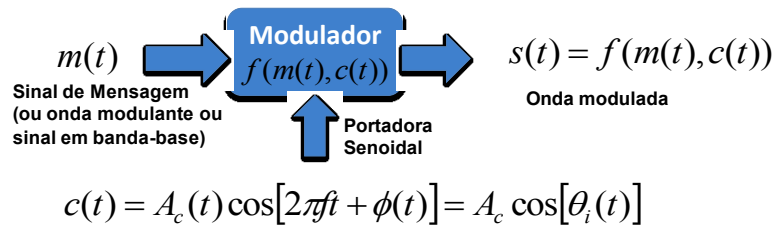


# Hands-on 8

## Receptor WBFM usando o Dongle

## Introdução Teórica

Todo processo de modulação analógica envolve uma operação (função) entre a onda modulante  $m(t)$  e a onda portadora  $c(t)$ .



**Figura 1:** processo de modulação analógica.

O modulador FM produz uma onda no qual a frequência instantânea varia linearmente com o sinal mensagem,

$$f_i(t) = f_c + k_f m(t) \quad (1)$$

sendo  $k_f$  um parâmetro de projeto chamado **sensibilidade de frequência do modulador (Hz/volt)**. Sabemos que a relação ângulo-frequência é

$$f_i(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\theta(t)}{dt} \quad (2)$$

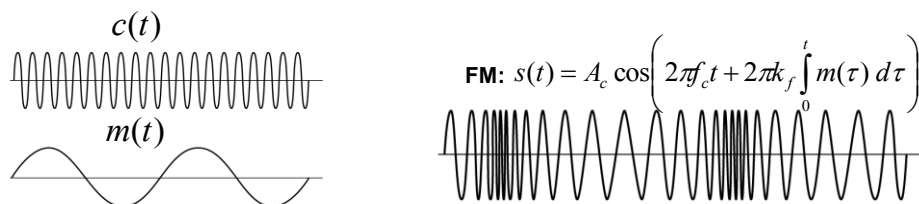
$$\theta_i(t) = 2\pi \int_0^t f_i(\tau) d\tau \quad (3)$$

Dessa forma, desconsiderando o desvio de fase da onda portadora ( $\phi = 0$ ), o modulador FM produz a onda  $s(t)$  a seguir (Eq. (3)).

$$s(t) = A_c \cos \left( 2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_0^t m(\tau) d\tau \right) \quad (4)$$

Então, a onda FM  $s(t)$  é uma função não linear da onda moduladora  $m(t)$ . Portanto, a modulação em frequência é um processo não linear de modulação. Sua caracterização temporal pode ser visualizada na figura 2.

### **Caracterização temporal: modulação FM**



**Figura 2:** caracterização temporal da modulação FM.

Por simplicidade, consideremos  $m(t)$  um tom, como abaixo.

$$m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t) \quad (5)$$

A frequência instantânea da onda FM pode ser reescrita como abaixo.

$$f_i(t) = f_c + k_f m(t) = f_c + k_f A_m \cos(2\pi f_m t) = f_c + \Delta f \cos(2\pi f_m t) \quad (6)$$

Da mesma forma, o ângulo de  $s(t)$  pode ser reescrito como abaixo.

$$\theta_i(t) = 2\pi \int_0^t f_c + \Delta f \cos(2\pi f_m \tau) d\tau = 2\pi f_c t + \frac{2\pi \Delta f}{2\pi f_m} \sin(2\pi f_m t) = 2\pi f_c t + \frac{\Delta f}{f_m} \sin(2\pi f_m t) \quad (7.1)$$

$$\theta_i(t) = 2\pi f_c t + \beta \sin(2\pi f_m t) \quad (7.2)$$

$$\beta = \frac{\Delta f}{f_m} \quad (7.3)$$

Assim,  $s(t)$  assume a forma a seguir.

$$s(t) = A_c \cos(2\pi f_c t + \beta \sin(2\pi f_m t))$$

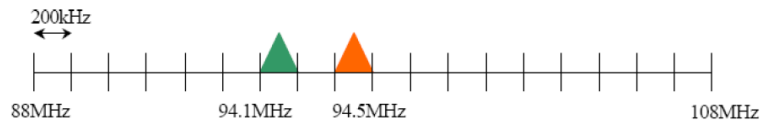
O parâmetro  $\beta$  é chamado de **índice de modulação** e  $\Delta f$  de **desvio de frequência**. Enquanto  $k_f$  serve para controlar a variação de frequência da onda FM, o  $\beta$  determina a variação máxima de ângulo.

Transmissores FM comerciais (FCC, ANATEL) usam um desvio de frequência máximo de 75kHz e uma frequência máxima do sinal mensagem de 15 kHz, resultando em um índice de modulação máximo de 5.

Dependendo do índice de modulação são definidos dois tipos de modulação FM: (i) modulação FM banda estreita (NBFM); e (ii) modulação FM banda larga (WBFM).

- **Caso 1:** FM de banda estreita (narrowband FM):  $\beta$  é pequeno em comparação com 1 radiano ( $< 0,3$  radiano). Comportamento similar a modulação AM. **Algumas aplicações dessa modulação são:** *magnetic tape storage* (porções de luminância do sinal de vídeo em videocassetes); serviços de voz (quando a fidelidade de áudio não é importante, e.g. radio amador); e GSM (GMSK).
- **Caso 2:** FM de banda larga (wideband FM):  $\beta$  é grande em comparação com 1 radiano. Esse é o caso do FM comercial e outras aplicações tais como áudio da TV e sistemas AMPS ( $f_m = 3$  kHz;  $\Delta f = 12$  kHz).

No Brasil, a faixa de FM comercial permitida é de 88 a 108 MHz. Essa faixa é dividida em porções de 200kHz, o que daria um total de 100 estações de rádio. Na prática, são utilizadas no máximo 50 estações de rádio numa mesma região, pois não é permitido que duas emissoras ocupem faixas vizinhas. Isso é uma maneira de prevenir interferências de uma estação na outra e para permitir transmissão de sinais de áudio estéreo (veja figura abaixo).



**Figura 2:** FM no Brasil.

Até 1961, toda a transmissão FM era monofônica, a partir dessa época passaram a ser autorizadas as transmissões FM comerciais em dois canais. O principal problema em introduzir transmissões estereofônicas era a compatibilidade com os receptores monofônicos.

Assim, devia ser criada uma estratégia que permitisse que os sinais  $l(t)$  (left = esquerdo) e  $r(t)$  (right = direito), que são as informações de estéreo, fossem codificados de tal forma que os receptores estéreos pudessem decodificá-las e os receptores monofônicos também.

De maneira simples, no transmissor FM, o canal esquerdo  $l(t)$  e direito  $r(t)$  são misturados, gerando os sinais de soma  $l(t) + r(t)$  e diferença  $l(t) - r(t)$ . Assim, receptores monofônicos poderiam trabalhar com o sinal de soma  $l(t) + r(t)$ , enquanto que receptores estéreos recuperariam os dois canais como abaixo:

- Canal  $l(t)$ : soma do sinal soma e do sinal diferença =  $l(t) + r(t) + l(t) - r(t) \sim l(t)$
- Canal  $r(t)$ : diferença do sinal soma e do sinal diferença =  $l(t) + r(t) - l(t) + r(t) \sim r(t)$

## Dongle

Dongle RTL SDR é um dispositivo SDR barato que possibilita taxa de amostragem de até 2.56MS/s sem perdas e usado para DAB/DAB+/ Demodulação FM, a faixa de frequência varia de 52-2200 Mhz.

O Dongle E4000 pode ser comprado no Amazon por apenas \$20, por isso se torna uma boa escolha para uso de fins acadêmicos, pode utiliza-lo no GNURadio e em diversos outros programas.

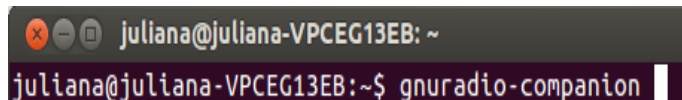


## Exercício

**OBJETIVO:** Demodulação FM usando o software GNURadio GRC e o dispositivo Dongle SDR Tv Digital.

**Obs.:** Os passos de 1 a 14 já foram realizados previamente no Hands-On 6. Caso já tenha o arquivo salvo, comece a partir do passo 15.

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

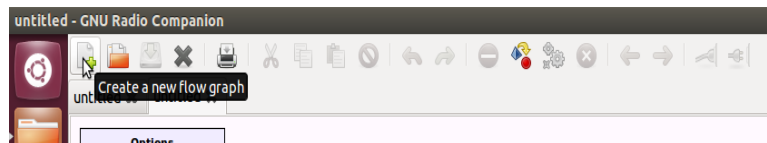


Alternativa:

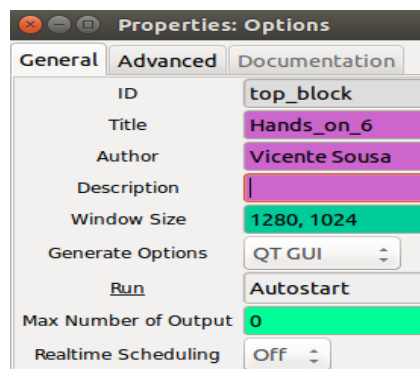
- a. Clique em Dash Home e digite `gnuradio` e clique no ícone correspondente ao GRC



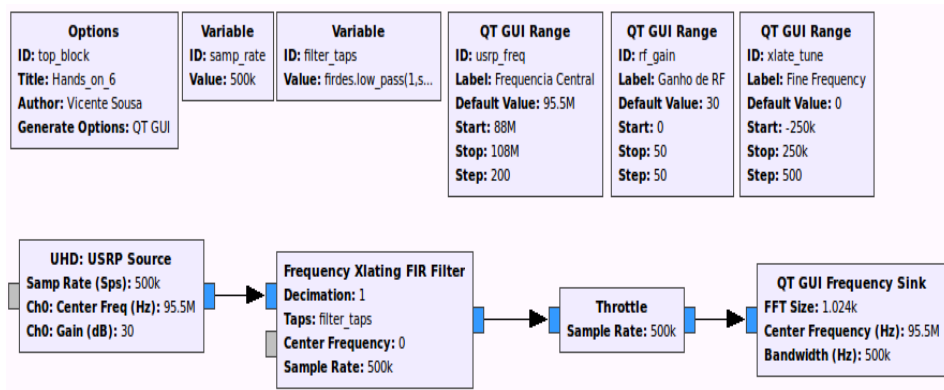
2. Com o GNU RADIO COMPANION aberto, crie um novo projeto.



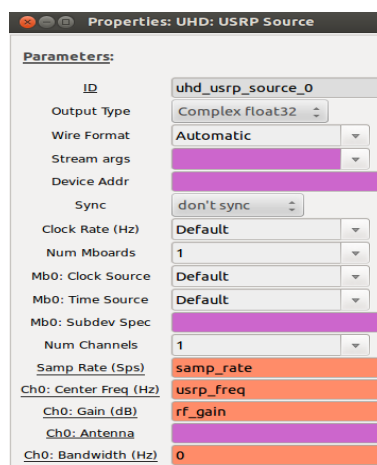
3. Clique duas vezes no Bloco **Options**. Esse bloco configura alguns parâmetros gerais de flowgraph. Mantenha o ID como `top_block`. Digite um título para o projeto e um autor. Selecione *Generate Options* com QT GUI, *Run* para Autostart e *Realtime Scheduling* para Off. Então, feche a janela de propriedades.



4. Monte um flowgraph como os seguintes blocos: **UHD: USRP Source**, 3 blocos **QT GUI Range**, um **Variable**, um **Frequency Xlating FIR Filter**, um **throttle** e um **QT GUI Frequency Sink**. Os blocos devem ser conectados como na figura a seguir.

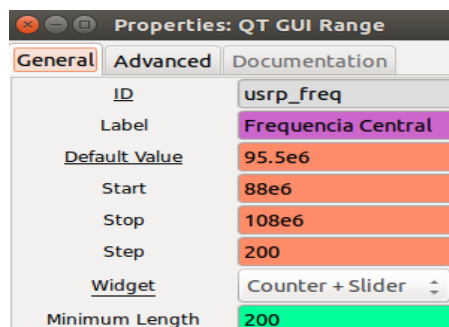


5. Clique duas vezes no bloco **UHD: USRP Source** e configure-o como abaixo, defina o *Ch0: Center Freq (Hz)* como *usrp\_freq* e o *Ch0: Gain (dB)* como *rf\_gain*.



Obs.: mesmo depois de todas essas configurações o bloco ainda continuará vermelho, principalmente porque as variáveis ainda não foram definidas.

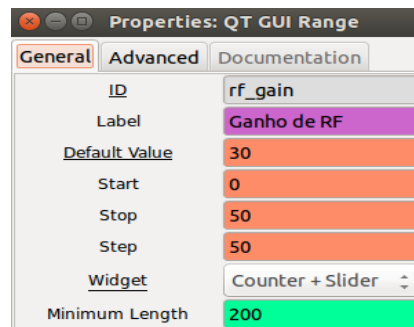
6. Clique duas vezes no primeiro bloco **QT GUI Slider** e configure-o como na figura a seguir. Defina o *ID* como *usrp\_freq*, *Label* como *Frequencia Central*, *Default Value* como *95.5e6*, *Start* como *88e6*, *Stop* como *108e6* e *Step* como *200*.



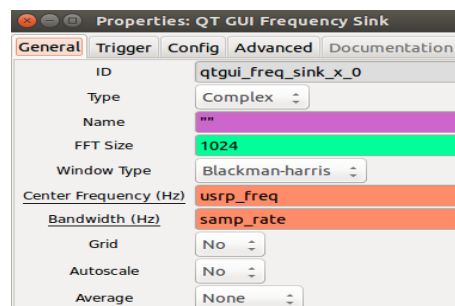
Obs.: Não use acentos para os *Labels*. Isso pode gerar problemas de salvamento no arquivo.

Obs.: note que depois de configurar esse bloco, só existe uma variável em vermelho no bloco **UHD: USRP Source**.

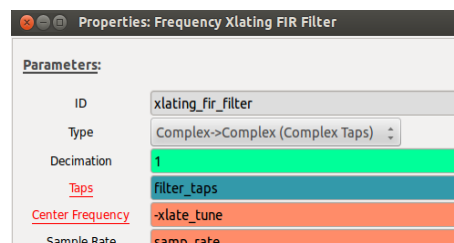
7. Clique duas vezes no segundo bloco **QT GUI Slidere** configure-o como na figura a seguir. Defina o *ID* como *rf\_gain*, *Label* como *Ganho de RF*, *Default Value* como 30, *Start* como 0, *Stop* como 50 e *Step* como 50.



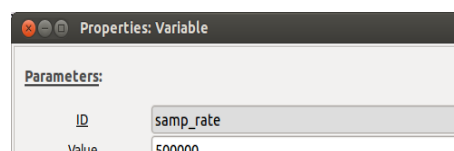
8. Clique duas vezes no bloco **QT GUI Frequency Sink** e configure-o como na figura a seguir. Defina *Center Frequency (Hz)* como *usrp\_freq* e *Bandwidth (Hz)* como *samp\_rate*.



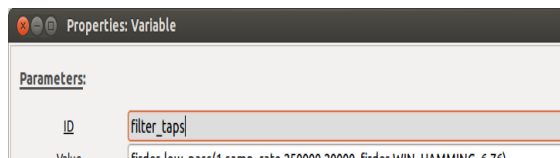
9. Clique duas vezes no bloco **Frequency Xlating FIR Filter** e configure-o como na figura a seguir. Defina *Taps* como *filter\_taps* e *Center Frequency* como *-xlate\_tune*.



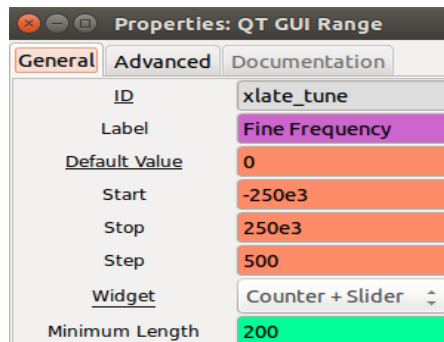
10. Agora precisamos aumentar a taxa de amostragem. Clique duas vezes no bloco **Variable** que tem o ID *samp\_rate*. Mude o valor para 500000 (500 kHz). O bloco ficará similar a figura a seguir.



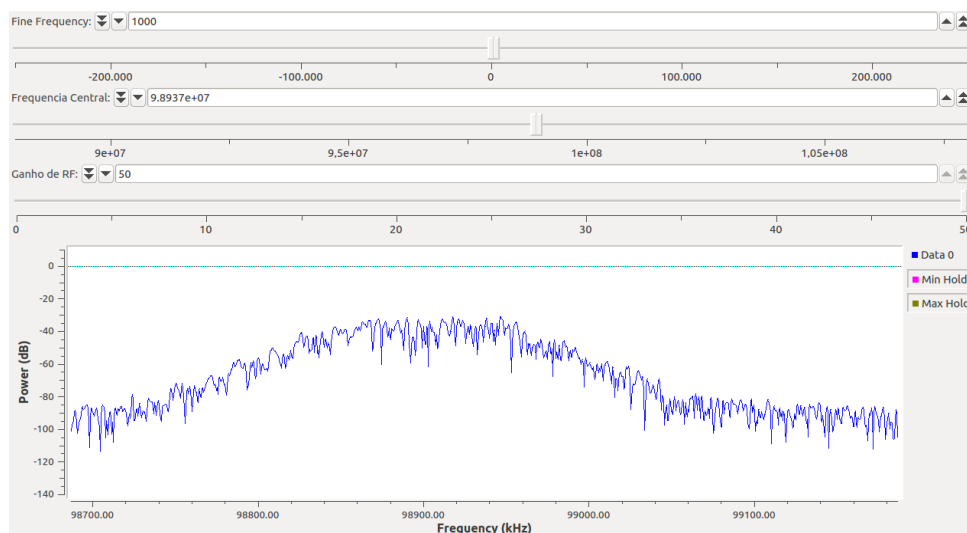
11. Clique duas vezes no novo bloco **Variable** e configure-o como na figura a seguir. Defina o *ID* como *filter\_taps* e o *Value* como *firdes.low\_pass(1,samp\_rate,250000,20000,firdes.WIN\_HAMMING, 6.76)*.



12. Clique duas vezes no terceiro bloco **QT GUI Slider** e configure-o como na figura a seguir. Defina o **ID** como *xlate\_tune*, **Label** como *Fine Frequency*, **Default Value** como 0, **Start** como -250e3, **Stop** como 250e3 e **Step** 500.

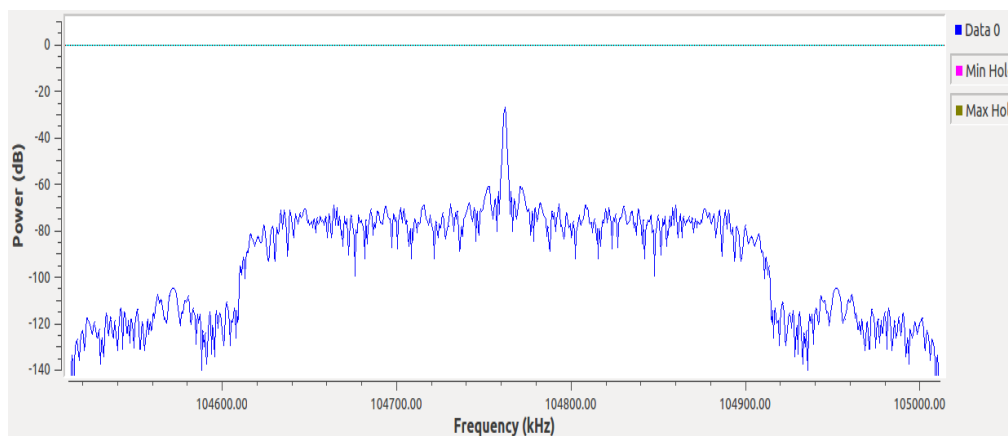


13. Para evitar travamento devido a questões de acesso ao hardware e exibição na tela, usamos o bloco *Throttle* (evitar CPU congestion). Ele não precisa ser configurado.
14. Salve o projeto com o nome **hands\_on\_05\_step\_01.grc**, gere o *flowgraph* e execute-o. Agora você será capaz de visualizar o espectro do sinal de RF na frequência selecionada no *slider*. A saída deve ser similar ao mostrado na figura a seguir.

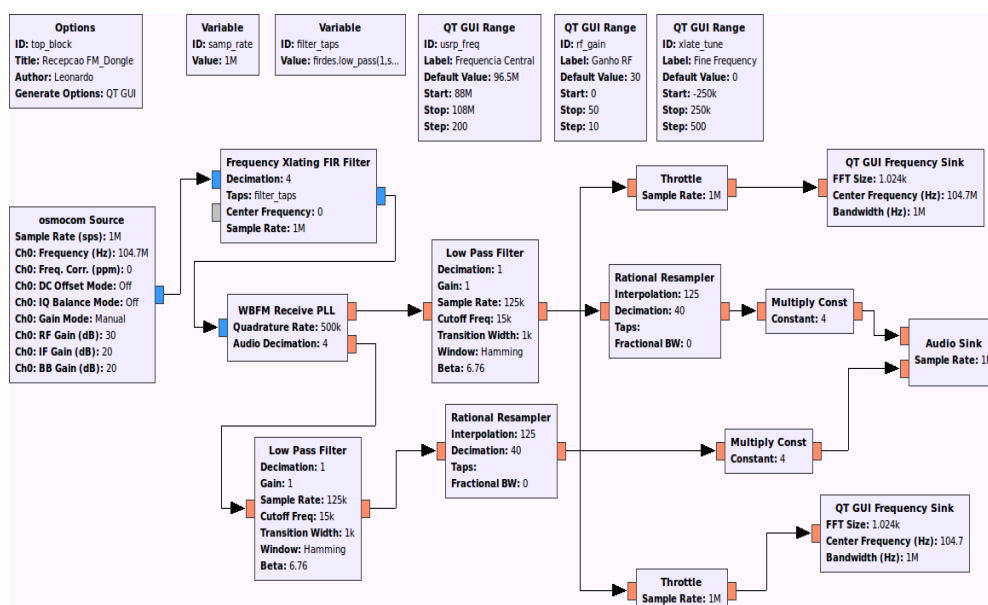


15. Observe que ao deslocar a frequência central próxima de 104 MHz, haverá um ganho no espectro do por volta da frequência 104.7 MHz, pois nela existe a 104FM, rádio comercial de Natal-RN. A saída será similar a figura a seguir.

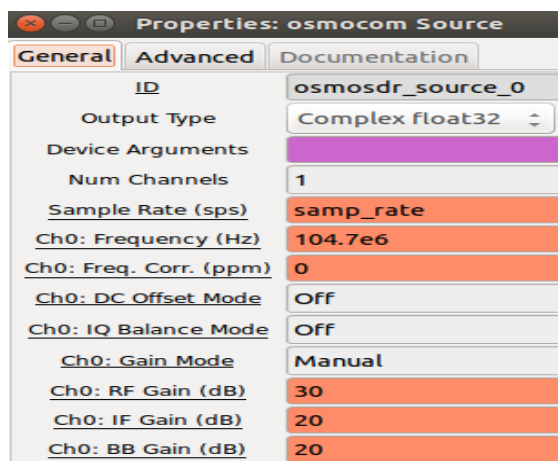




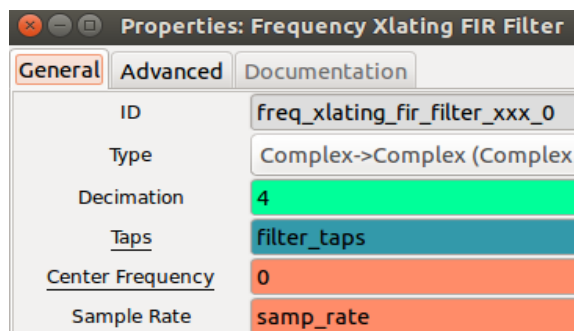
16. Agora vamos criar um receptor WBFM. Crie um novo projeto, deixando-o como na figura abaixo:



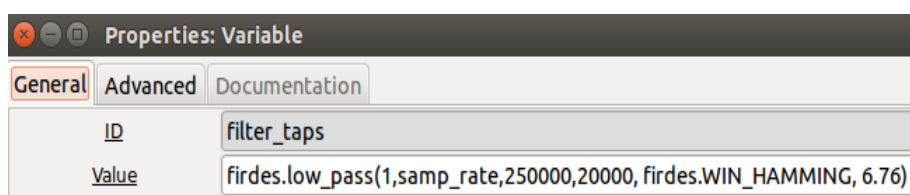
17. O primeiro passo é configurar o bloco **OsmoSDR Source**, ele representa o dispositivo Dongle e receberá uma taxa de amostragem (Sample Rate) de 1Mps e uma frequência central de 104.7 MHz. O bloco deve ficar como o da figura abaixo.



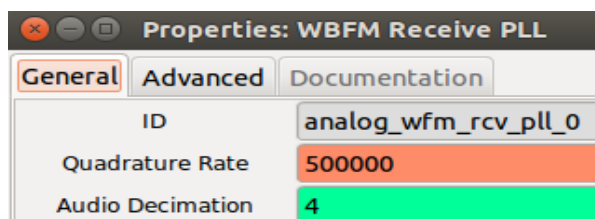
18. Depois devemos configurar o bloco **Frequency Xlating FIR Filter**, que representa um filtro configurável. No parâmetro *Decimation* utilize 4 e *Taps* como filter\_taps. Vejamos uma ilustração do bloco na figura a seguir.



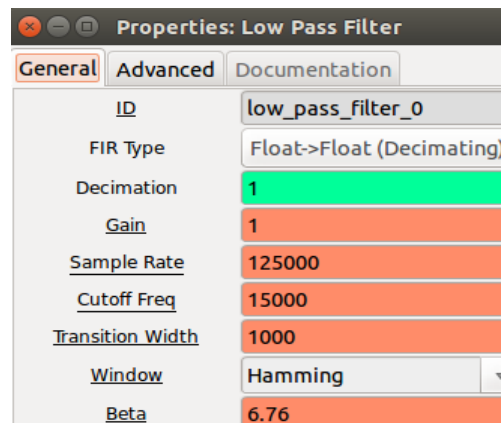
19. Crie um bloco **Variable** para a variável filter\_taps, ela designará o tipo do filtro. Ela usa a função `firdes.lowpass()` que configura este filtro como sendo um passa-baixa. Serão usados nela os seguintes parâmetros de entrada: (1, samp\_rate, 250000, 20000, `firdes.win_hamming`, 6.76), assim como ilustrado na figura abaixo. Sendo que o primeiro parâmetro representa o ganho, o segundo é a taxa de amostragem (que no caso será de 1Mps), o terceiro é a frequência de corte, o quarto é a largura da banda de transição, o quinto representa a janela e o sexto é o valor do beta.



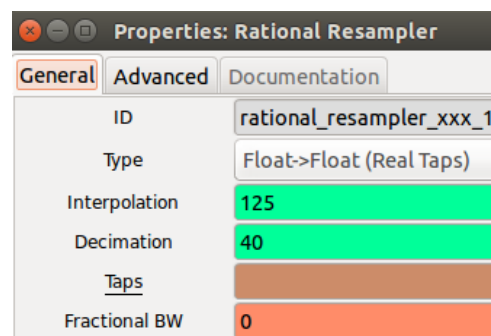
20. O terceiro bloco a ser configurado é o bloco de Demodulação FM Estéreo, o **WBFM Receive PLL**. Este bloco possui duas saídas na Demodulação, a saída esquerda **Lout** e a direita **Rout**. Ele também pode realizar a compactação no tempo do áudio recebido, o parâmetro **Audio Decimation** controla o quanto o áudio será compactado. No nosso caso, o **Quadrature Rate** será reduzido de 500k para 125k, ou seja, será 4 vezes menor.



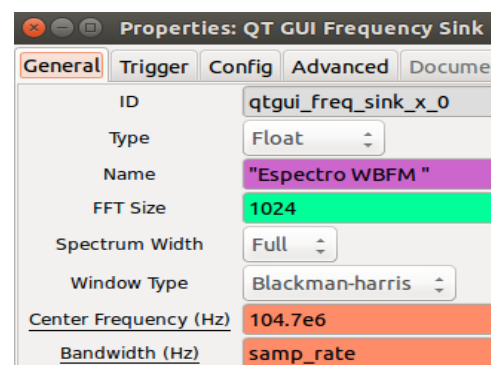
21. O bloco seguinte é o **Low Pass Filter**, que é um filtro passa-baixa. As duas saídas deverão passar por ele, que deverá ser configurado com a frequência de corte igual a 15 KHz e a largura da banda de transição igual a 1 KHz. Mantenha os parâmetros semelhante à figura abaixo.



22. O próximo bloco a ser configurado é o **Rational Resampler**, que tem a função de converter a taxa de amostragem. Ele usa a seguinte fórmula para calcular a nova taxa de amostragem:  $tx_{saida} = tx_{entrada} \left( \frac{interpolacao}{decimacao} \right)$ . No nosso caso, a taxa desejada é de 40 KHz e a de entrada é de 125 KHz, por isso configuramos o **decimation** 40 e o **interpolation** é 125.



23. Nos dois blocos **QT GUI Frequency Sink** atribua *Name* como “Espectro WBFM” e *Center Frequency* em 104.7MHz. Vejamos a ilustração na figura abaixo.



24. Vamos agora inserir um amplificador de sinal nas duas saídas dos blocos **Rational Resampler**, ou seja, dois blocos **Multiply Const** com parâmetro *Const* igual a 4 e conectá-los na entrada do bloco **Audio Sink**, este será responsável pela saída do áudio demodulado. Feito isso, gere o Flowgraph e execute-o. Deverá aparecer o espectro WBFM centrado na frequência 104.7MHz que foi recebido pelo Dongle.

