

## Exercício 2

Projete os seguintes filtros digitais usando a janela de Kaiser:

a) Filtro passa-baixas:

$$\begin{aligned}A_p &= 1[\text{dB}] \\A_r &= 40[\text{dB}] \\ \Omega_p &= 1000[\text{rad/s}] \\ \Omega_r &= 1200[\text{rad/s}] \\ \Omega_a &= 5000[\text{rad/s}]\end{aligned}$$

Queremos encontrar o valor de  $h[n]$  tal que:

$$h[n] = h_{ideal}[n] \cdot w_{kaiser}[n]$$

Portanto devemos iniciar encontrando os parâmetros que definam  $w_{kaiser}[n]$ , mas para isso é necessário compreender a forma do nosso filtro ideal:

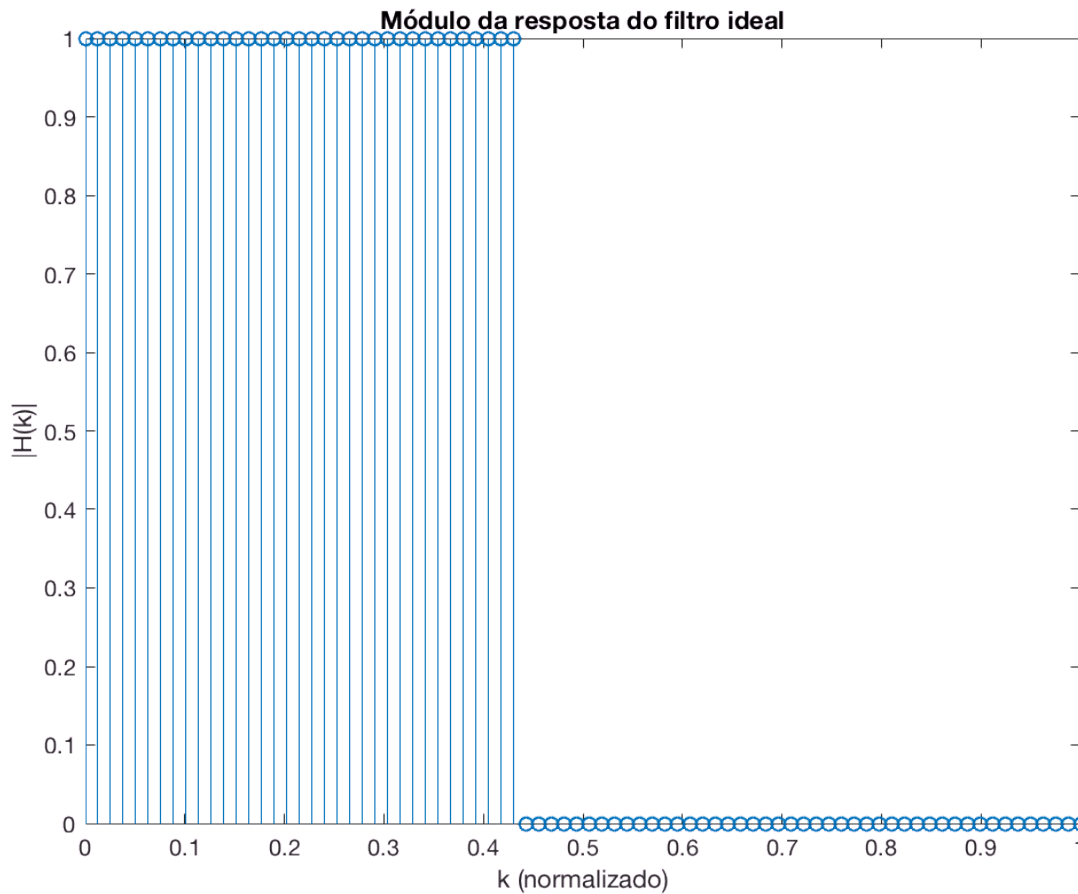
```
% Parâmetros
A_p      = 1; % dB
A_r      = 40; % dB
Omega_p  = 1000; % rad/s
Omega_r  = 1200; % rad/s
Omega_a  = 5000; % rad/s freq. angula de amostragem

% Normalização dos parâmetros
K = (2*pi)/Omega_a;

w_p = Omega_p*K;
w_r = Omega_r*K;
dw = w_r - w_p; % banda de transição
w_c = w_p + dw/2; % frequência de corte a ser utilizada para janela de kaiser

w = linspace(0,pi,80);

ideal = 1*(w < w_c) + 0*(w >= w_c);
stem(w/pi, ideal)
title('Módulo da resposta do filtro ideal')
xlabel('k (normalizado)')
ylabel('|H(k)|')
```



OBS: Vale observar que nem a janela nem o número de pontos aqui utilizado não é igual ao que será utilizado no filtro final.

Outros parâmetro necessário à definição da janela de Kaiser é o  $\delta$ , portanto:

```
delta = min(10^(-A_p/20), 10^(-A_r/20))
```

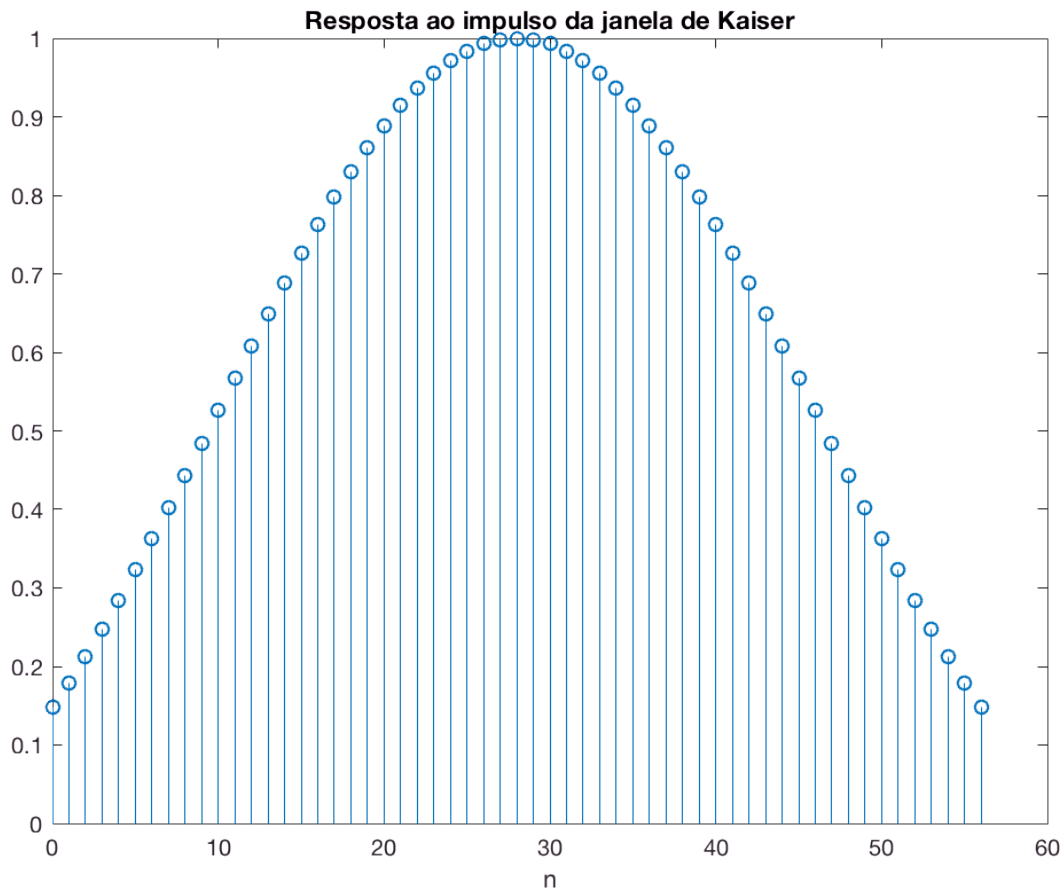
```
delta = 0.0100
```

Portanto, na definição da janela de Kaiser utilizaremos:

```
a = A_r;
B = 0.5842*(a - 21)^(0.4)+ 0.07886*(a - 21);
D = (a-7.95)/14.36;
L = (pi * D)/(dw);
N = round(2*L + 1);
```

O que nos dará a seguinte janela de Kaiser:

```
wkaiser = kaiser(N, B);
k = 0:N-1;
stem(k, wkaiser)
title('Resposta ao impulso da janela de Kaiser')
xlabel('n')
```



Agora que temos a nossa janela de Kaiser desejada, podemos utilizar uma função que utilize essa janela para gerar um filtro FIR passa-baixas:

```
w_c_n = w_c/pi; % de 0 a 2*pi para 0 a 1
h = fir1(N-1, w_c_n, wkaiser);
stem(k, h)
title('Resposta ao impulso do filtro passa-baixas')
xlabel('n')
```

Que, no domínio da frequência, é representada pelo seguinte gráfico:

```
[H, omega] = freqz(h, 1, 256);
mag = 20*log10(abs(H));
spec40db = -A_r*ones(256);
specup1db = A_p*ones(256);
specdown1db = -A_p*ones(256);

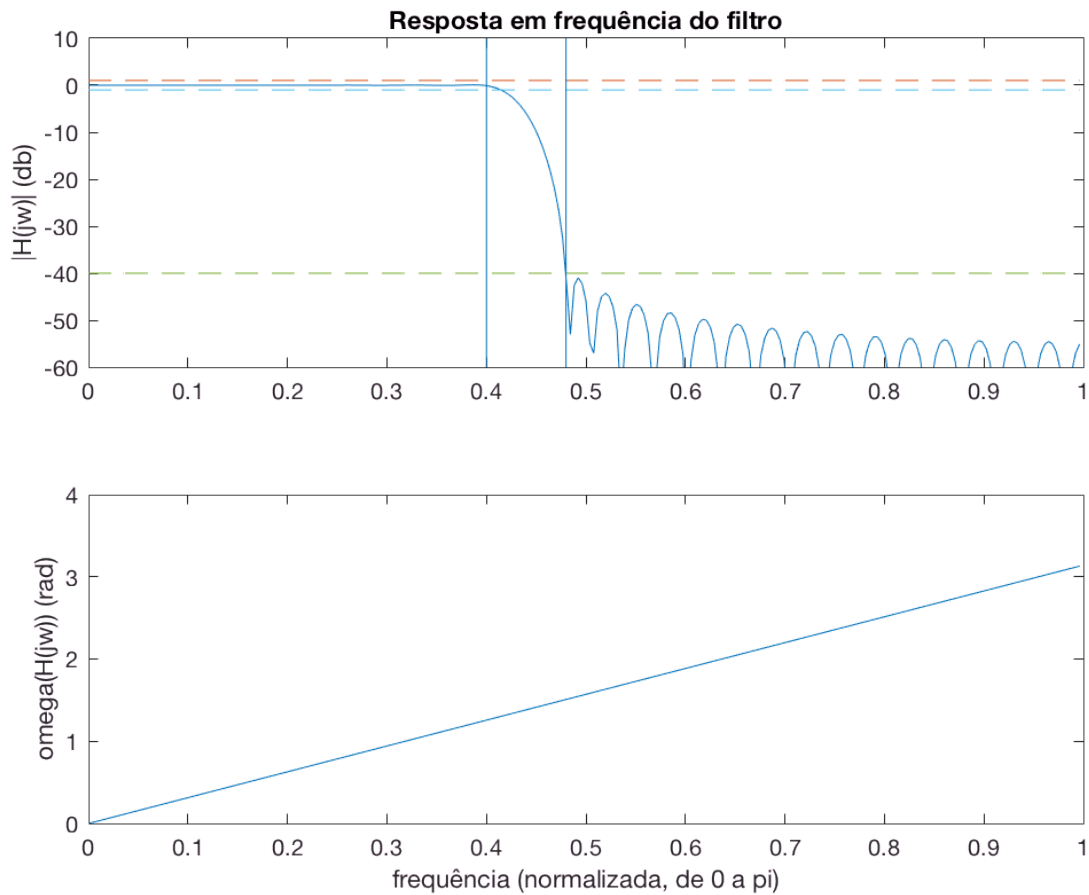
w_p_n = w_p/pi;
w_r_n = w_r/pi;

figure(1)
subplot(2,1,1); grid
plot(omega/pi, mag, omega/pi, spec40db, '--', omega/pi, specup1db, '--', omega/pi, specdown1db, '--')
ylim([-60 10])
line([w_p_n w_p_n], ylim)
line([w_r_n w_r_n], ylim)
title('Resposta em frequência do filtro')
```

```

ylabel('|H(jw)| (db)')
subplot(2,1,2); grid
plot(omega/pi, omega)
ylabel('omega(H(jw)) (rad)')
xlabel('frequência (normalizada, de 0 a pi)')

```



No gráfico acima podemos observar que o nosso filtro está de acordo com a especificação desejada.

## b) Filtro passa-altas

$$\begin{aligned}
 A_p &= 1[\text{dB}] \\
 A_r &= 40[\text{dB}] \\
 \Omega_r &= 1000[\text{rad/s}] \\
 \Omega_p &= 1200[\text{rad/s}] \\
 \Omega_a &= 5000[\text{rad/s}]
 \end{aligned}$$

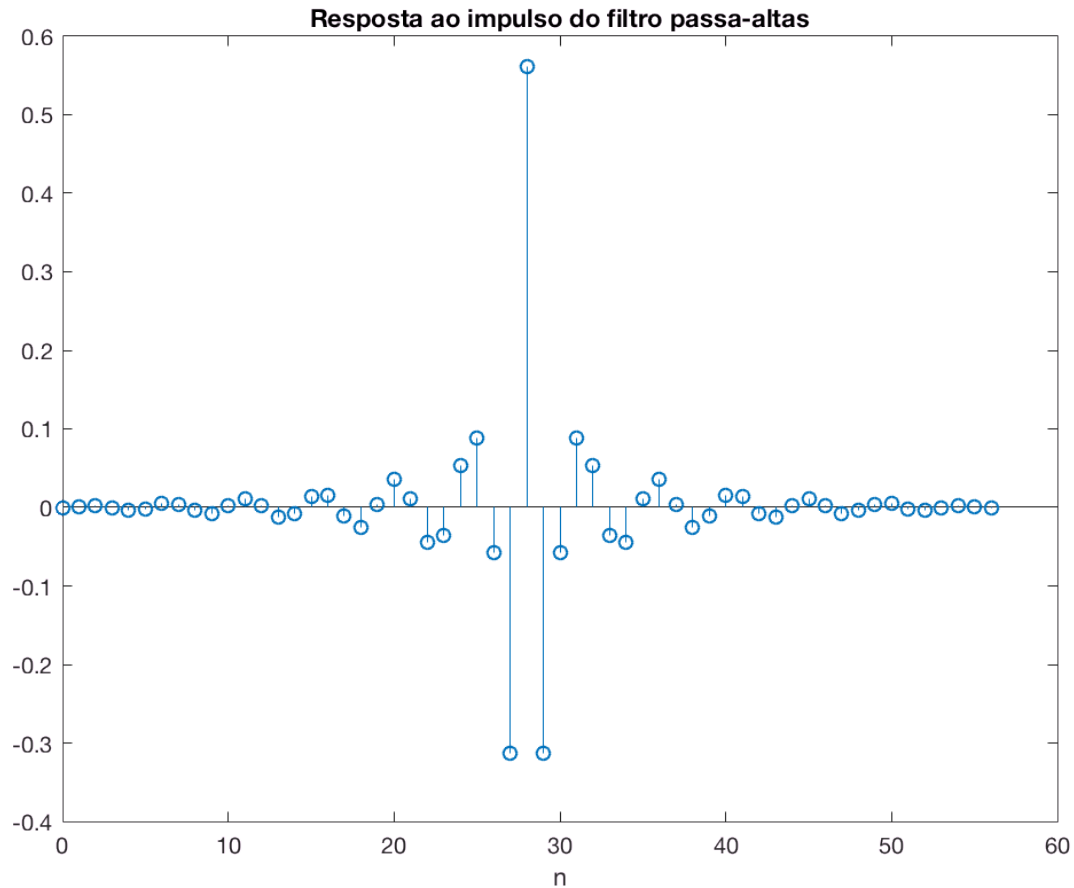
Esse filtro é análogo ao implementado acima, apresentando os mesmos parâmetros para o cálculo da janela de Kaiser, sendo necessário alterar somente os parâmetros da função *fir1*:

```

h2 = fir1(N-1, w_c_n, 'high', wkaiser);
figure(3)
stem(k, h2)
title('Resposta ao impulso do filtro passa-altas')

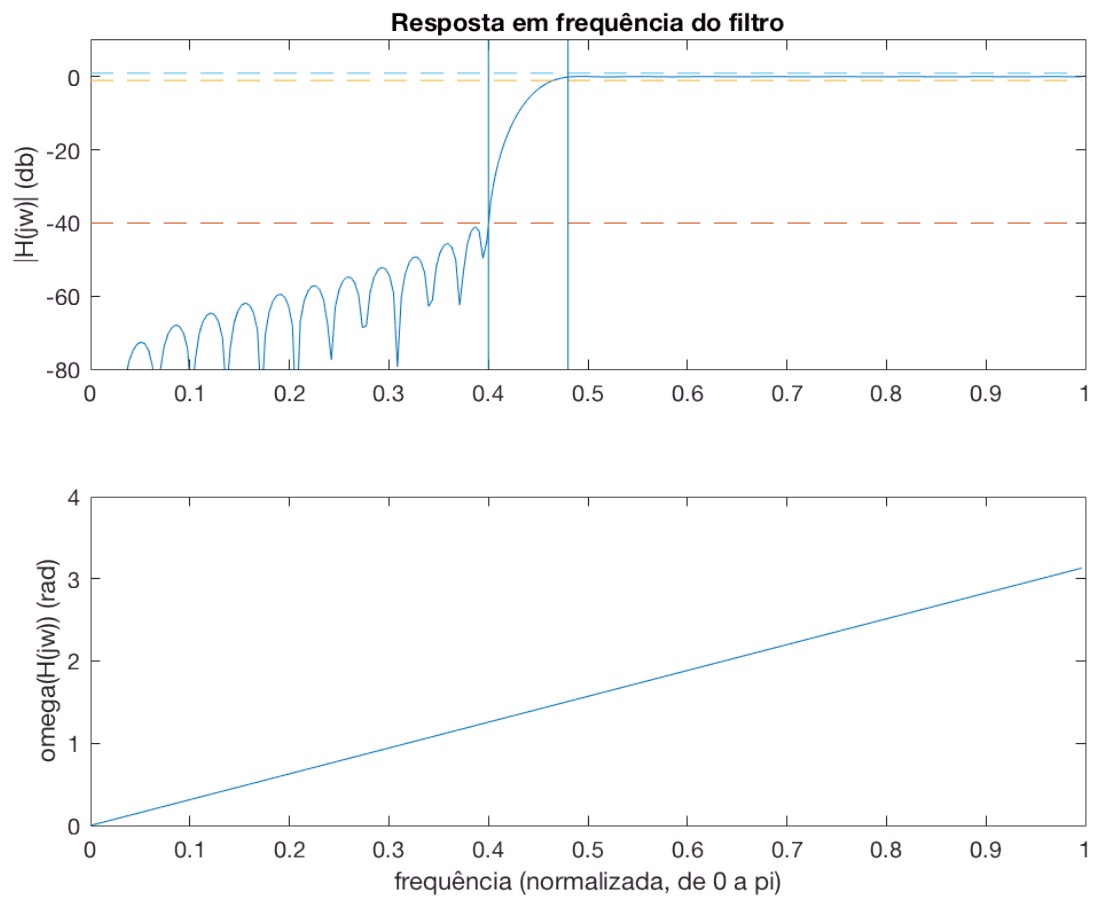
```

```
xlabel('n')
```



Que gera a seguinte resposta em frequência:

```
[H, omega] = freqz(h2, 1, 256);  
mag = 20*log10(abs(H));  
figure(4)  
subplot(2,1,1); grid  
plot(omega/pi, mag, omega/pi, spec40db, '--', omega/pi, spec40db, '--', omega/pi, specup1db, 'r', omega/pi, specup1db, 'r')  
ylim([-80 10])  
line([w_p_n w_p_n], ylim)  
line([w_r_n w_r_n], ylim)  
title('Resposta em frequência do filtro')  
ylabel('|H(jw)| (db)')  
subplot(2,1,2); grid  
plot(omega/pi, omega)  
ylabel('omega(H(jw)) (rad)')  
xlabel('frequência (normalizada, de 0 a pi)')
```



Assim como no item anterior, o filtro mostrou-se de acordo com as especificações desejadas.