

# Hands-on 5

## Projetando Filtros Digitais com o GNU Radio

## Introdução Teórica

### Filtros

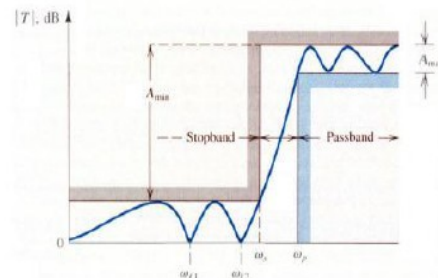
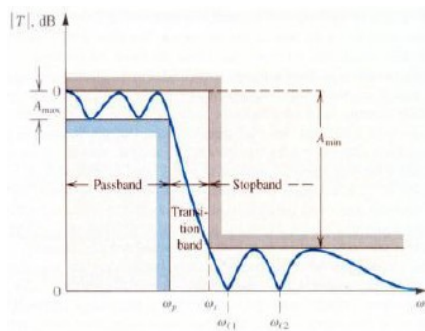
Filtros são circuitos especialmente projetados para fornecer sinais de saída com uma amplitude dependente da frequência do sinal aplicado na entrada. Esta definição pode ser aplicada a vários circuitos, como, por exemplo, a amplificadores de áudio com controle de tonalidade, amplamente difundidos no mercado (os equalizadores gráficos). A figura a seguir mostra um equalizador gráfico encontrado no mercado.



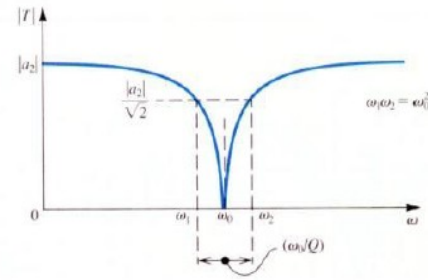
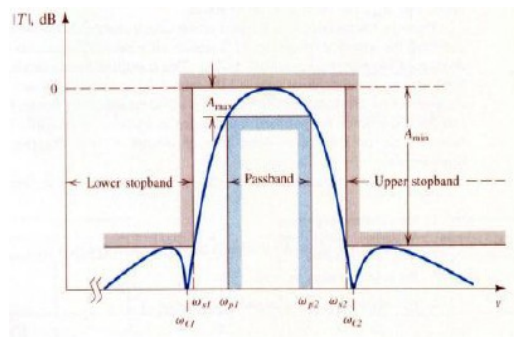
Esse exemplo de aplicação ressalta a principal característica de um filtro: sua sensibilidade à frequência do sinal. Esta característica permite que eles sejam utilizados para selecionar uma determinada faixa de frequências, ou para eliminar (sinais indesejáveis) ou para amplificar. Esta característica é chamada seletividade.

Tipos de filtros:

- **Filtro passa-baixa:** permite que os sinais com frequência abaixo de uma frequência determinada passem para a saída, eliminando todos os sinais com frequências superiores.
- **Filtro passa-alta:** funciona de maneira inversa ao filtro passa-baixa. Deixando passar para a saída apenas os sinais cujas frequências estejam acima de certo valor. A figura a seguir mostra a resposta em frequência de um filtro passa-baixa (a esquerda) e um filtro passa-alta (a direita).



- **Filtro passa-faixa:** permite a seleção de apenas uma faixa de frequências, ou seja, apenas essa faixa (intervalo) selecionada passará para a saída do filtro.
- **Filtro rejeita-faixa:** atua de forma inversa ao filtro passa-faixa, eliminando os sinais contidos em um determinado intervalo de frequências definido. A figura a seguir mostra a resposta em frequência de um filtro passa-faixa (a esquerda) e um rejeita-faixa (a direita).



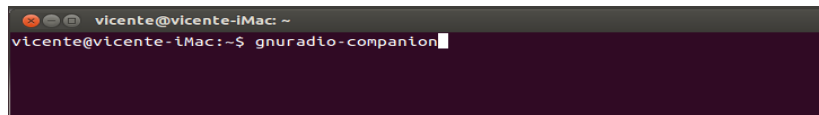
## Referências

- [1] <http://www2.unicid.br/telecom/fintel/VI-Fintel/feira/E2B2.html> - acesso em:15/11/2012
- [2] <http://es.wikipedia.org/wiki/Filtro> - acesso em:15/11/2012
- [3] Vicente A. de Sousa Jr.; Slide sobre Modulação AM unidade II - acesso em:15/11/2012
- [4] [http://www.csun.edu/~skatz/katzpage/sdr\\_project/sdr/](http://www.csun.edu/~skatz/katzpage/sdr_project/sdr/) - Acesso em:12/11/2012
- [5] <http://lists.gnu.org/archive/html/discuss-gnuradio/2006-07/txtNbXJrpGud.txt> - Acesso em:12/11/2012
- [6] <http://en.wikipedia.org/wiki/wav> - Acesso em:12/11/2012
- [7] <http://support.microsoft.com/kb/89879> - Acesso em:12/11/2012
- [8] [http://docentes.fam.ulusiada.pt/~d1207/docs/ps/PS\\_Cap5\\_0506.pdf](http://docentes.fam.ulusiada.pt/~d1207/docs/ps/PS_Cap5_0506.pdf) - Acesso em: 30/11/2012

## Exercício

**OBJETIVO:** Usar conceitos básicos e algumas dicas aprendidas em exercícios passados para filtrar a saída de dois sinais com frequências diferentes, tanto usando filtros digitais FIR quanto IIR, utilizando a ferramenta Filter Design.

1. Caso ainda não esteja aberto, inicialize o GNU Radio Companion.
  - a. Abra um terminal digitando CTRL+ALT+t
  - b. Digite: gnuradio-companion e pressione ENTER



```
vicente@vicente-iMac: ~  
vicente@vicente-iMac:~$ gnuradio-companion
```

Alternativa:

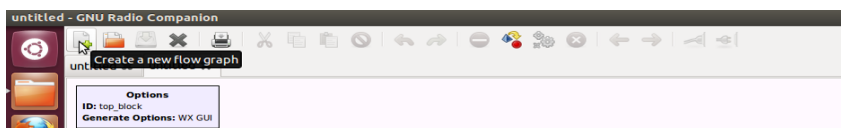
- a. Clique em Dash Home



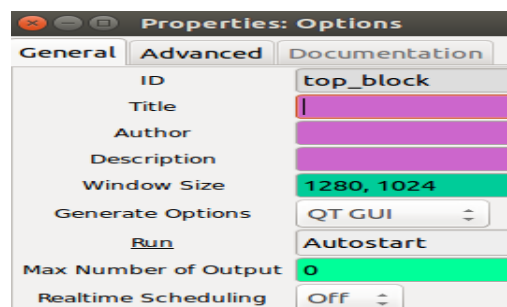
- b. Digite gnuradio e clique no ícone correspondente ao GRC



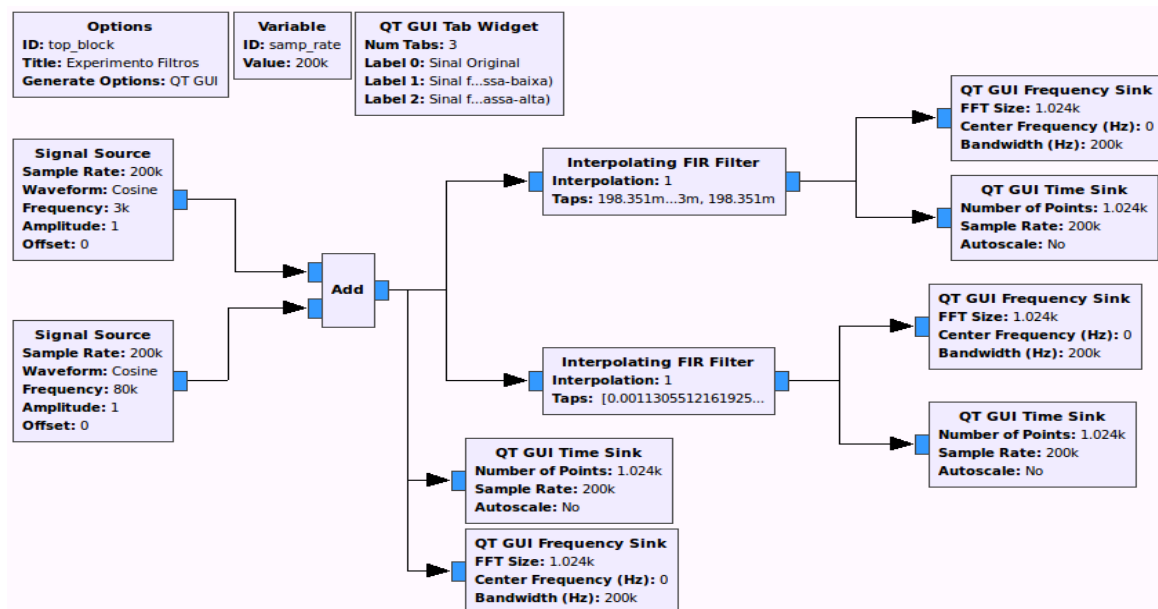
2. Com o GNU RADIO COMPANION aberto, crie um novo projeto



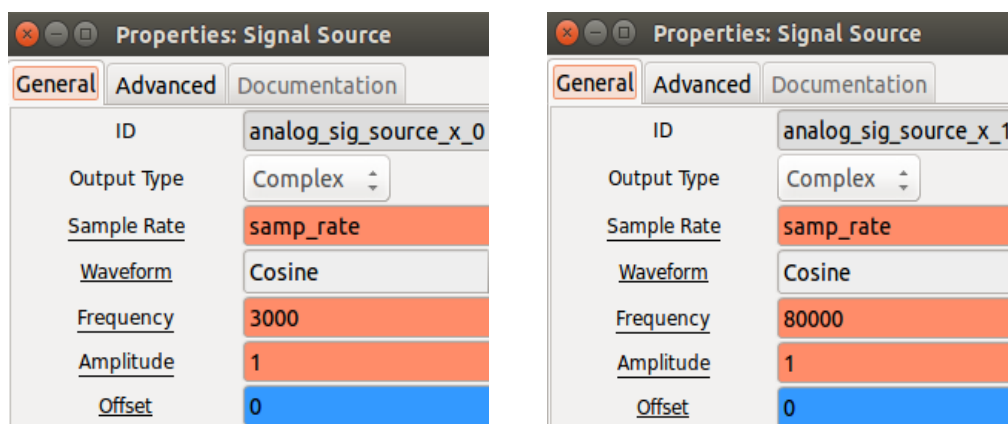
3. Clique duas vezes no Bloco **Options**. Esse bloco configura alguns parâmetros gerais do *flowgraph*. Mantenha o ID como *top\_block*. Digite um título para o projeto e um autor. Selecione *Generate Options* como *QT GUI*, *Run* para *Autostart* e *Realtime Scheduling* para *Off*. Então, feche a janela de propriedades.



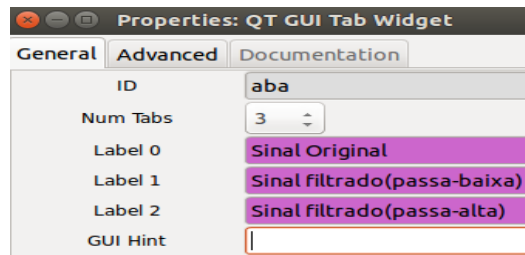
4. O experimento será realizado em duas etapas: a primeira é um projeto utilizando Filtros FIR e a segunda, a construção de um projeto com Filtros IIR. Construa seu primeiro projeto utilizando os seguintes blocos: dois **Signal Source**, um **Add**, três **QT GUI Time Sink**, três **QT GUI Frequency Sink**, dois **Interpolating FIR Filter** e um **QT GUI Tab Widget**. Faça a conexão dos blocos de forma que sua área de trabalho fique igual à figura abaixo.



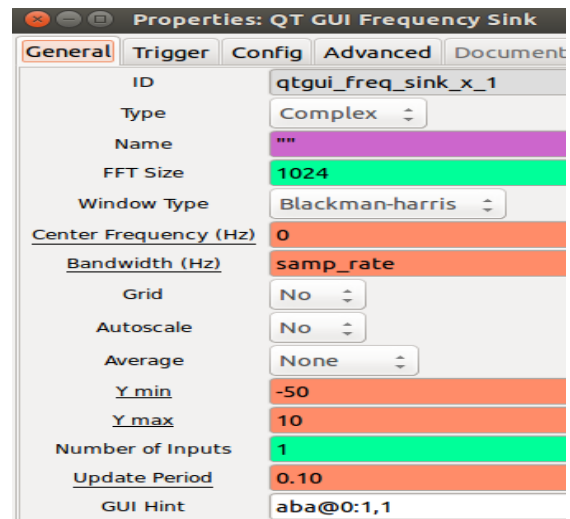
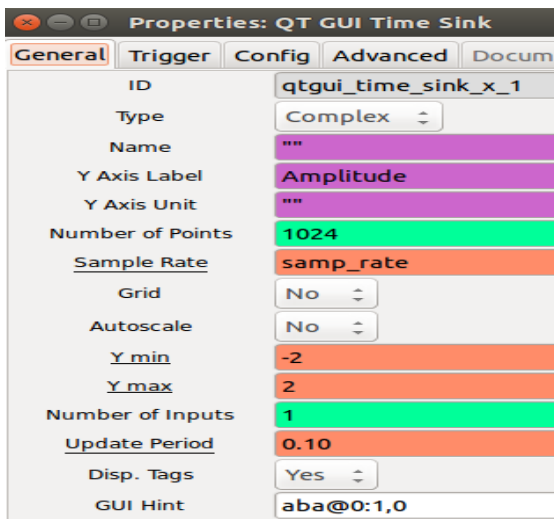
5. Agora vamos configurar os parâmetros de cada bloco. Clique duas vezes no bloco **Variable** e atribua uma frequência de amostragem, no campo **Value**, de 200 kHz. No primeiro bloco **Signal Source** atribua uma frequência de 3 kHz e no segundo bloco para 80 kHz, em ambos os blocos altere o parâmetro **Output Type** para Complex.



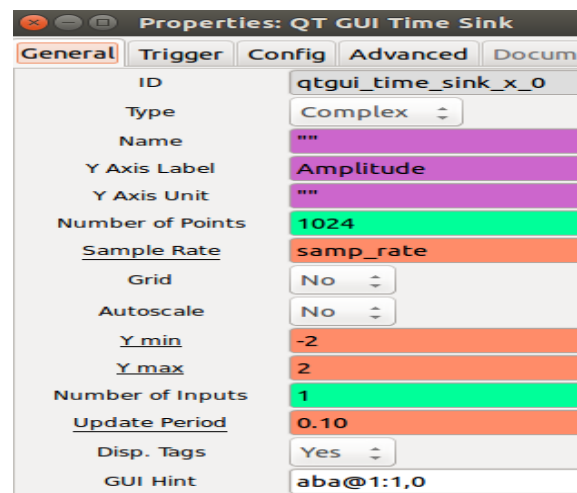
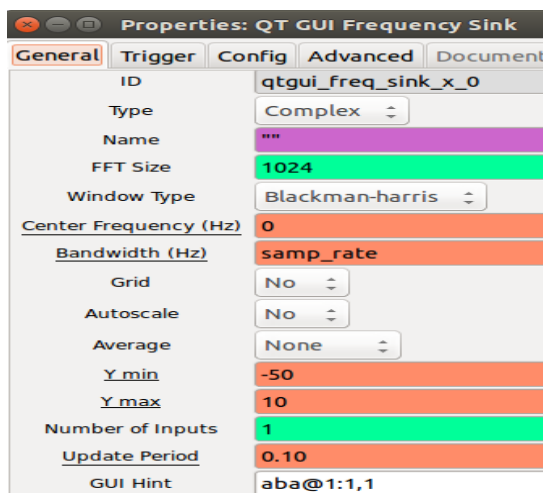
6. No próximo passo, vamos configurar os blocos da família **QT GUI**, que são responsáveis pela organização e visualização dos gráficos. Primeiro, clique no bloco **QT GUI Tab Widget** e edite o parâmetro **ID** para “aba”, **Num Tabs** para 3 e preencha os campos **Labels** de acordo com a figura abaixo.



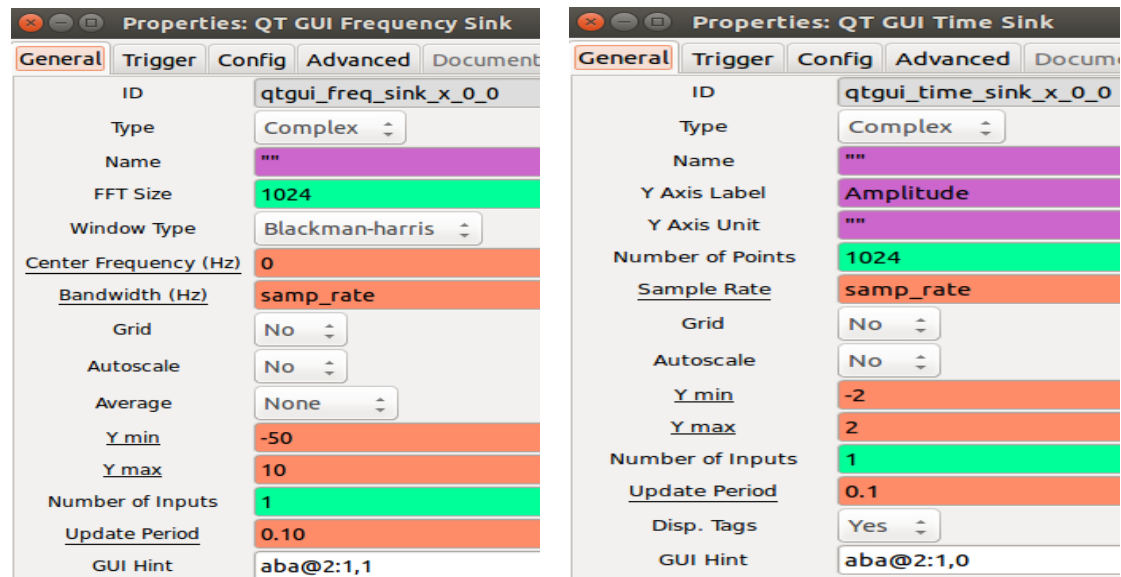
7. Agora configure os blocos **QT GUI Time Sink** e **QT GUI Frequency Sink** que estão na saída do bloco **Add**; altere o *Type* de ambos os blocos para Complex e o parâmetro *GUI Hint* conforme é ilustrado nas figuras seguinte. Esses blocos serão responsáveis por mostrar os sinais originais no domínio do tempo e da frequência.



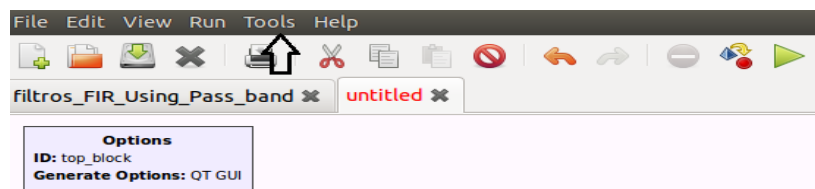
8. Vamos repetir o passo 7 para os blocos **QT GUI Time Sink** e **QT GUI Frequency Sink** que estão na saída do primeiro bloco **Interpolating FIR Filter**, alterando o *GUI Hint* com os parâmetros mostrados abaixo. Esses serão responsáveis por mostrar a filtragem da menor componente de frequência dos sinais transmitidos.



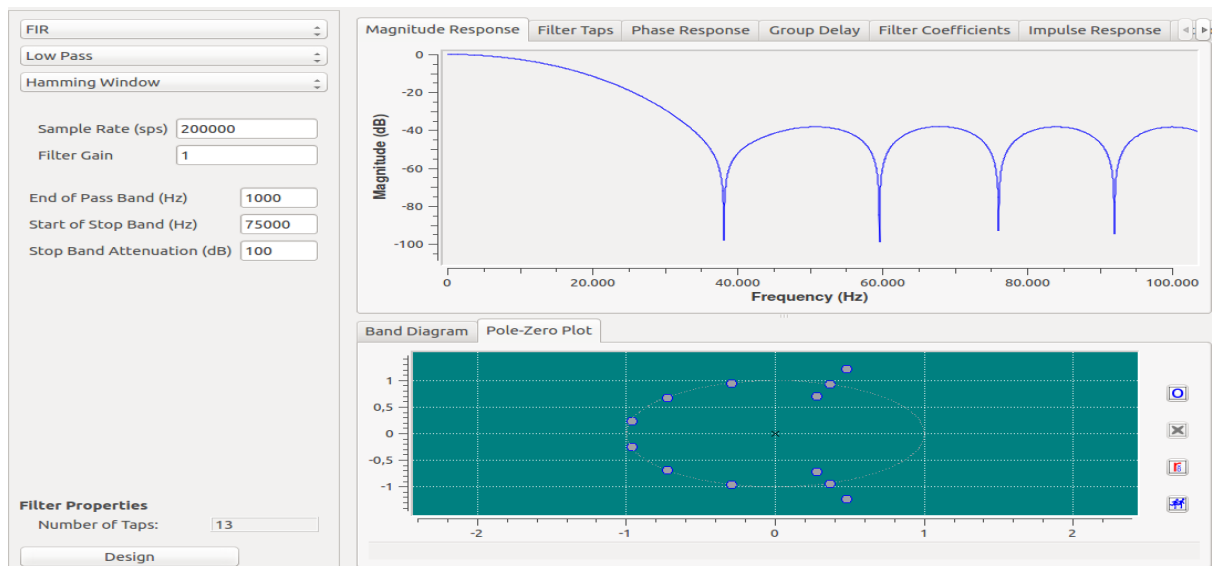
9. Para finalizar, repetimos o mesmo passo para os últimos blocos **QT GUI Time Sink** e **QT GUI Frequency Sink**, na saída do segundo bloco **Interpolating FIR Filter**. Esses mostrarão a maior componente de frequência e o sinal no domínio do tempo.



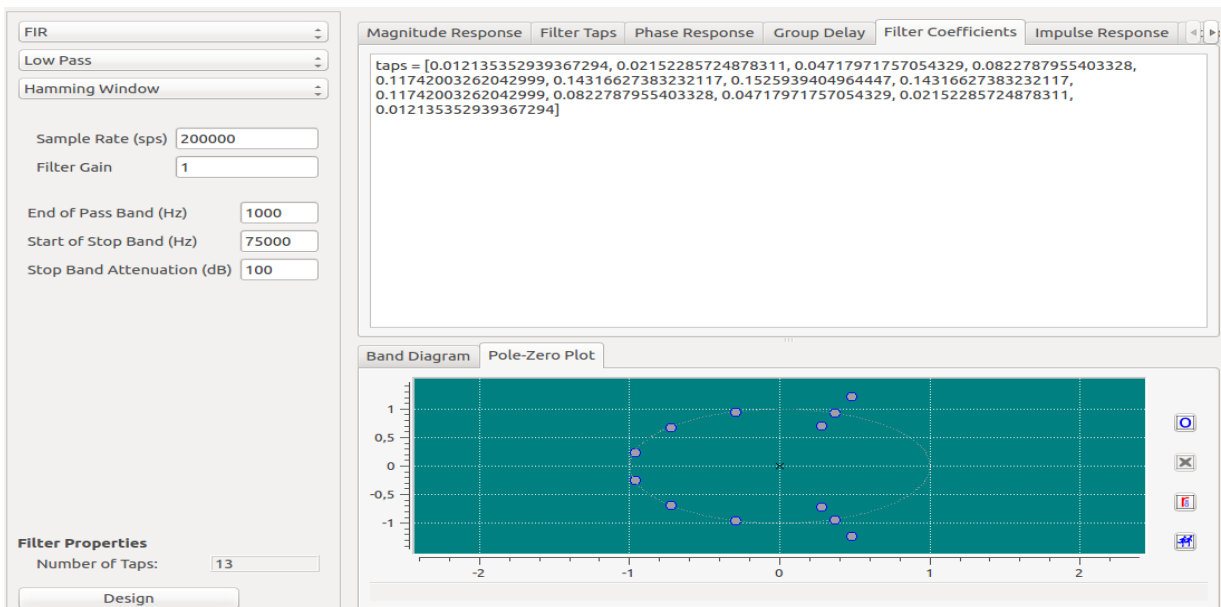
10. Agora vamos configurar os dois blocos **Interpolating FIR Filter**. Para isso, utilizaremos o auxílio da ferramenta **Filter Design** que vai gerar os Taps necessários para inserirmos nos blocos, além de apresentar várias características relevantes dos filtros, que nos permite uma melhor análise do projeto. Então, clique em Tools e depois na opção Filter Design.



11. Feito isso, vamos inserir os parâmetros do filtro que queremos projetar nos campos a seguir. Primeiro, utilizaremos um filtro passa-baixa para filtrar a componente de menor frequência, assim: selecione **FIR**, **Low Pass** e **Hamming Window** (depois tente refazer os experimentos utilizando diferentes tipos de janela, neste caso, em qualquer outro tipo obteremos sucesso devido os sinais estarem muito distantes). Altere o **Sample Rate (sps)** para a frequência de amostragem que estamos utilizando, ou seja, 200 kHz e **Filter Gain** para 1. Para obtermos só a componente de menor frequência e aproveitando a grande distância entre os dois sinais, vamos manter uma zona de transição maior entre os dois parâmetros, exigindo assim um número menor de Taps, que significa menor custo computacional. Sendo assim, altere o parâmetro **End of Pass Band (Hz)** para 1 kHz, **Start of Stop Band (Hz)** para 75 kHz e **Stop Band Attenuation (dB)** para 100 dB. Agora gere os resultados em **Design** e sua interface deverá ficar semelhante à figura a seguir.



12. Clique na aba *Filter Coefficients*, copie todos os coeficientes gerados e cole no parâmetro *Taps* do primeiro bloco **Interpolating FIR Filter**.



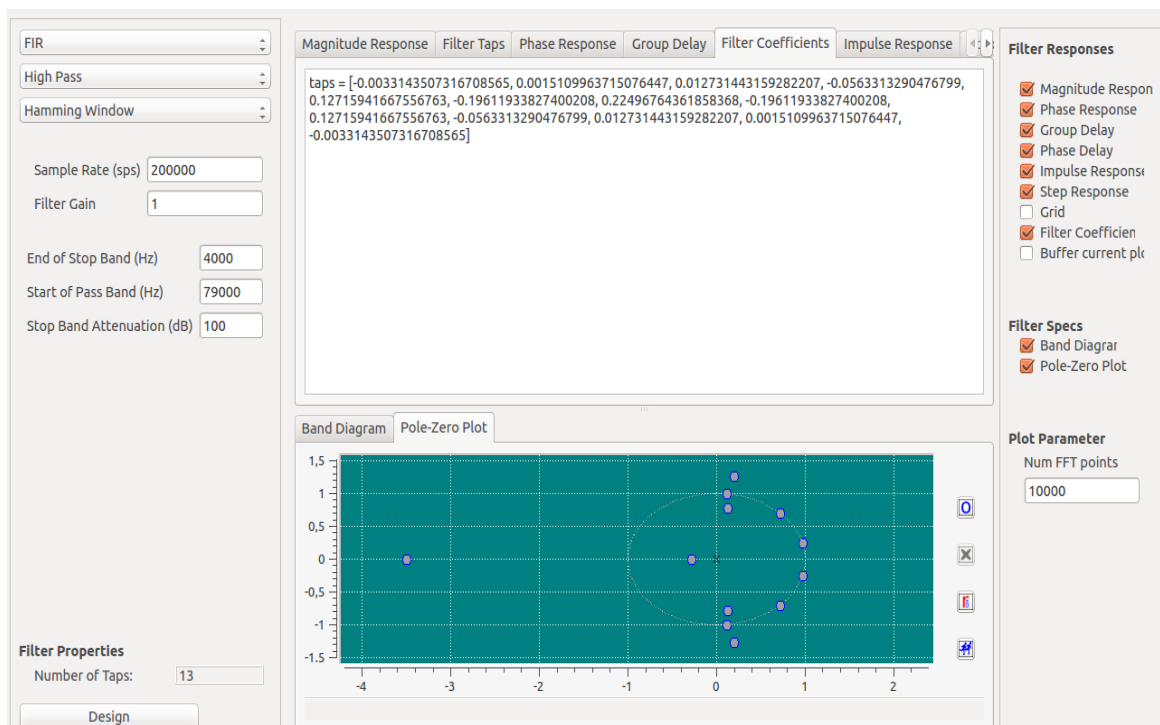
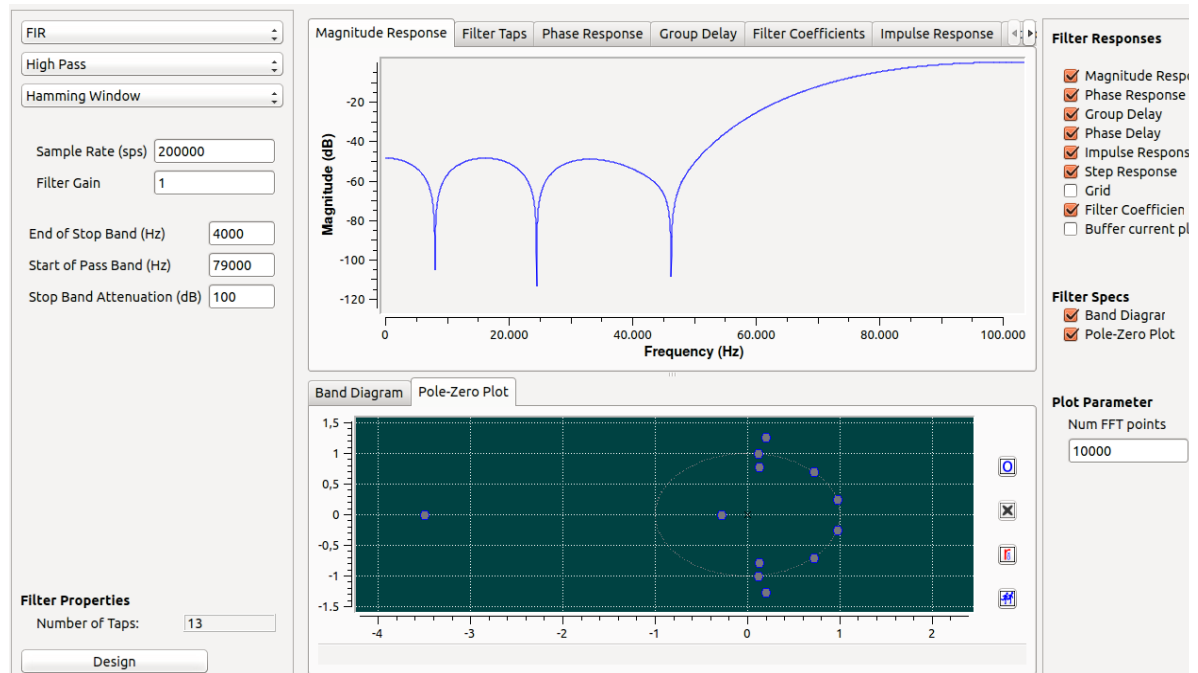
**Properties: Interpolating FIR Filter**

**General** | Advanced | Documentation

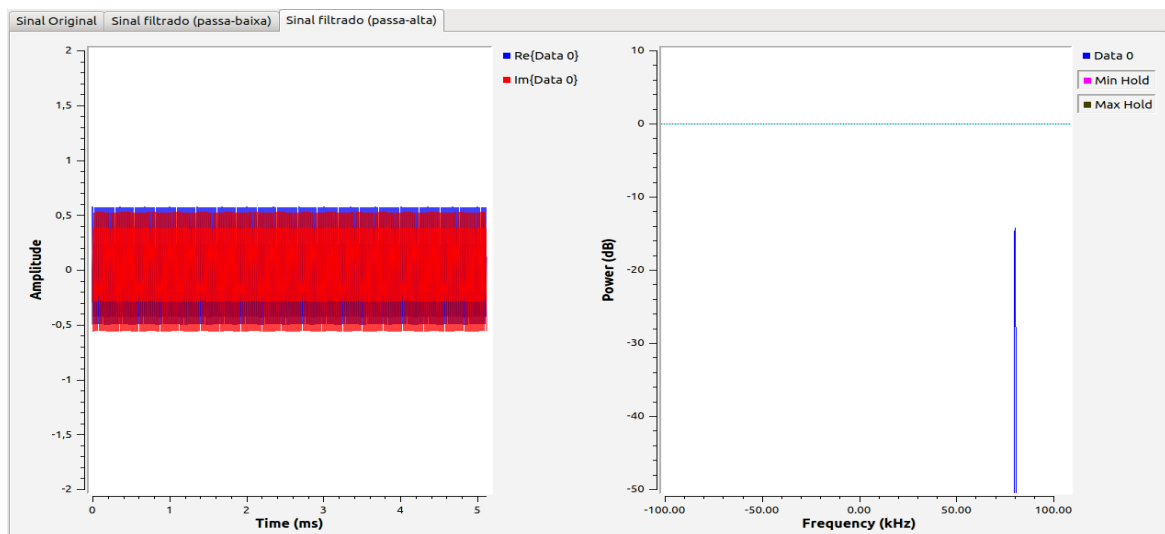
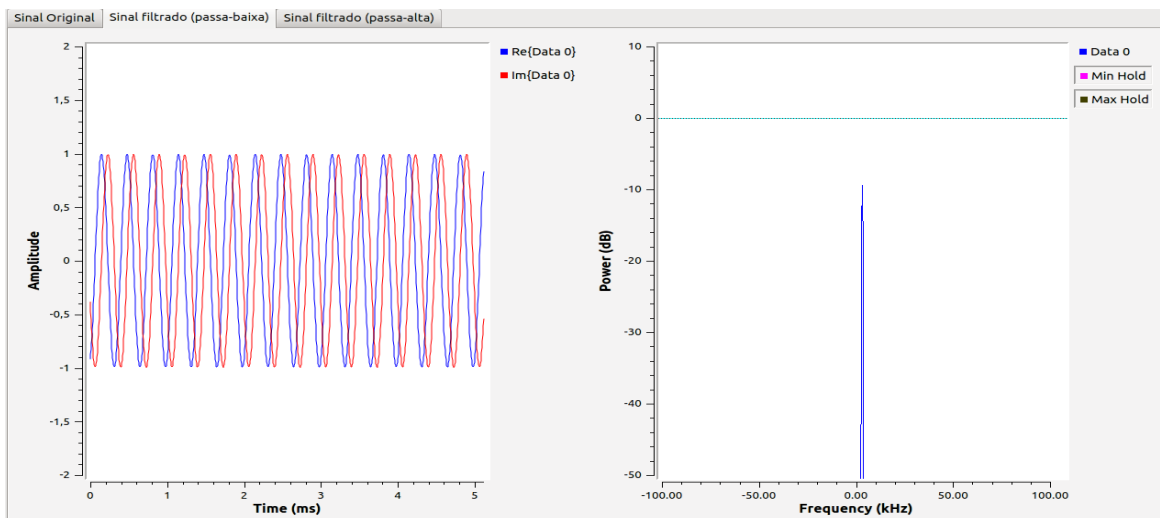
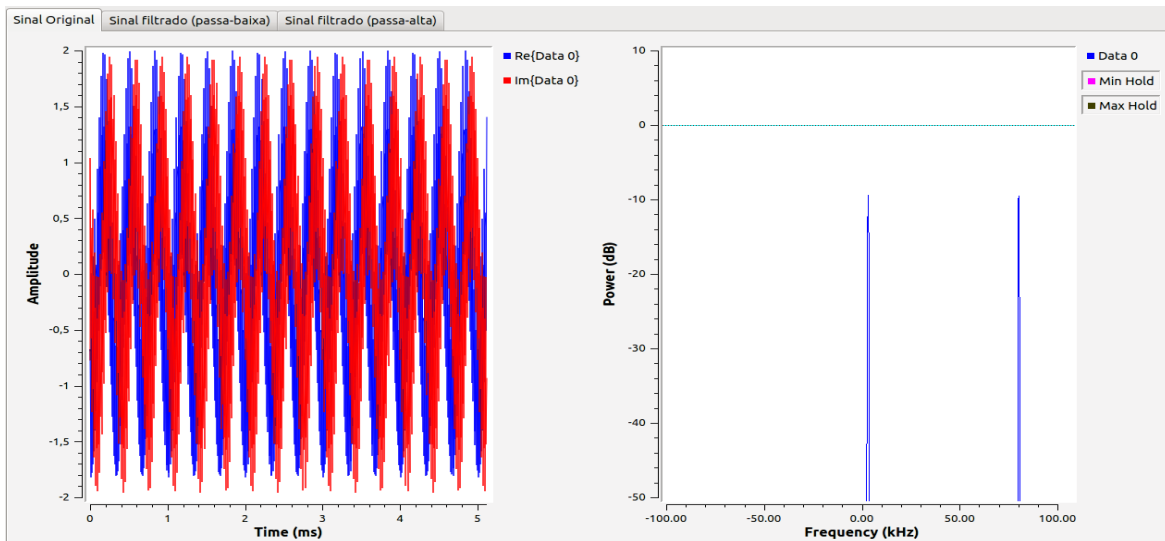
ID	interp_fir_filter_xxx_0
Type	Complex->Complex (Complex Taps)
Interpolation	1
Taps	[0.012135352939367294, 0.02152285724878311, 0.04717971757054329, 0.0822787955403328, 0.11742003262042999, 0.14316627383232117, 0.1525939404964447, 0.14316627383232117, 0.11742003262042999, 0.0822787955403328, 0.04717971757054329, 0.02152285724878311, 0.012135352939367294]
Sample Delay	0



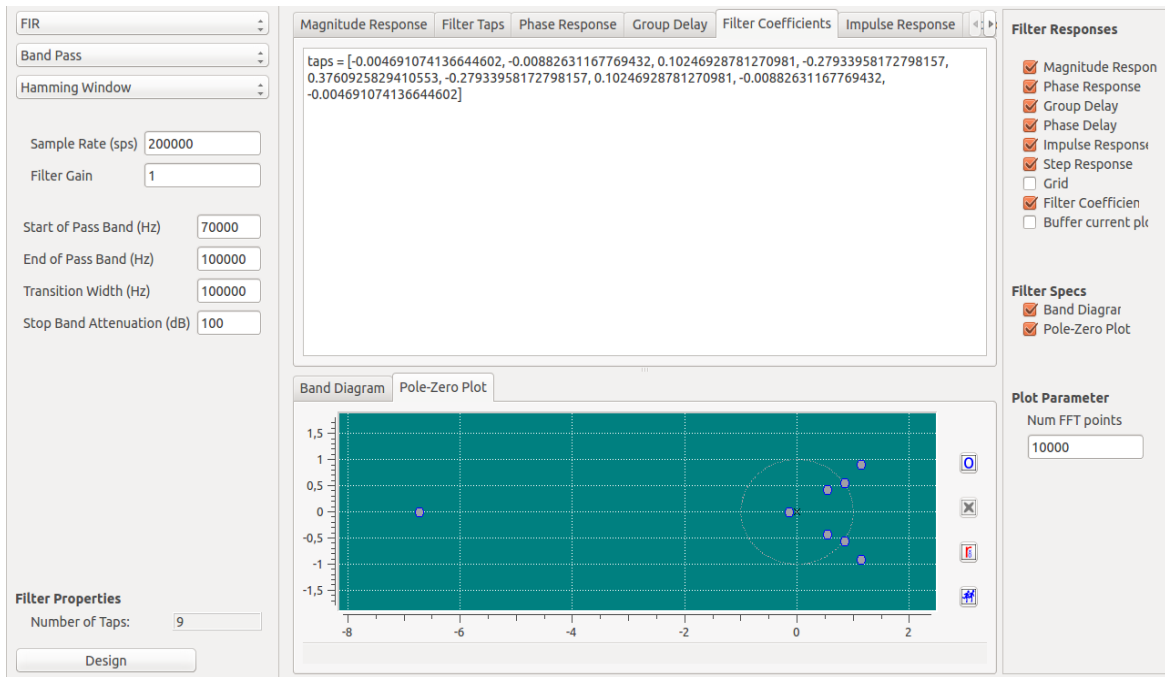
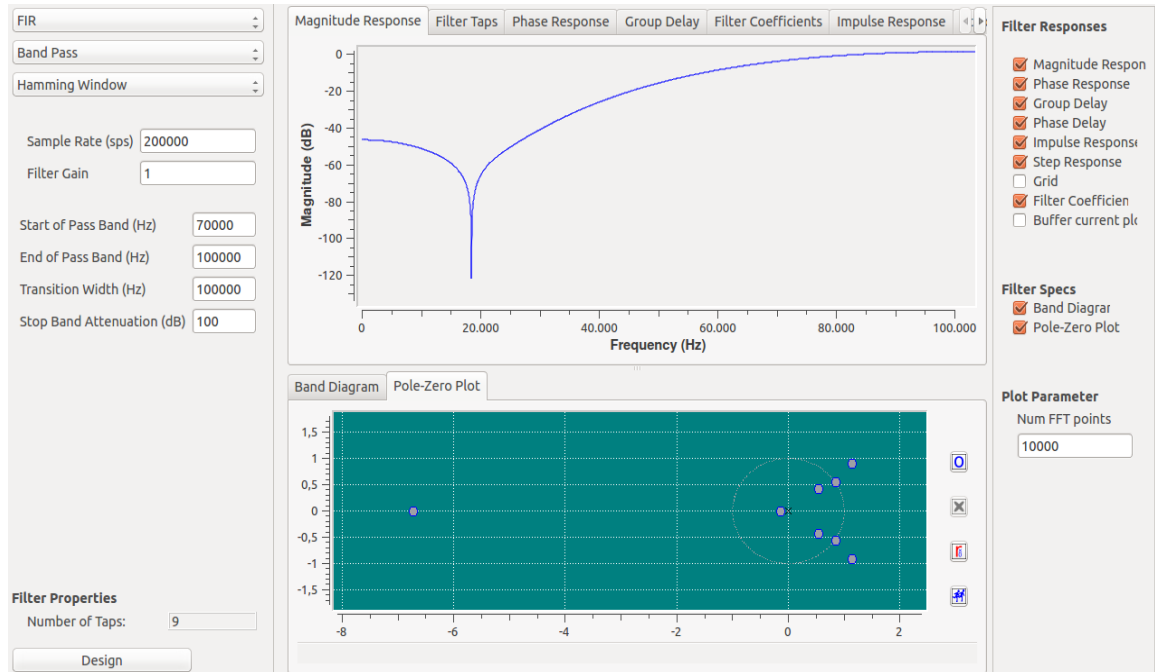
13. Agora vamos repetir o processo anterior para o segundo bloco **Interpolating FIR Filter**, sendo que este será responsável por filtrar a maior componente de frequência, então utilizaremos um filtro passa-alta. Para isso, selecione no Filter Design os seguintes parâmetros: **FIR**, **High Pass** e **Hamming Window**. Mantenha os valores de **Sample Rate (sps)**, **Filter Gain** e **Stop Band Attenuation (dB)**; e altere **End of Stop Band (Hz)** para 4 kHz e **Start of Pass Band (Hz)** para 79 kHz. Em seguida, repita o passo do tópico 12.



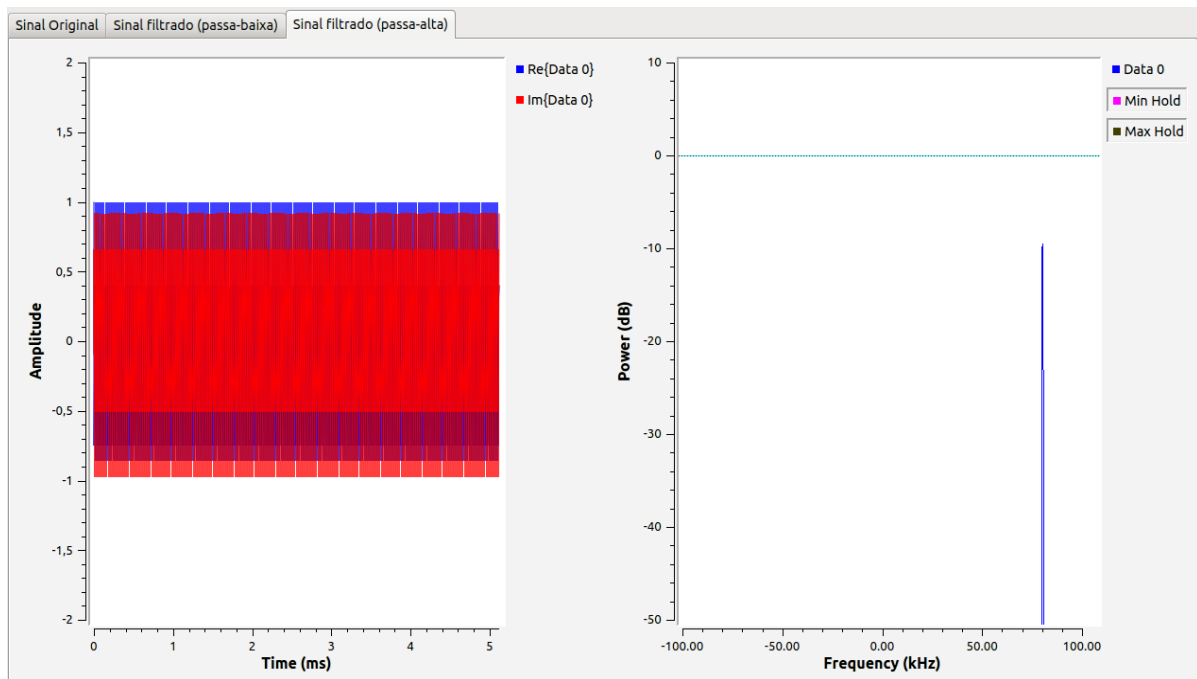
14. Gere e execute o Flowgraph. Os resultados devem ser semelhantes ao das figuras abaixo.



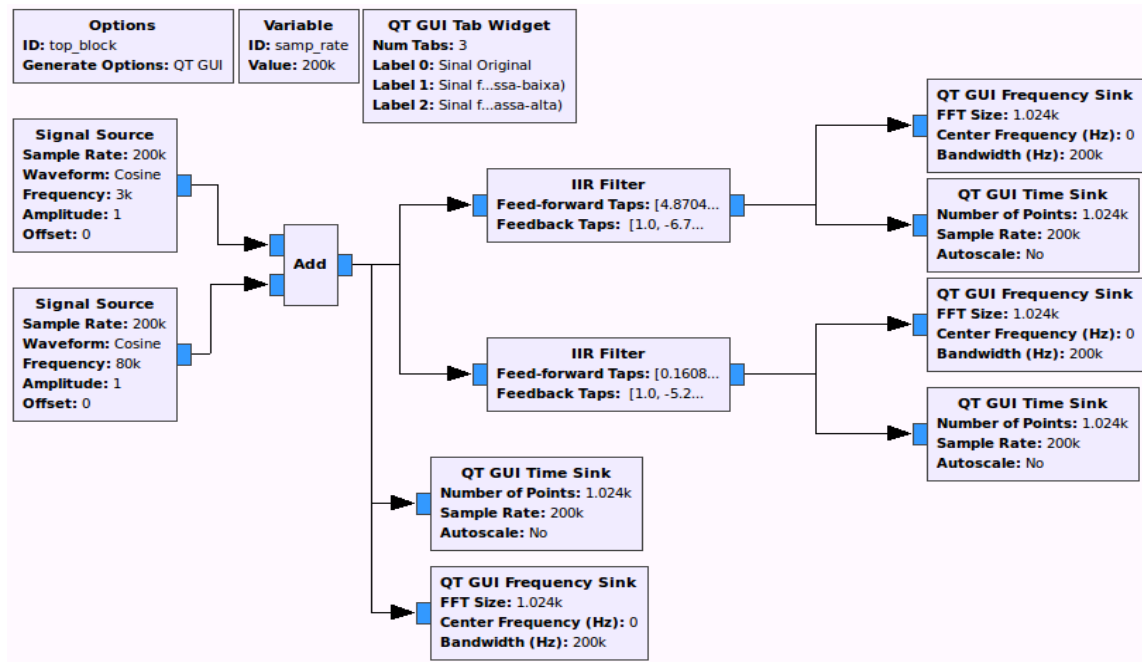
15. Observe que na terceira imagem, saída do filtro passa-alta, houve uma grande perda na amplitude do sinal. Isso ocorreu devido os filtros FIR não trabalharem bem com o High Pass. Visando melhorar o ganho do sistema, vamos utilizar um filtro passa-faixa para filtrar a maior componente do sinal. Portanto, edite os seguintes parâmetros no Filter Design: *FIR*, *Band Pass* e *Hamming Window*. Mantenha os valores de *Sample Rate (sps)*, *Filter Gain* e *Stop Band Attenuation (dB)*; e altere os parâmetros *Start of Pass Band (Hz)* para 7 kHz, *End of Pass Band (Hz)* para 100 kHz e *Transition Width (Hz)* para 100 kHz. Todos os parâmetros e os resultados gerados deverão ficar iguais às figuras abaixo.



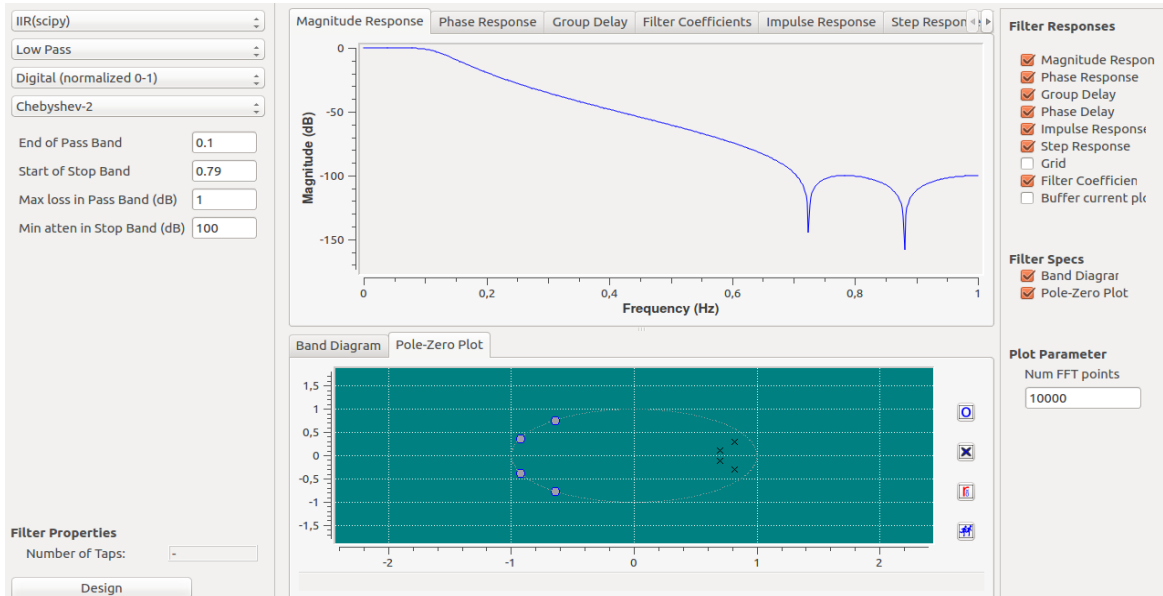
16. Copie os novos coeficientes gerados na opção *Taps* do segundo bloco **Interpolating FIR Filter**. Agora gere e execute o Flowgraph. Observe na figura abaixo que, mesmo com um menor número de taps, conseguimos obter um resultado melhor que o anterior, matendo a amplitude original do sinal.



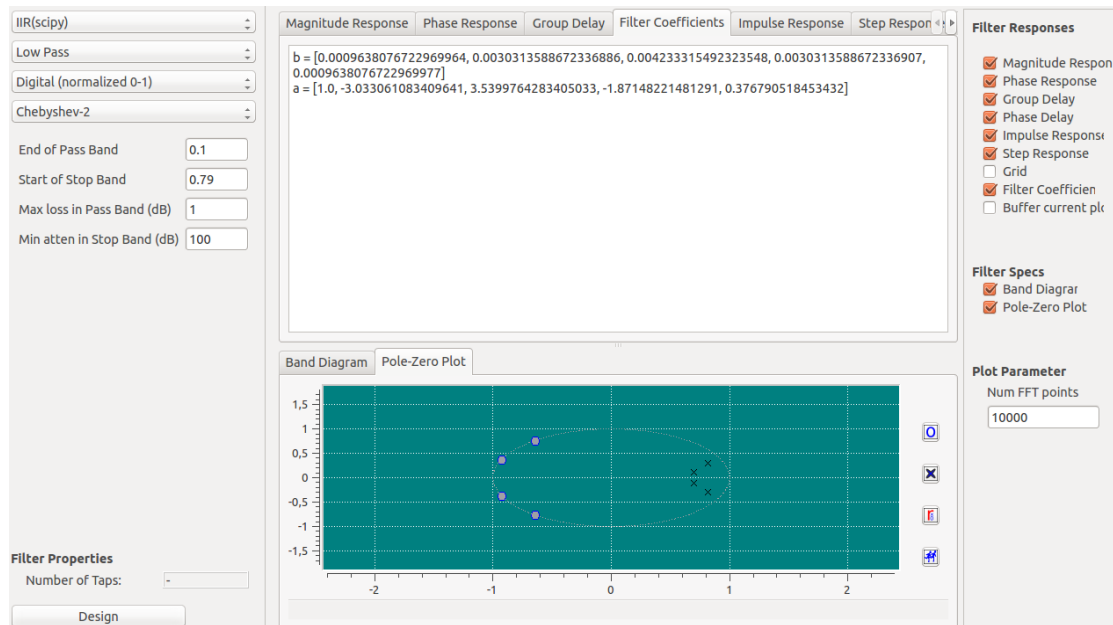
17. Para a segunda etapa do projeto, aproveite a mesma estrutura do projeto anterior (salve-o utilizando o recurso “save as” com novo nome) e substitua os dois blocos **Interpolating FIR Filter** por dois blocos **IIR Filter**. Sua área de trabalho deverá ficar igual à figura abaixo.

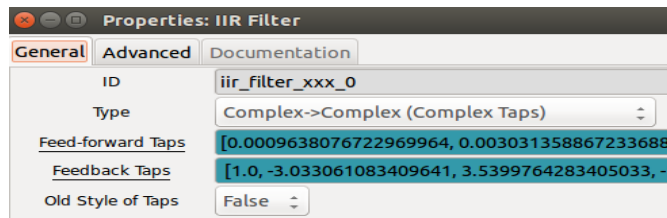


18. Feito isso, vamos configurar o primeiro bloco **IIR Filter**. Abra o Filter Design e selecione os seguintes parâmetros: *IIR (scipy)*, *Low Pass*, *Digital (normalized 0-1)* e *Chebyshev-2*. Agora com os valores normalizados, atribua 0.1 para *End of Pass Band*, 0.79 para *Start of Stop Band*, *Max loss in Pass Band (dB)* igual a 1 e 100 para *Min atten in Stop Band (dB)*. Clique em *Design* e a resposta em magnitude do filtro deverá ficar semelhante à figura abaixo.

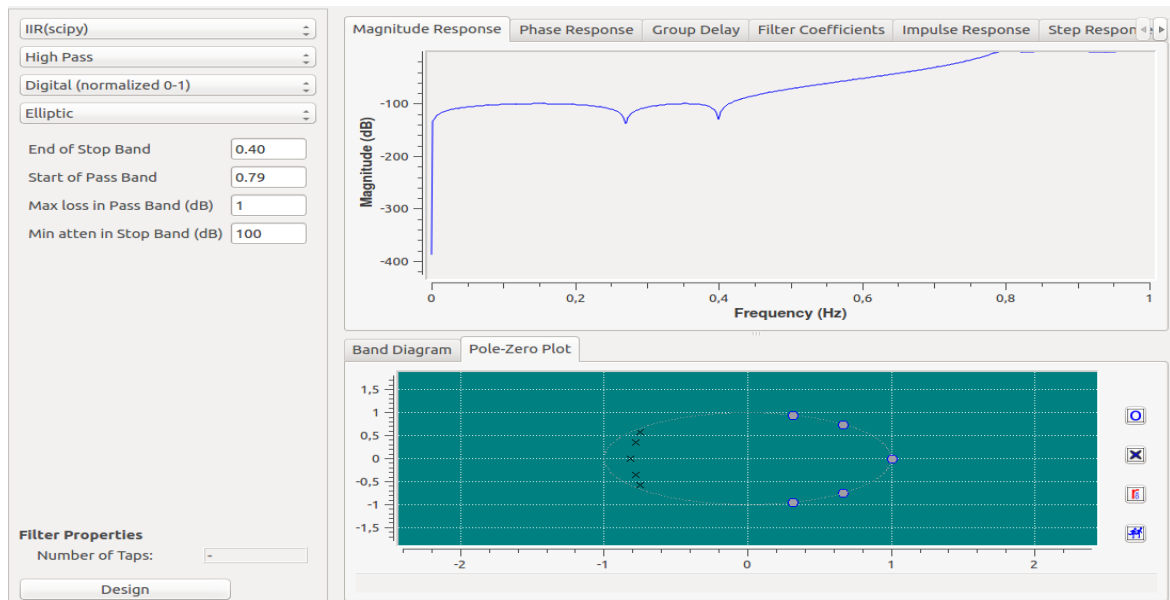


19. Clique na aba *Filter Coefficients*, copie os valores do coeficiente “b” e cole no parâmetro *Feed-forward Taps* do bloco **IIR Filter**, agora copie os valores do coeficiente “a” e cole no parâmetro *Feedback Taps*, depois selecione a opção *Old Style of Taps* para False. Observe o resultado nas figuras seguintes.

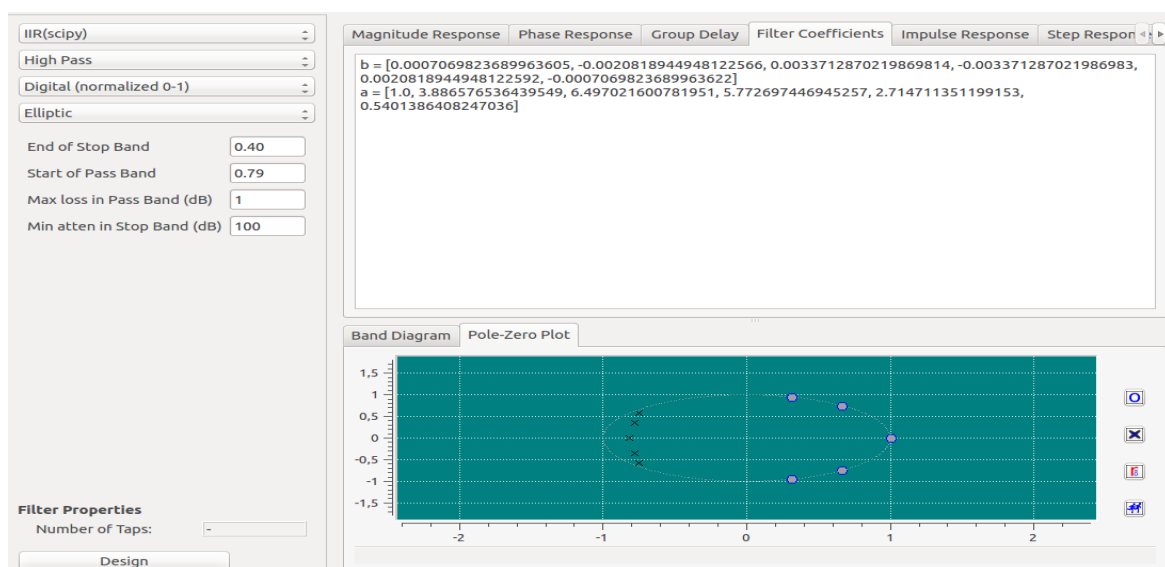




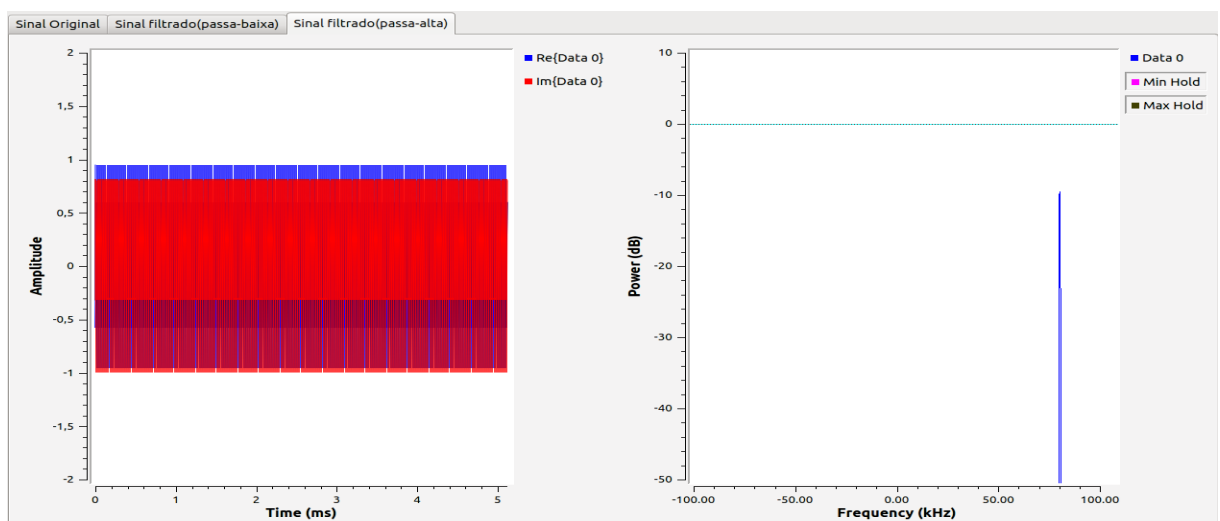
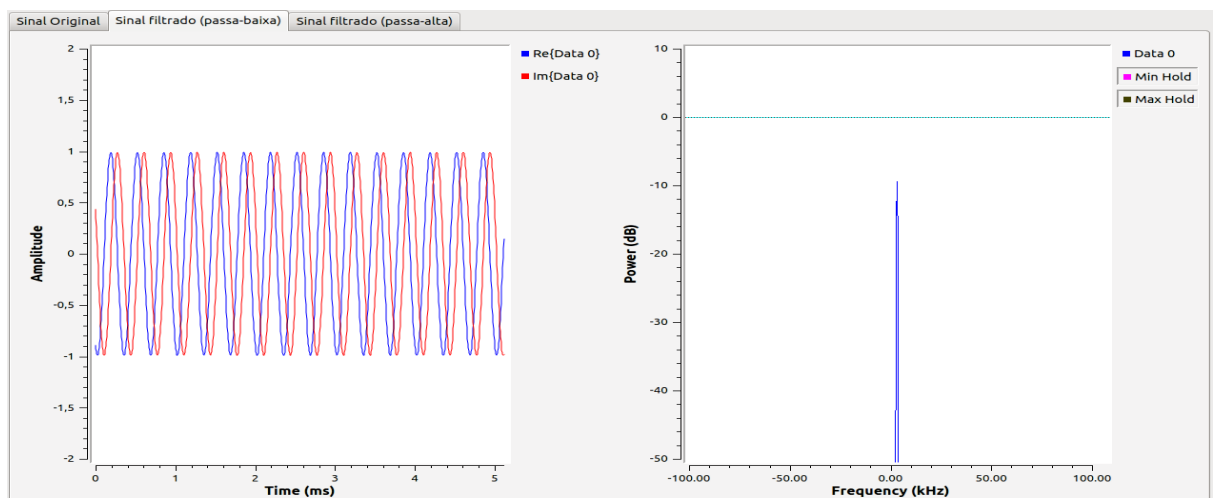
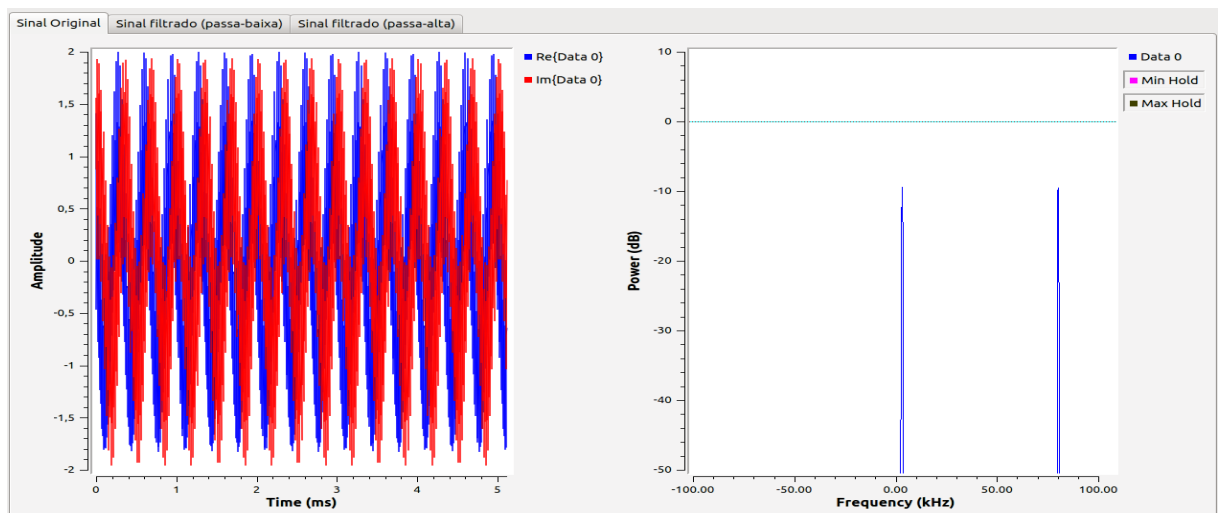
20. Agora vamos configurar o último bloco **IIR Filter**. No Filter Design, selecione os seguintes parâmetros: *IIR (scipy)*, *High Pass*, *Digital (normalized 0-1)* e *Elliptic*. *End of Pass Band* igual a 0.40, *Start of Stop Band* a 0.79, *Max loss in Pass Band (dB)* igual a 1 e 100 para *Min atten in Stop Band (dB)*. Os resultados deverão ficar iguais à figura abaixo.



21. Clique na aba *Filter Coefficients* e repita os passos ilustrados no tópico 19 para o segundo bloco.



22. Gere e execute o Flowgraph. Os resultados do projeto final devem ficar semelhantes aos ilustrados a seguir.



23. Analisando os resultados obtidos, podemos concluir que os filtros IIR obtiveram melhor desempenho na utilização do filtro passa-alta, comparado com os filtros FIR. Agora repita os experimentos utilizando diferentes tipos de janelas, compare o desempenho dos filtros FIR e IIR para um mesmo número de Taps e veja qual é o mais eficiente para cada situação.