega_p2 = 8.0; % Frequência de passagem 2
10 Omega_s = 20.0; % Frequência de amostragem
11
12 kr1 = floor(N * Omega_r1 / Omega_s); % Índice de rejeição 1
13 kp1 = floor(N * Omega_p1 / Omega_s); % Índice de passagem 1
14 kr2 = floor(N * Omega_r2 / Omega_s); % Índice de rejeição 2
15 kp2 = floor(N * Omega_p2 / Omega_s); % Índice de passagem 2
16
17 % Criando o vetor de resposta em frequência desejada
18 A = zeros(1, N);
19 A(kp1:kr2) = 1; % Passa-faixa
20
21 % Ajuste dos índices para evitar vetores de tamanho não inteiro
22 if (kr1 - kp1) > 1
23     kp1 = kr1 - 1;
24 end
25 if (kp2 - kr2) > 1
26     kp2 = kr2 + 1;
27 end
28
29 % Inicializando o vetor de resposta ao impulso
30 h = zeros(1, N);
31
32 k = 1:M/2; % Índices para o cálculo da resposta ao impulso
33 for n = 0:M
34     h(n + 1) = A(1) + 2 * sum((-1) .^ k .* A(k + 1) .* cos(pi * k * (1 + 2
35 * n) / N));
36 end
37 h = h / N; % Normalização da resposta ao impulso
38
39 % Calculando a resposta em frequência
40 [H, w] = freqz(h, 1, 2048, Omega_s);
41
42 % Plotando a resposta em frequência
43 figure(1)
44 plot(w, 20 * log10(abs(H)))
45 axis([0 10 -50 10])
46 ylabel('Resposta de Módulo (dB)')
47 xlabel('Frequência (rad/s)')
48 title('Resposta em Frequência com M aumentado')
49
50 % Plotando a resposta ao impulso
51 figure(2)
52 stem(h)
53 ylabel('Resposta ao impulso')
54 xlabel('Amostras (n)')

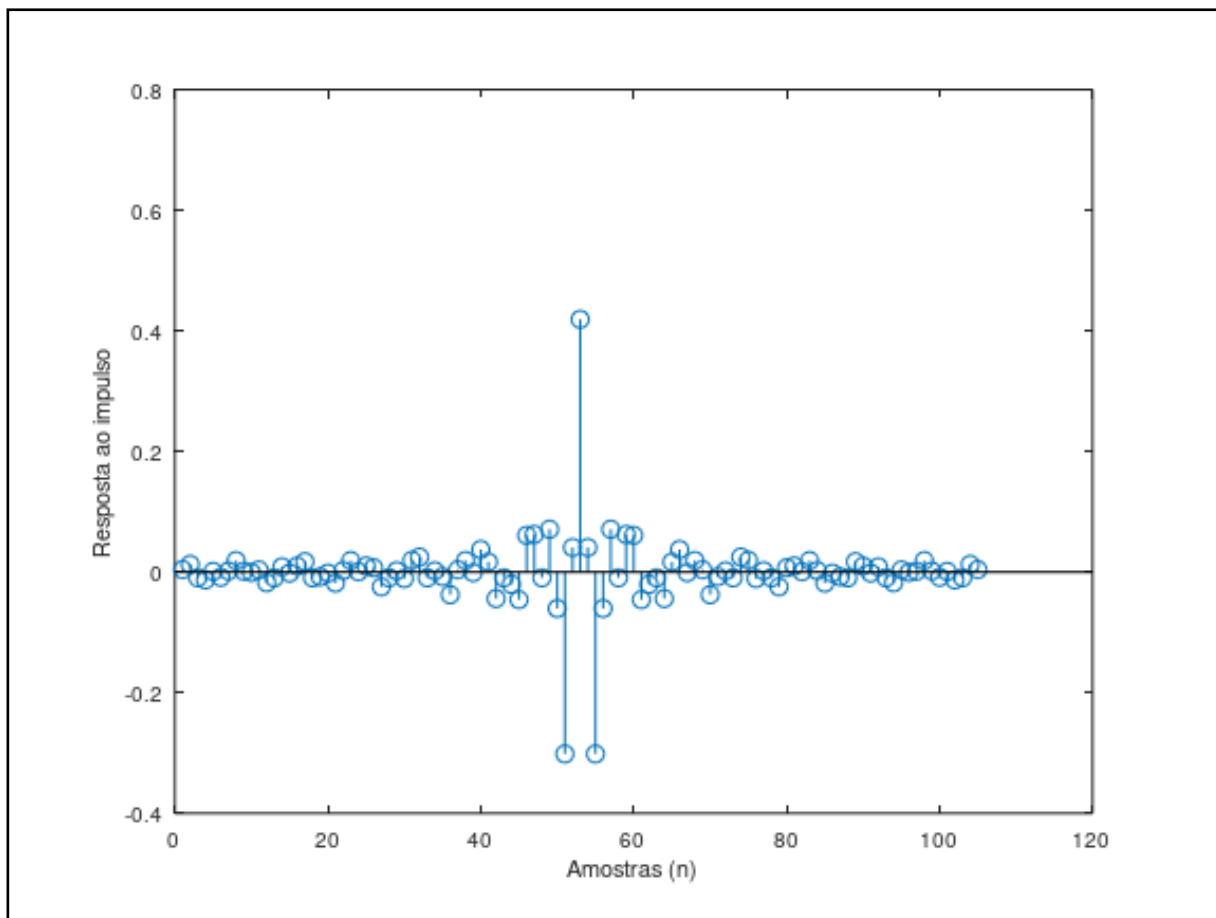
```

Figura 7: Elaborada pelo Autor



Forma

Figura 8: Elaborada pelo Autor



Forma

5. Questão 4:

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

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

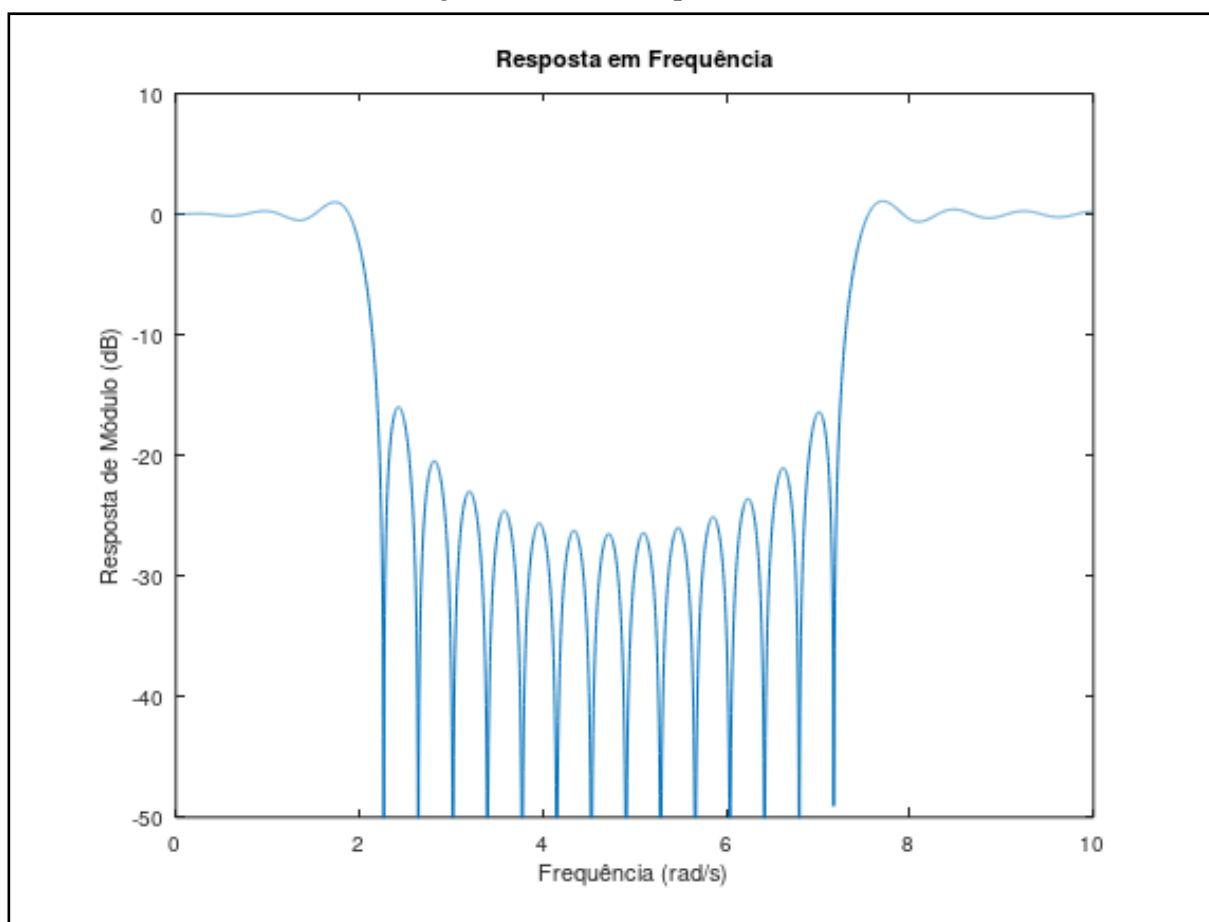
```
1 clear all
2 M = 52;
3 N = M + 1;
4 Omega_p1 = 2;
5 Omega_r1 = 3;
6 Omega_r2 = 7;
7 Omega_p2 = 8;
8 Omega_s = 20;
9
```

```

10 kp1 = floor(N * Omega_p1 / Omega_s);
11 kr1 = floor(N * Omega_r1 / Omega_s);
12 kr2 = floor(N * Omega_r2 / Omega_s);
13 kp2 = floor(N * Omega_p2 / Omega_s);
14
15 A = [ones(1, kp1 + 1), zeros(1, kr2 - kp1 + 1), ones(1, M/2 - kp2 + 3)];
16
17 k = 1:M/2;
18 h = zeros(1, N);
19 for n = 0:M
20     h(n + 1) = A(1) + 2 * sum((-1).^k .* A(k + 1) .* cos(pi * k * (1 + 2 *
21 n) / N));
22 end
23 h = h ./ N;
24
25 [H, w] = freqz(h, 1, 2048, Omega_s);
26
27 figure(1)
28 plot(w, 20 * log10(abs(H)))
29 axis([0 10 -50 10])
30 ylabel('Resposta de Módulo (dB)')
31 xlabel('Frequência (rad/s)')
32 title('Resposta em Frequência')
33
34 figure(2)
35 stem(h)
36 ylabel('Resposta ao impulso')
37 xlabel('Amostras (n)')

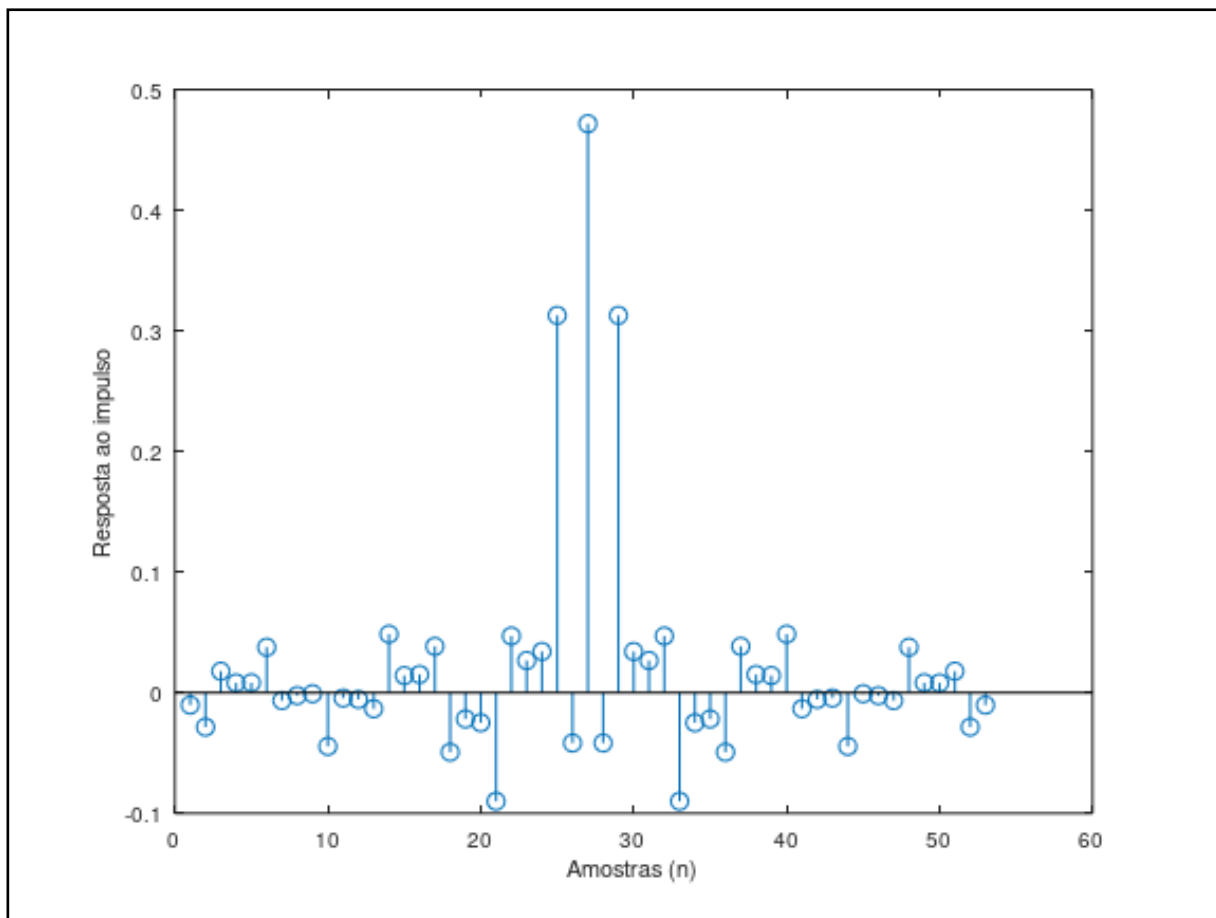
```

Figura 9: Elaborada pelo Autor



Forma

Figura 10: Elaborada pelo Autor



Forma

6. Questão 5:

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

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

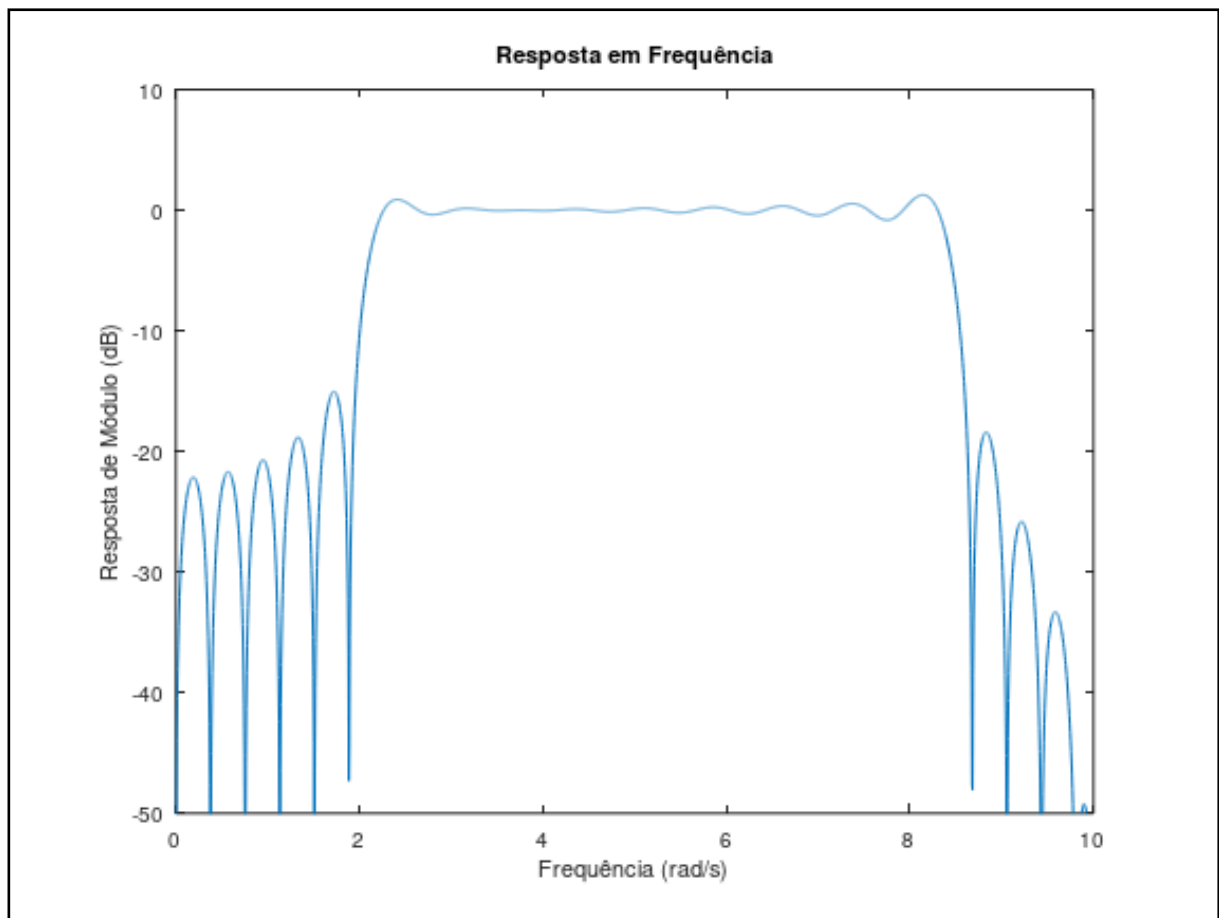
```
1 clear all
2 M = 52;
3 N = M + 1;
4 Omega_p1 = 3;
5 Omega_r1 = 2;
6 Omega_r2 = 7;
7 Omega_p2 = 8;
8 Omega_s = 20;
9
```

```

10 kp1 = floor(N * Omega_p1 / Omega_s);
11 kr1 = floor(N * Omega_r1 / Omega_s);
12 kr2 = floor(N * Omega_r2 / Omega_s);
13 kp2 = floor(N * Omega_p2 / Omega_s);
14
15 A = [zeros(1, kr1+1), ones(1, kp2 - kr1 + 1), zeros(1, kr2 - kp1 + 1)];
16
17 k = 1:M/2;
18 h = zeros(1, N);
19 for n = 0:M
20     h(n + 1) = 2 * sum((-1).^(k+1) .* A(k + 1) .* sin(pi * k * (1 + 2 *
21 n) / N));
22 end
23 h = h ./ N;
24
25 [H, w] = freqz(h, 1, 2048, Omega_s);
26
27 figure(1)
28 plot(w, 20 * log10(abs(H)))
29 axis([0 10 -50 10])
30 ylabel('Resposta de Módulo (dB)')
31 xlabel('Frequência (rad/s)')
32 title('Resposta em Frequência')
33
34 figure(2)
35 stem(h)
36 ylabel('Resposta ao impulso')
37 xlabel('Amostras (n)')

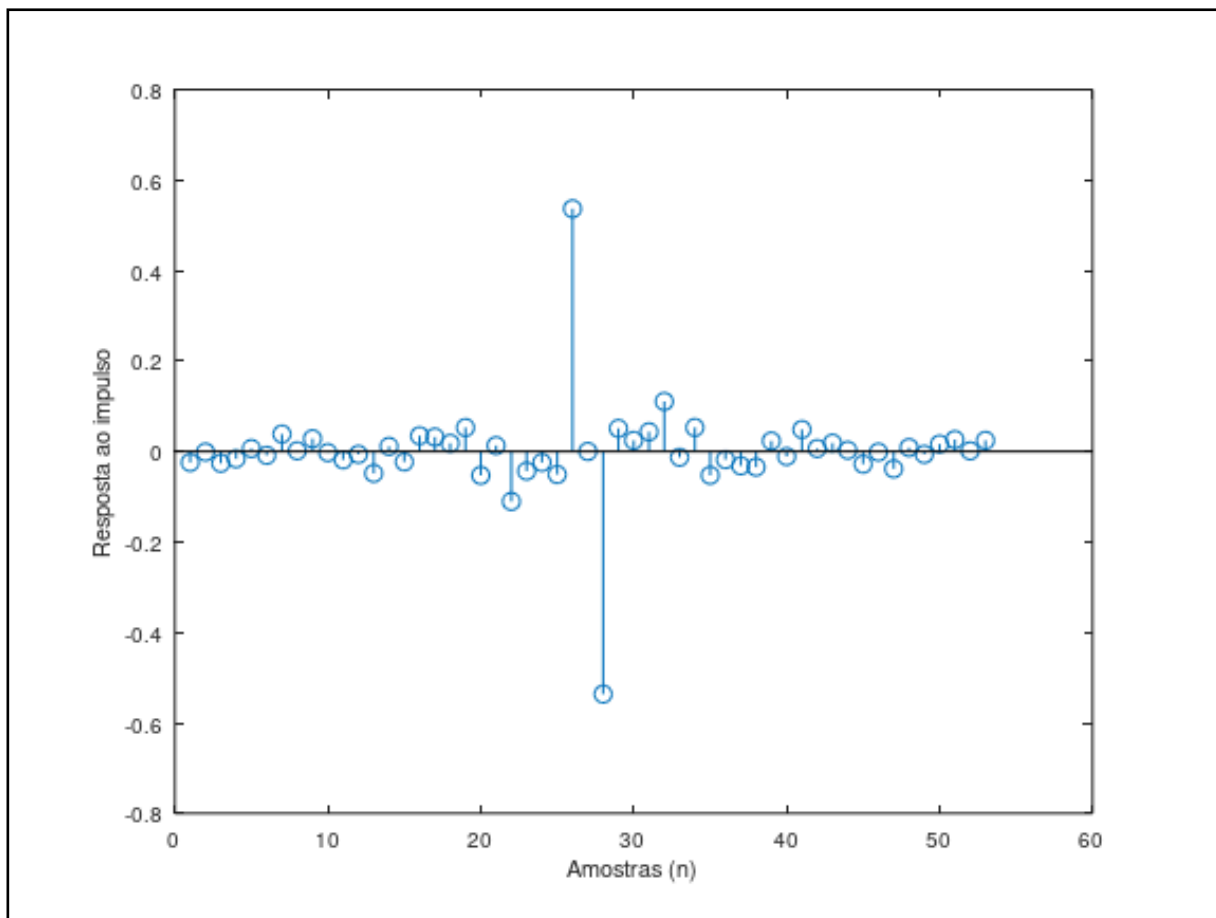
```

Figura 11: Elaborada pelo Autor



Forma

Figura 12: Elaborada pelo Autor



Forma

7. Questão 6:

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

- $M = 53$
- $\Omega_p = 4 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$
- $\Omega_r = 4,2 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$
- $\Omega_s = 10,0 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$

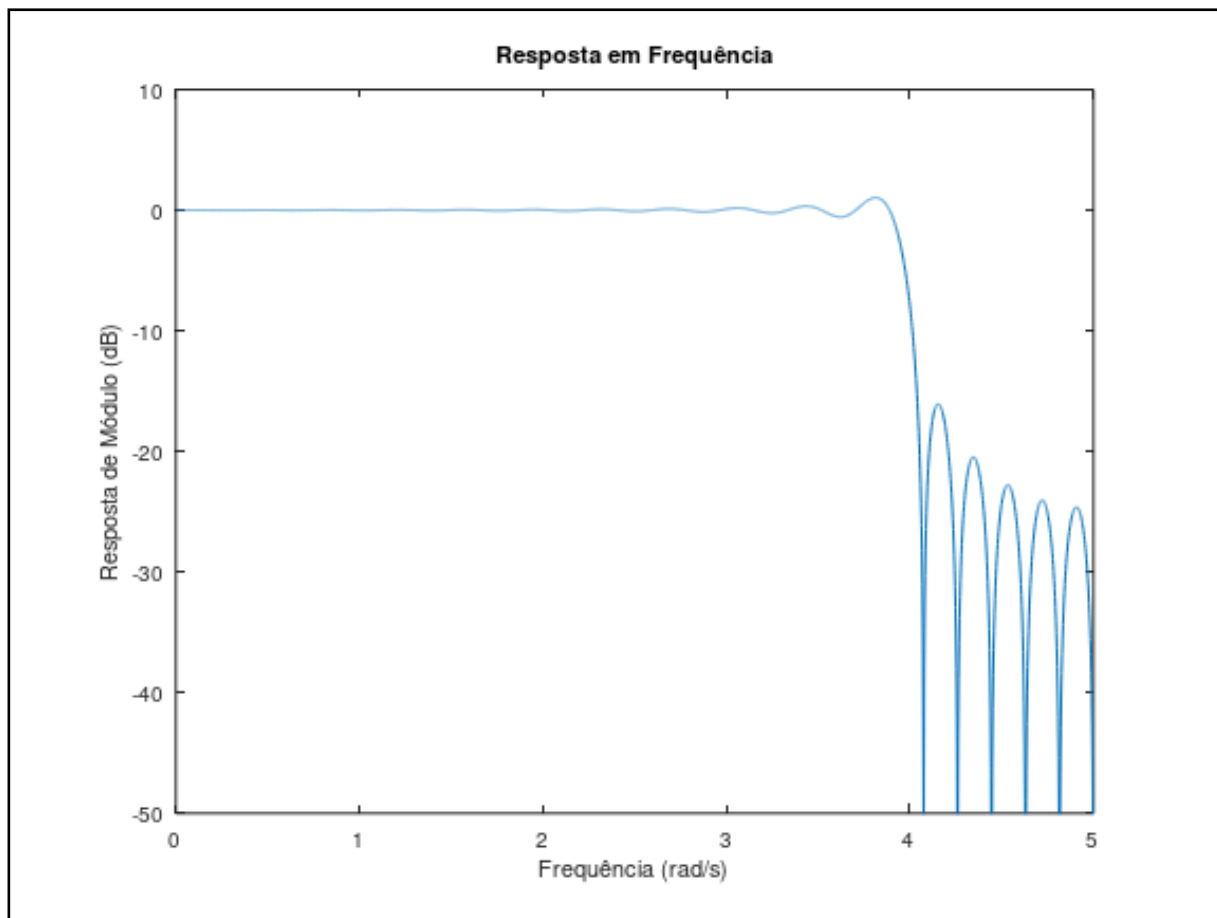
```
1 clear all
2 M = 53;
3 N = M + 1;
4
5 Omega_p = 4;
6 Omega_r = 4.2;
7 Omega_s = 10;
8
9 kp = floor(N * Omega_p / Omega_s);
10 kr = floor(N * Omega_r / Omega_s);
11
12 A = [ones(1, kp + 1), zeros(1, N/2 - kp - 1)];
```

```

13
14 if (kr - kp) > 1
15     kp = kr - 1;
16 end
17
18 k = 1:M/2;
19 h = zeros(1, N);
20
21 for n = 0:M
22     h(n + 1) = A(1) + 2 * sum((-1).^k .* A(k + 1) .* cos(pi * k * (1 + 2 *
23 n) / N));
24 end
25 h = h ./ N;
26
27 [H, w] = freqz(h, 1, 2048, Omega_s);
28
29 figure(1)
30 plot(w, 20 * log10(abs(H)))
31 axis([0 5 -50 10])
32 ylabel('Resposta de Módulo (dB)')
33 xlabel('Frequência (rad/s)')
34 title('Resposta em Frequência')
35
36 figure(2)
37 stem(h)
38 ylabel('Resposta ao impulso')
39 xlabel('Amostras (n)')

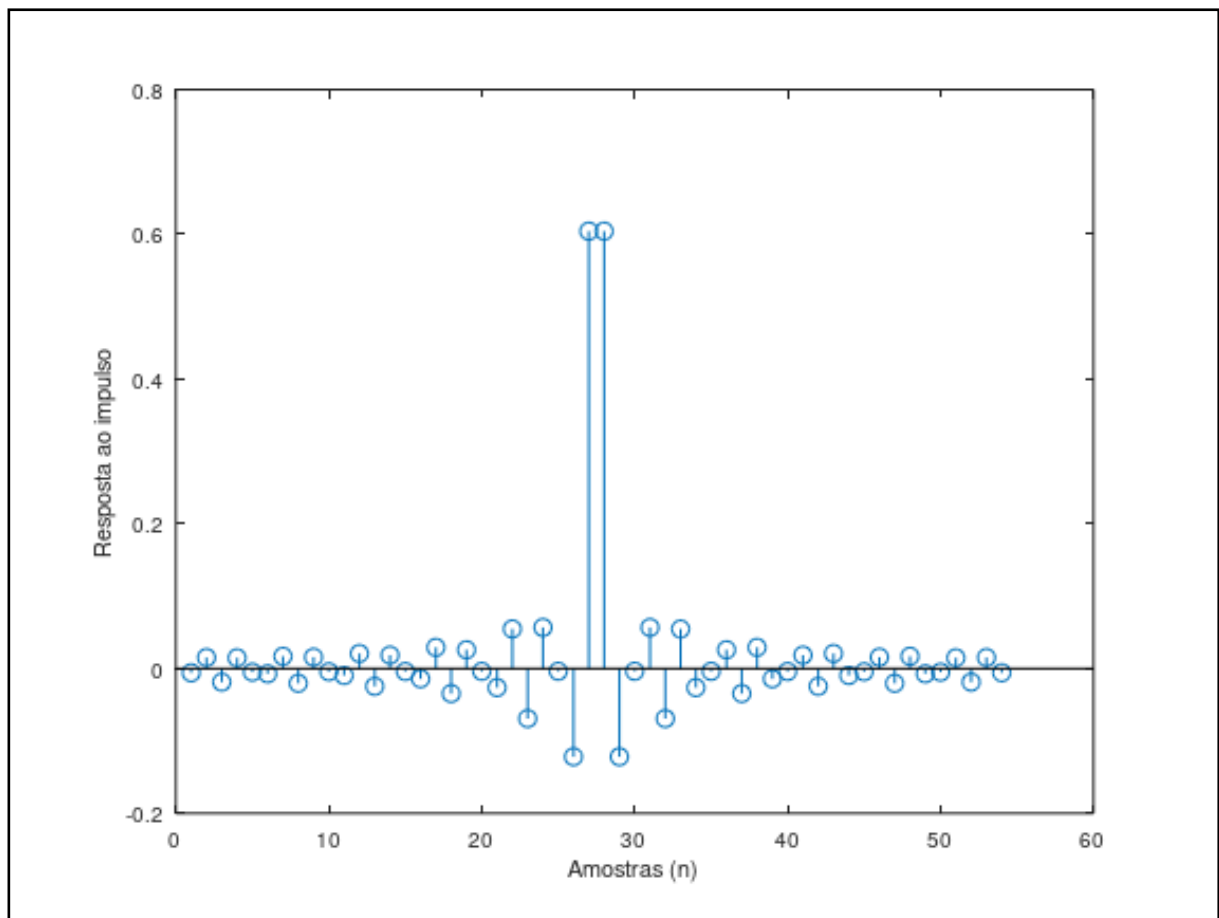
```

Figura 13: Elaborada pelo Autor



Forma

Figura 14: Elaborada pelo Autor



Forma