



Experimento 01

Laboratório de Princípios de Comunicação

Autoria	Matrícula
Pedro Henrique Dornelas Almeida	18/0108140

Engenharia de Redes de Comunicação
Universidade de Brasília

24 de Fevereiro de 2021

Versão do GNU Radio Companion: 3.8.1.0 (Python 3.8.5).

1 Introdução

O objetivo deste experimento é se ambientar com o cálculo de potência de sinais, bem como seu valor RMS. A utilização de filtros em sinais e como é o seu funcionamento. Aqui também estudaremos como utilizar de misturadores e filtros para a modulação e demodulação de sinais, em um nível mais simples aqui, porém muito importante para entender como é feita comunicação em um sistema.

2 Desenvolvimento

2.1 AR 01

2.1.1 Passos

Aqui foi necessário criar um ambiente de trabalho semelhante ao registrado na figura abaixo. Foi necessário calcular também os valores teóricos RMS e de Potência dos sinais pedidos no roteiro do experimento.

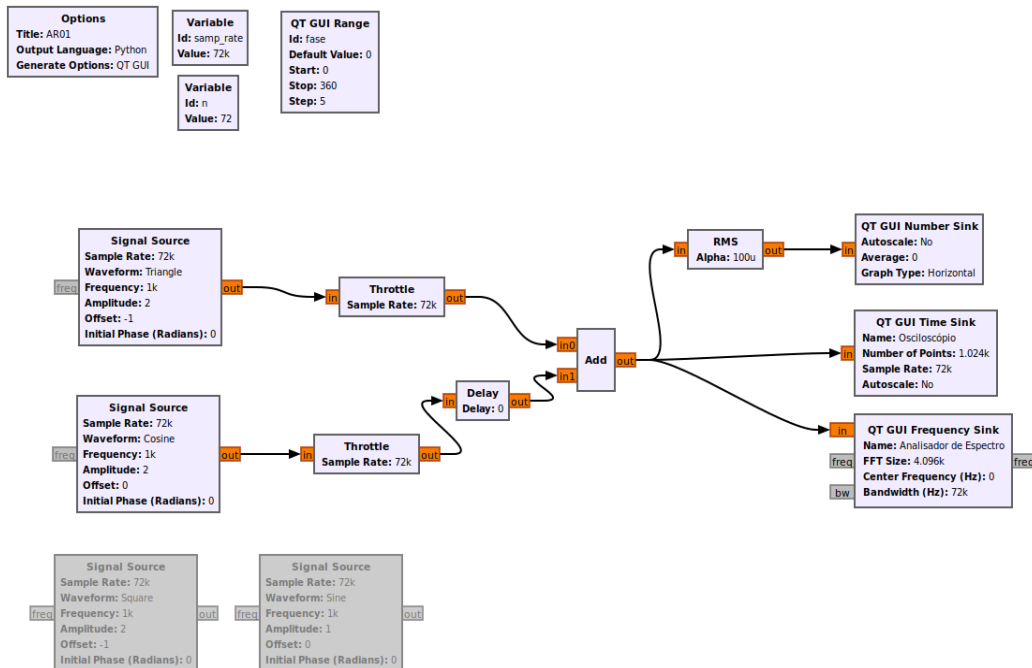


Figura 1: Área de Trabalho AR01

Para calcular estes valores teóricos no domínio do tempo foram usadas as relações entre os sinais e seus respectivos valores:

- Para ondas quadradas, em que A é sua amplitude em Volts:

$$V_{RMS} = A$$

- Para ondas senoidais, sendo seno ou cosseno, em que A é sua amplitude em Volts:

$$V_{RMS} = \frac{A}{\sqrt{2}}$$

- Para uma onda triangular, em que A é a amplitude do sinal em Volts:

$$V_{RMS} = \frac{A}{\sqrt{3}}$$

- Todas as fórmulas acima dependem da fórmula:

$$V_{RMS} = \sqrt{\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} |v(t)|^2 dt}$$

- Para calcular a Potência dos sinais, foi utilizado a relação entre o valor RMS e a potência do sinal:

$$P_v = V_{RMS}^2$$

- Vale citar que para o sinal (5) foi utilizado uma identidade trigonométrica para soma de senos e cossenos em que a amplitude em que precisamos pra calcular o V_{RMS} é descrita por C :

$$a \cos(x) + b \sin(x) = C \cos(x + \theta)$$

$$C = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$V_{RMS} = \frac{C}{\sqrt{2}}$$

- Outro passo importante para a atividade é entender que a amplitude e *offset* da onda quadrada e da onda triangular tem de ser respectivamente 2V e -1V, para que o $V_{MAX} = -V_{MIN} = 1$ como pedido no roteiro, assim as fontes têm de ser configuradas com esses parâmetros.

- Para calcular os valores RMS e Potência do sinal (6) foram desenvolvidas as equações abaixo, em que os cálculos não estão totalmente apresentados pois ficaram bem grandes:

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T_0} \int_{T_0} |v(t)|^2 dt}$$

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T_0} \left(\int_0^{0,0005} (1 + 2 \cos(2000\pi t))^2 dt + \int_{0,0005}^{0,001} (-1 + 2 \cos(2000\pi t))^2 dt \right)}$$

$$V_{RMS} = \sqrt{3} = 1,7320$$

$$P_v = 3W$$

- Para calcular o valor RMS do sinal 7 foi usado a definição da função triangular citada abaixo, definida para um período $T_0 = 0,001s$, por isso a frequência dará. Após achar a equação da função triangular usada no experimento, somou-se com a cossenóide e foi possível encontrar o devido valor RMS e Potência do sinal 7.

$$\Delta(t) = \begin{cases} 1 + 4000t, & 0 > t > -0,0005 \\ 1 - 4000t, & 0 < t < 0,0005 \end{cases}$$

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T_0} \int_{T_0} |v(t)|^2 dt}$$

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T_0} \left(\int_{-0,0005}^0 (1 + 4000t + 2 \cos(2000\pi t))^2 dt + \int_0^{0,0005} (1 - 4000t + 2 \cos(2000\pi t))^2 dt \right)}$$

$$V_{RMS} = \sqrt{1000 \cdot \left(\frac{2}{125\pi^2} + \frac{14}{6000} \right)}$$

$$V_{RMS} = 1,9885$$

$$P_v = 3,9544$$

- Abaixo estão todas as áreas de trabalho relativas ao AR01 e o diagrama de blocos que foi realizado para verificação do valor RMS e Potência para cada sinal:

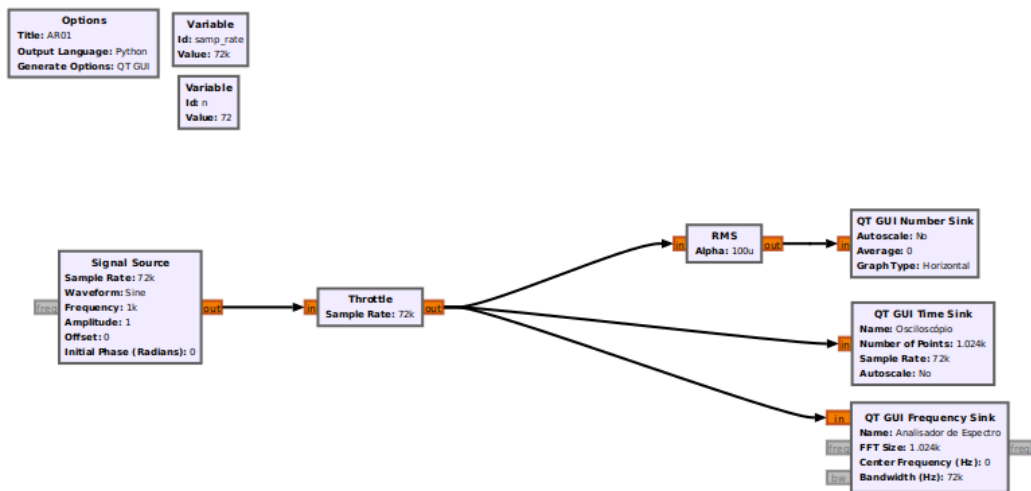


Figura 2: Sinal 1

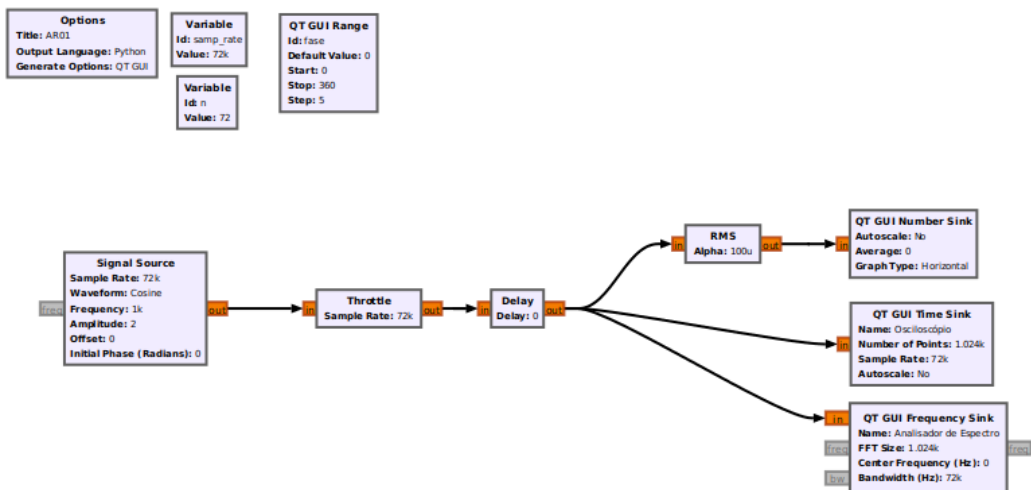


Figura 3: Sinal 2

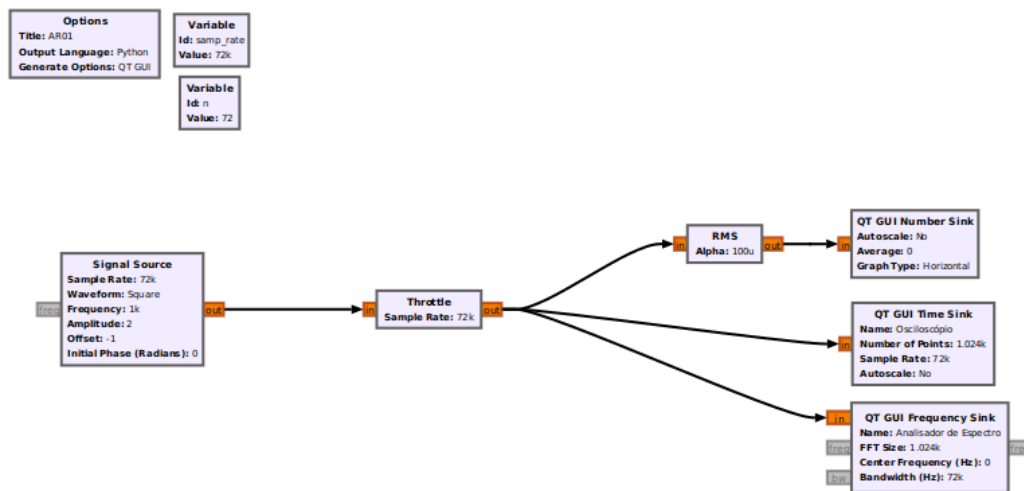


Figura 4: Sinal 3

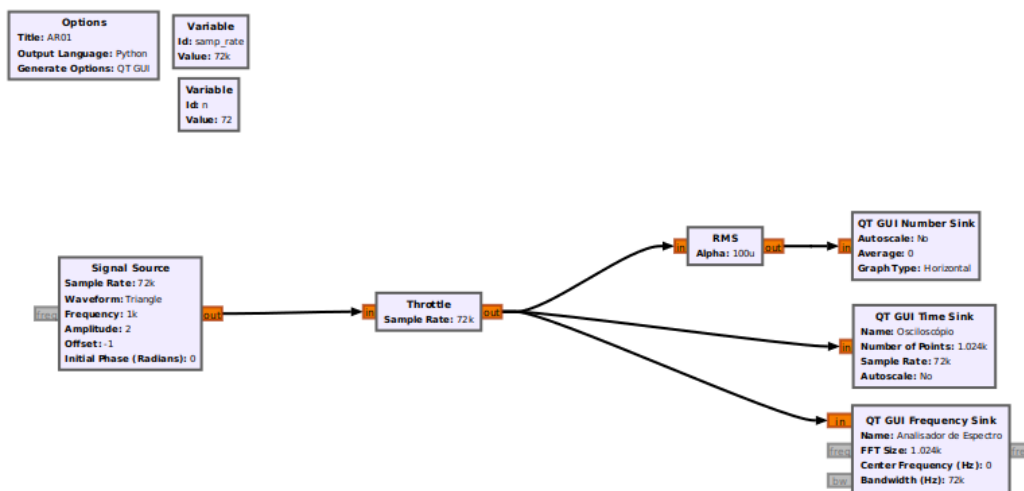


Figura 5: Sinal 4

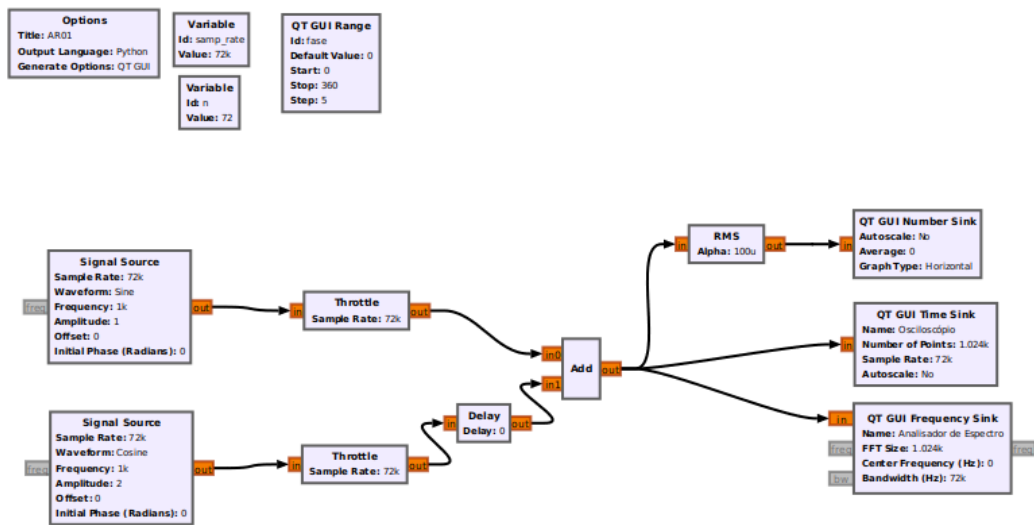


Figura 6: Sinal 5

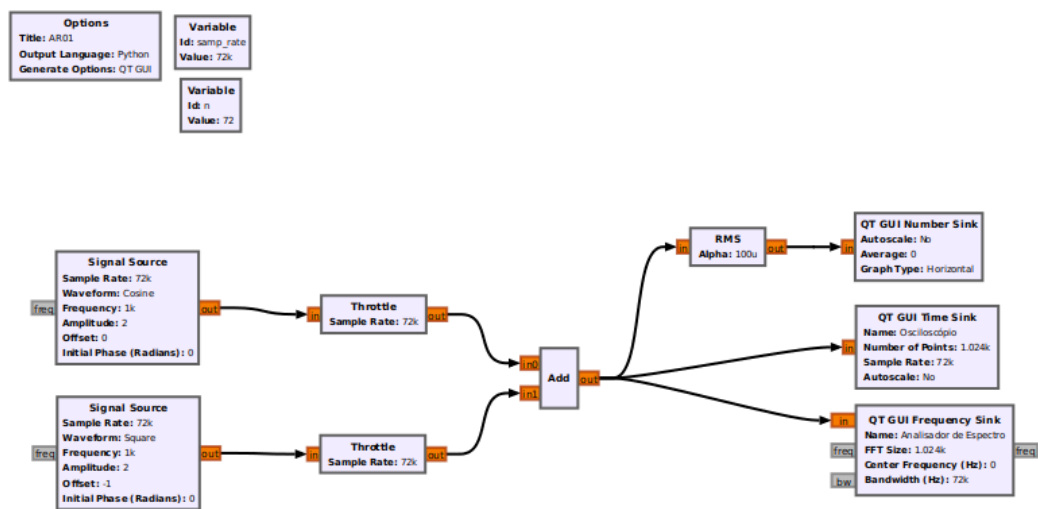


Figura 7: Sinal 6

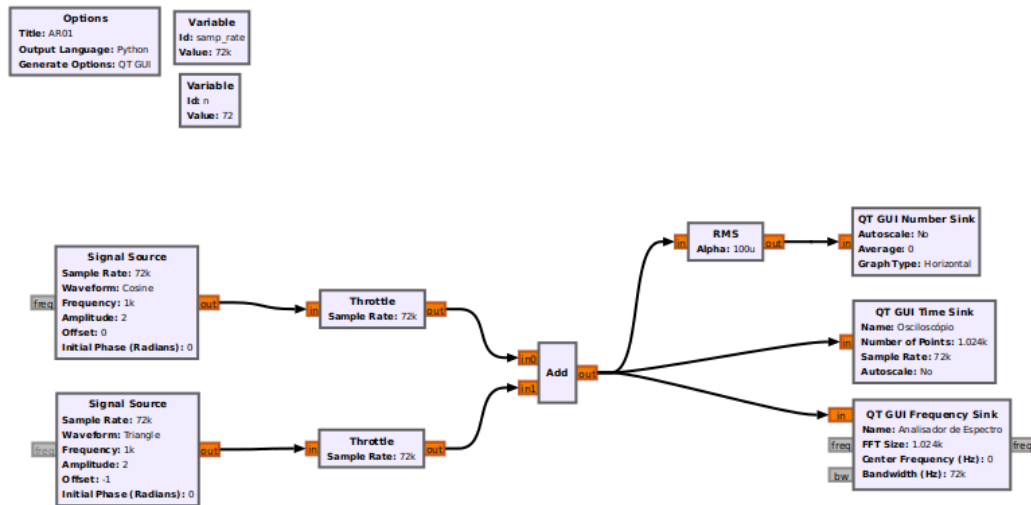


Figura 8: Sinal 7

- Para a segunda tabela, o analisador de RMS foi bastante observado, para que, com a mudança na fase fosse possível observar enquanto este sinal estava aumentando até chegar ao seu valor máximo, assim também a potência será máxima, pois é uma função quadrática do RMS, neste instante a fase e o valor RMS foram anotados na tabela. Também dessa maneira o valor mínimo foi obtido, observando enquanto a fase era alterada para ver em que instante o RMS parava de diminuir, neste momento, o valor de fase e RMS também foram anotados, visto que, como uma função quadrática, a potência do sinal será mínima somente no instante em que o RMS foi mínimo. As medições podem ser vistas nas fotos abaixo, respectivas a cada sinal.

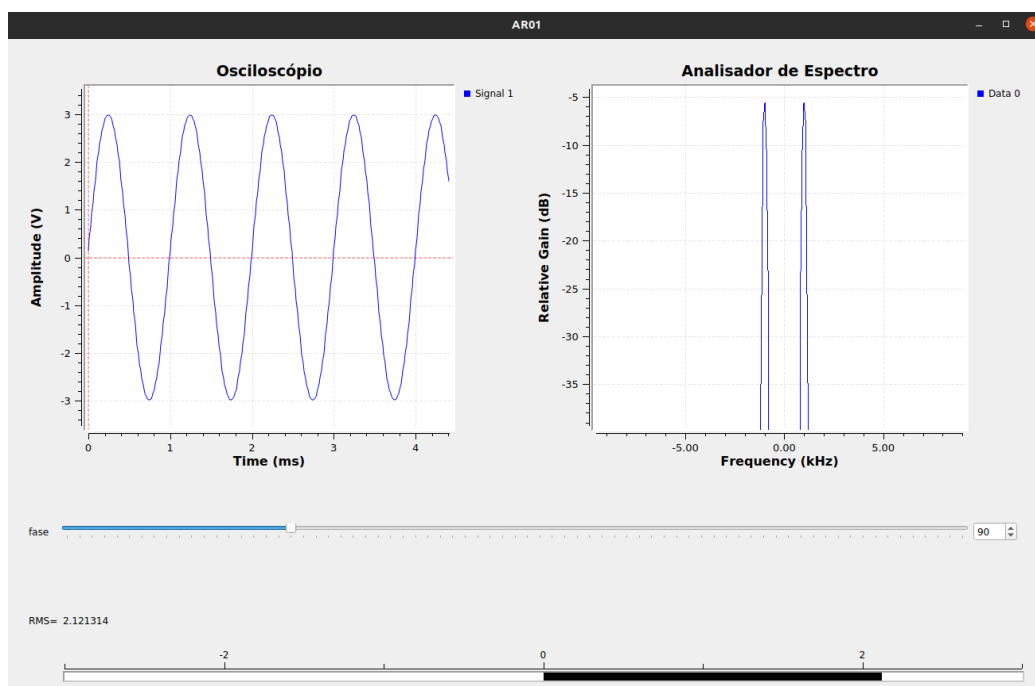


Figura 9: Sinal 5 Pmáx

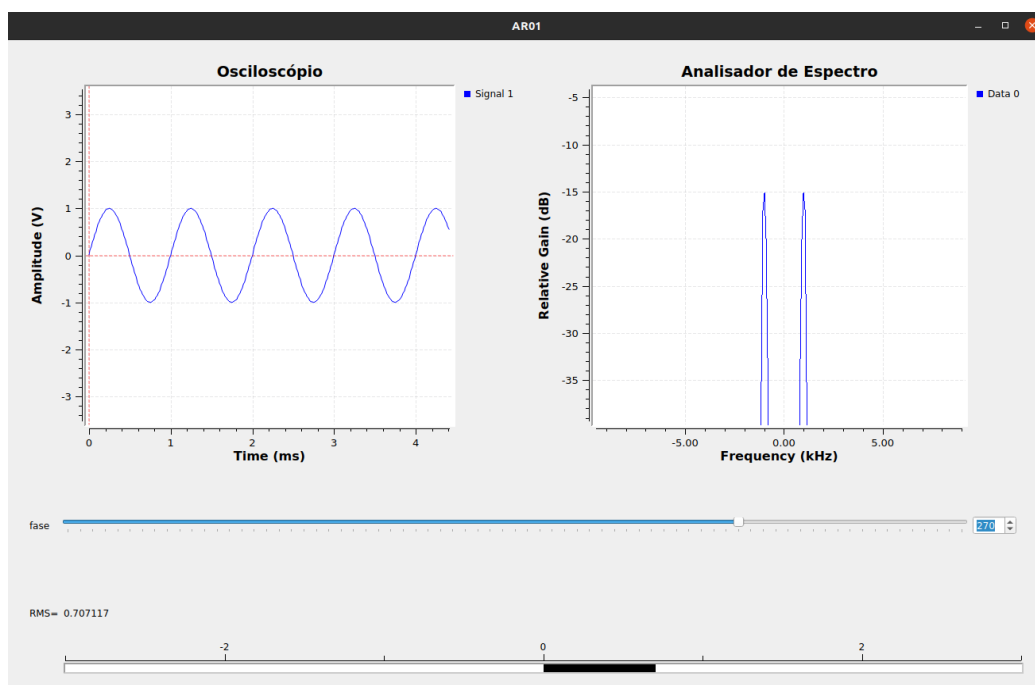


Figura 10: Sinal 5 Pmín

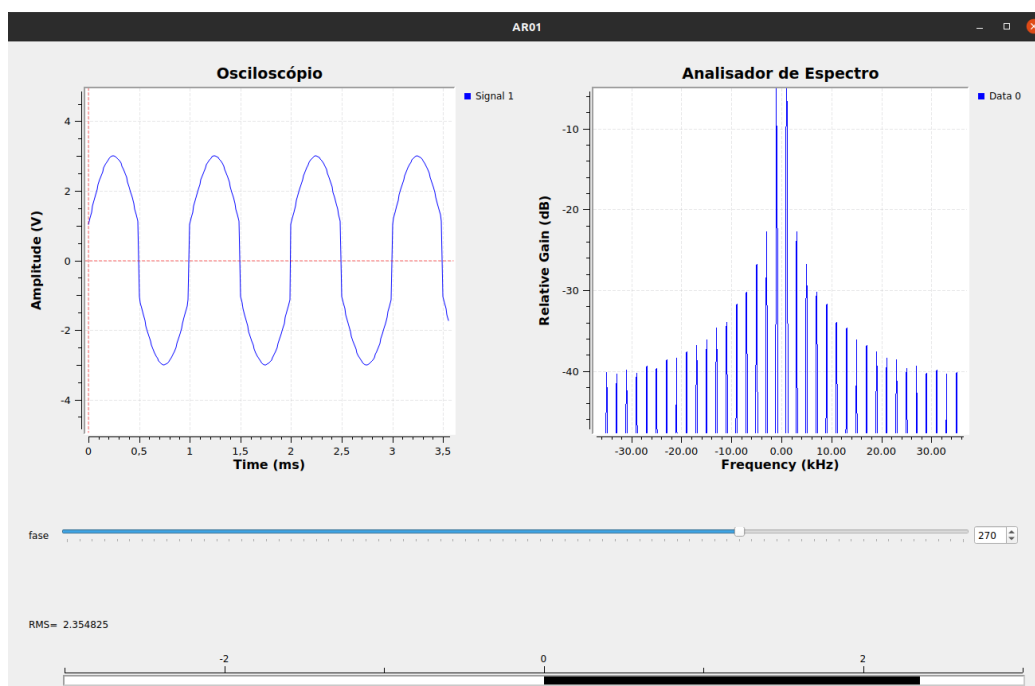


Figura 11: Sinal 6 Pmáx

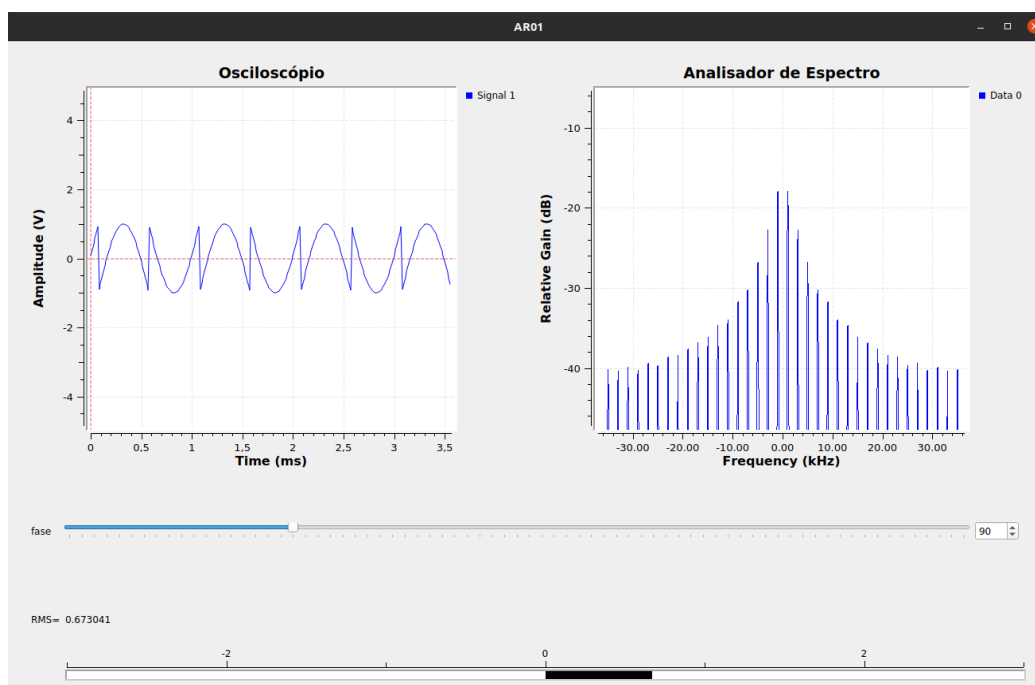


Figura 12: Sinal 6 Pmín

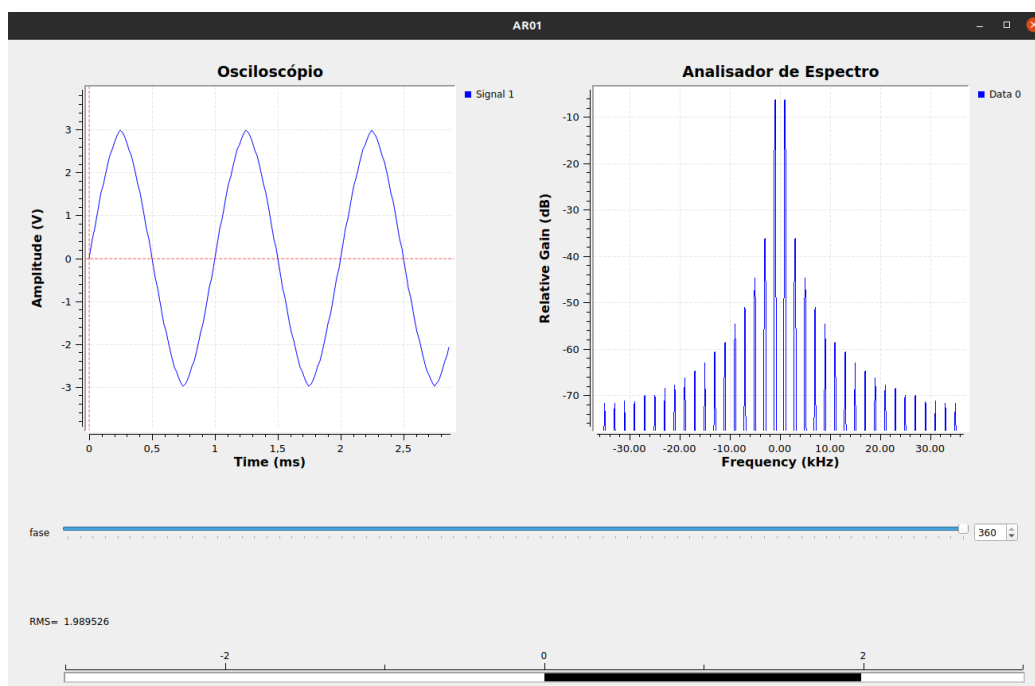


Figura 13: Sinal 7 Pmáx

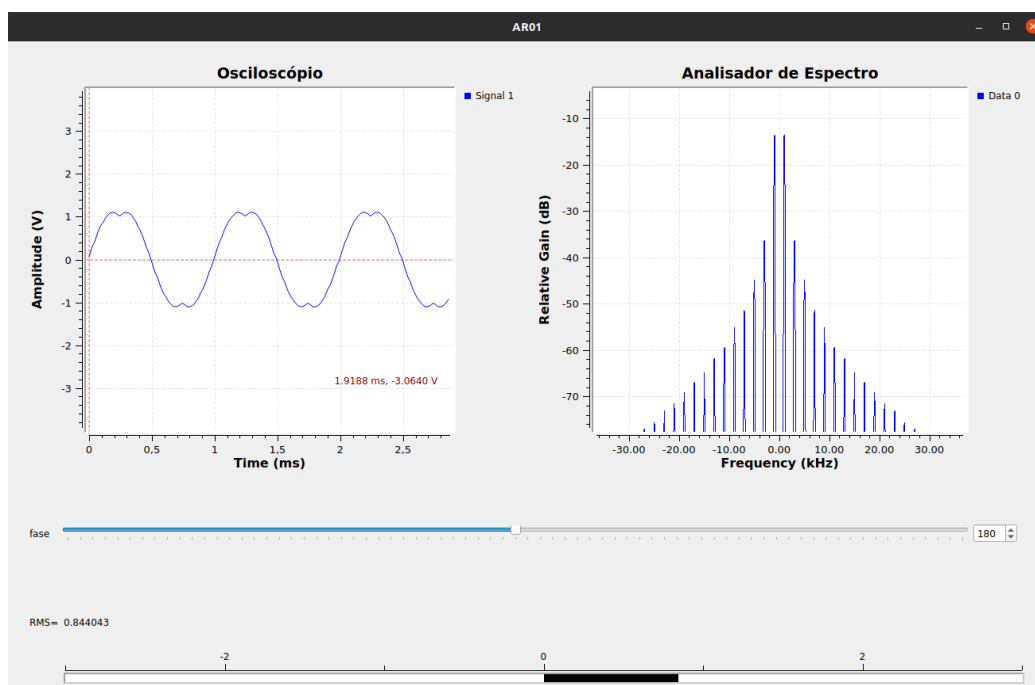


Figura 14: Sinal 7 Pmín

- Também para o preenchimento da segunda tabela, os valores de fase e potência para os sinais ortogonais foram usados os dados calculados da tabela 1, citados acima. Mais especificamente os valores de potência foram usados. Como estes dados foram usados está explicado na seção análise.

2.1.2 Análise

Sinal	Valor RMS		Potência				
	Calculado	Medido no domínio do tempo (RMS observado)	Calculado (W)	Domínio do tempo (RMS^2) $P_{s,t}$	Domínio da frequência (dBV^2)	Domínio da frequência (linear) $P_{s,f}$	$ P_{s,f} - P_{s,t} $
(1)	0,7071	0,7070	0,5	0,4998	-3,1897	0,4797	0,0201
(2)	1,4142	1,4140	2	1,9993	2,84022	1,9232	0,0761
(3)	1	1	1	1	- 0,440026	0,903644	0,096356
(4)	0,5773	0,5772	0,3333	0,3331	- 4,982344	0,317516	0,015584
(5)	1,5811	1,5808	2,5	2,4989	3,810248	2,4045	0,0944
(6)	1,7320	1,7461	3	3,0488	4,52614	2,835398	0,213402
(7)	1,9885	1,9880	3,9544	3,9521	5,637307	3,662104	0,2899

Tabela 1: Valor RMS e Potência

Na tabela 1 pode-se ver que os resultados medidos estão sempre perto dos valores calculados, o que mostra que realmente os sinais implementados e a forma como estão sendo observados estão corretas. Nos mostra na prática que a teoria estudada pode ser vista em sinais na vida real, implementando-se os sinais de maneira correta é possível obter uma boa aproximação dos valores vistos em teoria.

Pudemos observar também como a amplitude do sinal, bem como a composição dele altera de diversas maneiras suas formas, como observado nos sinais 6 e 7 principalmente, mas também foi observado no sinal 5, apesar deste também ser uma Senóide, as suas composições de amplitude e fase foram alteradas. E como consequência, alterando sua amplitude, tem influência em seu valor RMS e sua potência, e estas são muito diferentes se comparadas aos sinais que originaram estas formas.

Bom, como uma análise do experimento, aconteceram dificuldades para calcular a potência no domínio da frequência, pois os valores dados pelo

analisador de espectro são dados em decibéis(dB). Para que a potência fosse calculada corretamente é preciso colocar o janelamento em "None" e anotar estes valores das componentes de frequência. Dessa maneira, após isso, basta usar um conversor de dB para W e após obter a potência, multiplicar por 2 para abarcar o espectro bilateral. É importante citar que para os sinais 3,4,6 e 7 tem muitas componentes de frequência, portanto, para calcular a potência nesse espectro foram consideradas somente até a 7^a harmônica para facilitar os cálculos.

Sinal	Potência Máxima		Potência Mínima		Ortogonalidade	
	$\theta(rad)$	$P_{MAX}(W)$	$\theta(rad)$	$P_{MIN}(W)$	$\theta(rad)$	$P_S(W)$
(5)	$\pi/2$	4,4999	$3\pi/2$	0,4999	0	2,5
(6)	$3\pi/2$	5,5450	$\pi/2$	0,4529	0	3
(7)	0	3,9581	π	0,7123	$\pi/2$	2,3333

Tabela 2: Potência Máxima, Mínima e Ortogonalidade

Na tabela acima, podemos observar como a fase altera no comportamento do sinal resultante da adição de sinais. Isto porque a depender do ângulo, podem ser observadas tanto a potência mínima, quando os sinais irão se subtrair, e assim, sua amplitude também será reduzida, então, seu valor RMS e Potência serão mínimos.

Já quando os sinais estiverem em concordância em fase, estes irão se somar de maneira que a amplitude resultante da soma será máxima, e em consequência, podem ser observados os valores RMS e potência máximas.

Por vez, quando as componentes dos sinais que estão sendo somados forem ortogonais, o produto interno da sua soma será a soma das suas potências, visto na definição do roteiro. Assim, para obter esses valores, foi somado os valores de Potência da tabela 1 para os respectivos sinais (Ex: $P_{sinal5} = P_{sinal1} + P_{sinal2}$), então, tira-se a raiz disso para achar o valor RMS. Após isso, pode-se procurar este valor alterando a fase do sinal 5, e quando encontramos este valor RMS, quer dizer que os sinais estão ortogonais entre si e a Potência total é a potência dos sinais somadas. Nesse momento a fase foi anotada.

2.2 AR 02

2.2.1 Passos

- Os filtros implementados, bem como o gerador de ruído branco, de amplitude 1Vrms, usado para gerar um sinal em todas as frequências. As áreas de trabalho para os três filtros estão descritos nas figuras abaixo.

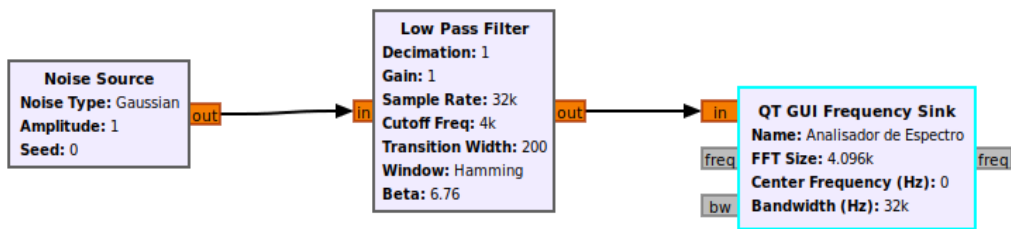


Figura 15: Passa-Baixas

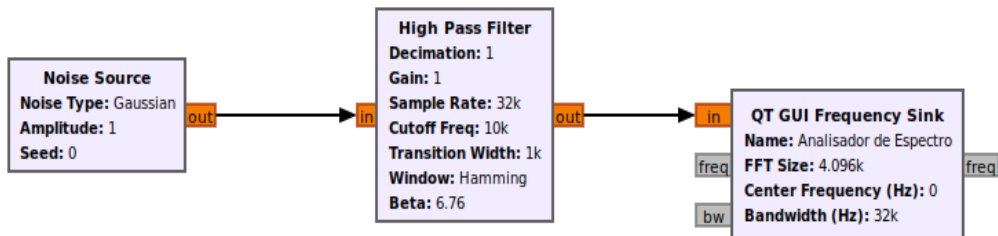


Figura 16: Passa-Altas

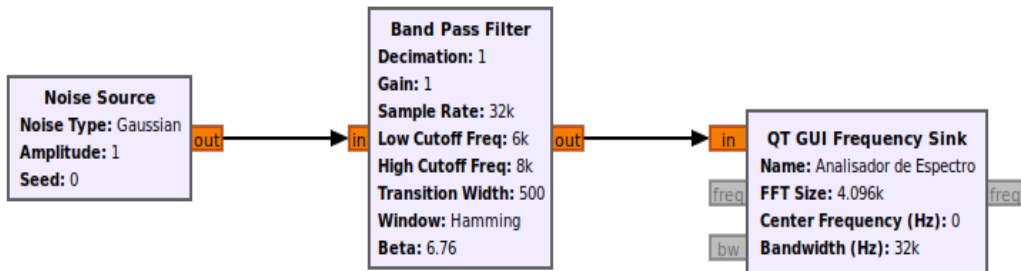


Figura 17: Passa-Faixas

- O analisador de espectro foi configurado segundo a foto abaixo. Importante citar que ele foi configurado para mostrar apenas o espectro unilateral, e sua FFT ser realizada por padrão em 4096 pontos, o janelamento foi alterado manualmente quando executar o gráfico para "None". Os pontos alterados estão marcados de vermelho.

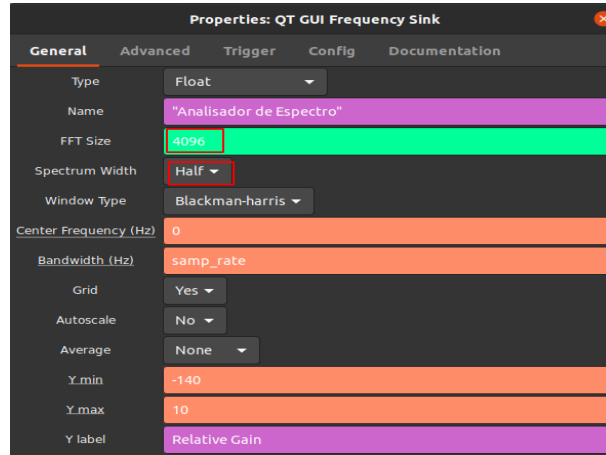


Figura 18: Analisador de Espectro

- Após analisar todos os sinais, como o roteiro pede. As telas do GRC do espectro de frequência dos filtros está na seção de análise. Neste pontos, mudamos um pouco a área de trabalho dos filtros para calcular o valor RMS dos sinais filtrados. Abaixo a foto mostra como os diagramas de blocos foram montados para cada filtro.

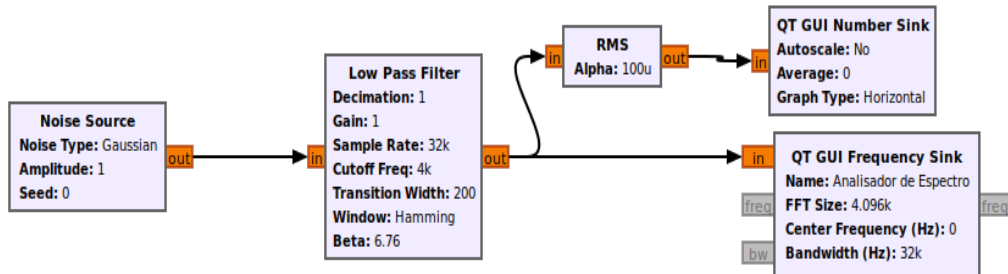


Figura 19: Valor RMS

- Aqui então conseguiu-se calcular a potência pedida na tabela 3, pela relação entre o valor RMS e a potência:

$$P_v = V_{RMS}^2$$

2.2.2 Análise

Sinal	Pot.P (linear), V^2	Larg. de Banda B(Hz)	Razão P/B (V^2/Hz)
$n(t)$	1,0033	16000	0,0000627
$n_{LP}(t)$	0,2511	4000	0,0000627
$n_{HP}(t)$	0,3703	6000	0,0000617
$n_{BP}(t)$	0,1132	2000	0,0000566

Tabela 3: Potência sinais filtrados

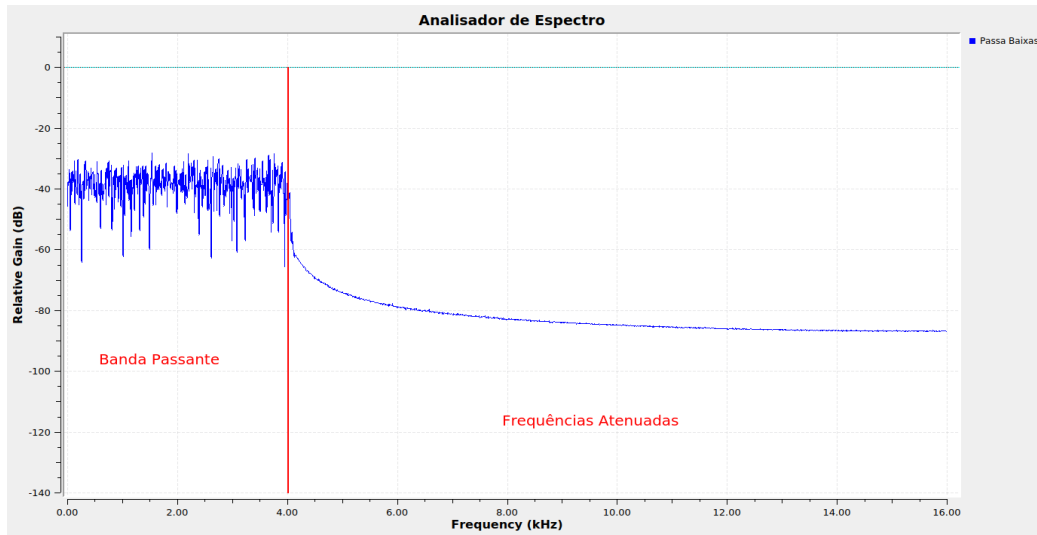


Figura 20: Passa-baixas

Na foto acima é possível ver que a saída do filtro passa baixas era como o esperado, e como a análise feita na foto, é possível ver claramente os pontos de frequências atenuadas, e a banda passante deste filtro. O que não fica muito visível a olho nu neste filtro é a sua faixa de transição, pois como ela é relativamente pequena comparada a escala do gráfico fica difícil separá-la. Porém se olharmos bem, antes da banda passante existe alguns sinais que estão na faixa de transição, nem com um ganho alto, nem com o ganho baixo, o que possivelmente indica que estão na faixa de transição.

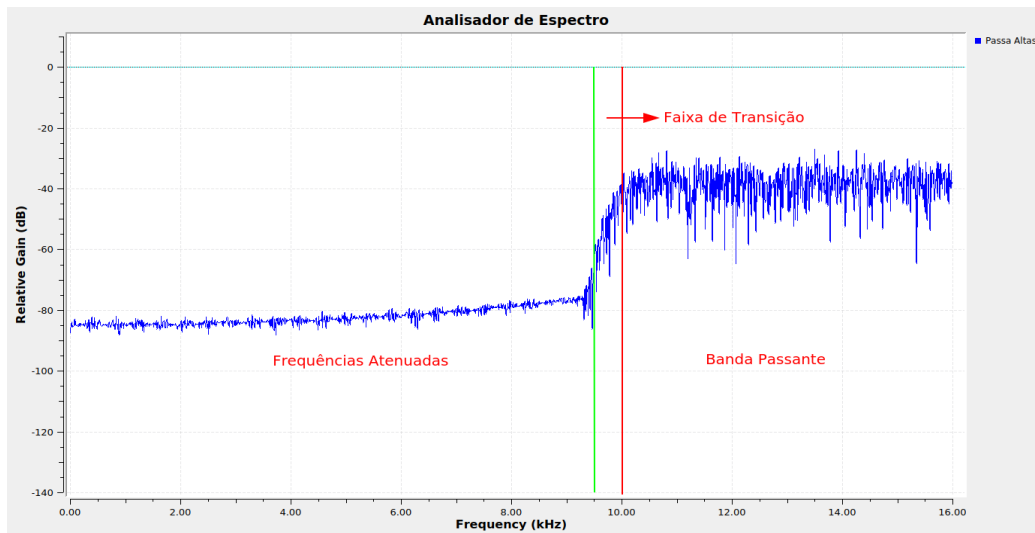


Figura 21: Passa-altas

Na figura acima foi possível estudar o filtro passa-altas e ver que realmente o projeto implementado deste filtro está dentro do esperado. Podemos separar claramente a banda passante das frequências atenuadas e ver que o ganho é relativamente diferente para elas. Porém, neste filtro também é possível ver mais claramente a sua faixa de transição, pois esta é maior que a do exemplo do filtro passa-baixas, e assim, foi possível observar quando o filtro estava saindo das frequências atenuadas e indo para a banda passante.

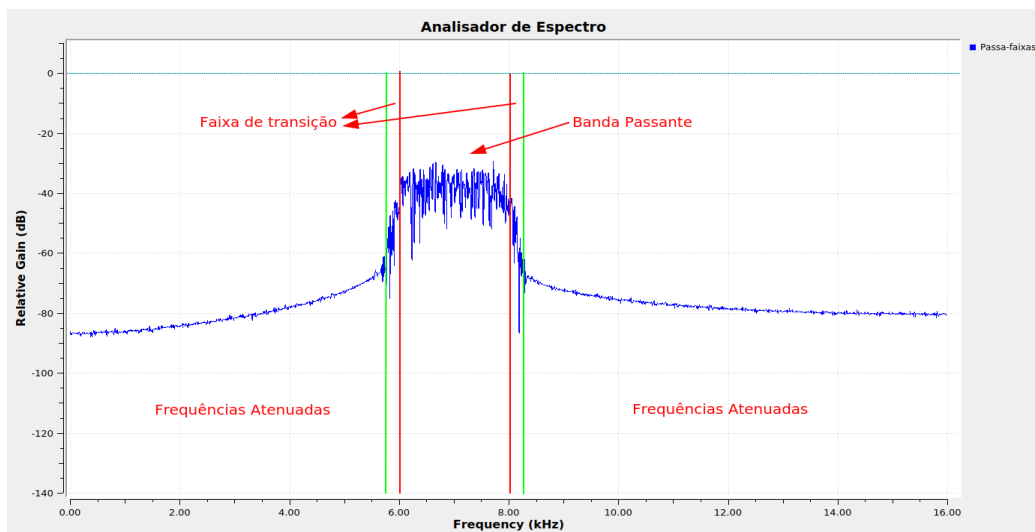


Figura 22: Passa-faixas

No filtro passa faixas acima também é possível observar que o filtro está como o esperado para o projeto de um filtro, ele consegue separa a faixa de banda passante das frequências atenuadas, com ganho diferentes e também é possível observar que a faixa de transição não foi muito grande, porém, ainda pode ser notada, como as barras verdes da figura podem nos mostrar.

2.3 AR 03

2.3.1 Passos

- O primeiro passo aqui é colocar os componentes necessários para conseguir fazer a medição nos pontos pedidos. Para isso, a Área de Trabalho foi configurada como a figura abaixo.

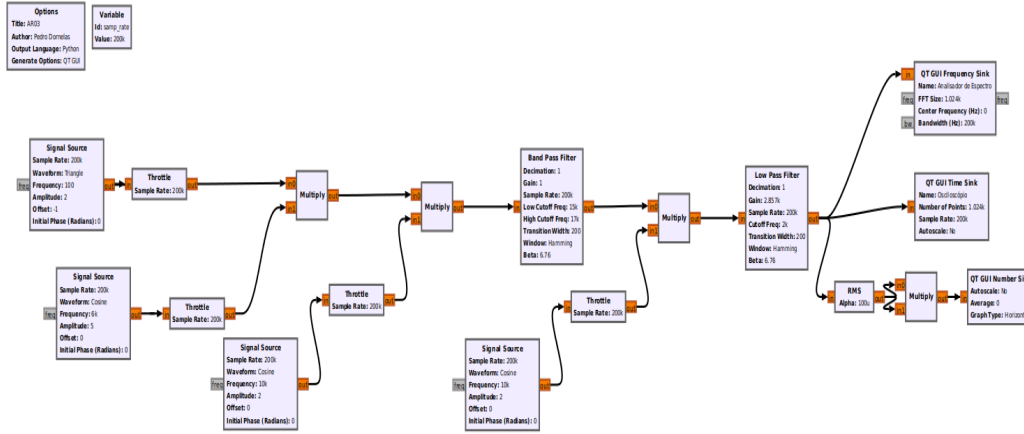


Figura 23: Área de Trabalho

- Após montar essa área de trabalho, o osciloscópio, o analisador de espectro e o medidor de potência foram trocados de lugar para que pudessem ser feitas as medições nos pontos pedidos(A,B,C,D,E,F,G,H,I).
- Após todas as medições nos pontos, foi necessário ajustar o ganho do passa-baixas para ficar com a mesma amplitude do sinal visto em A, com $V_{MAX} = 1V$. A amplitude do sinal vista em I é de 4V aproximadamente, então:

$$G_{LP} = \frac{1}{4} = 0,25$$

Este foi o ganho necessário para deixar a amplitude do sinal em I aproximadamente em 1V.

2.3.2 Análise

Aqui será analisado ponto a ponto para ver quais as alterações foram feitas no sinal buscando identificar qual a função dos misturadores em cada da cadeia de comunicação.

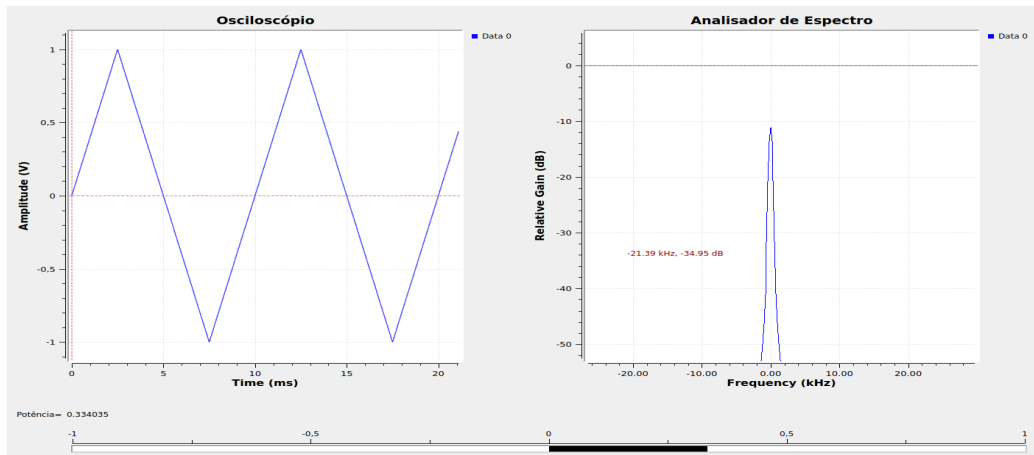


Figura 24: Ponto A

A foto acima identifica a onda triangular que será modulada na cadeia. Aqui vemos no espectro de frequência que a frequência parece estar em 0Hz, porém é devido a escala adotada que não consegue-se ver a frequência correta de 100Hz, visto que a escala está em 1 unidade 1kHz. Acreditamos que aqui fosse possível observar um pulso em +100Hz e um em -100Hz, porém, não é possível ver estes dois, talvez porque se misturam no gráfico por estarem próximos.

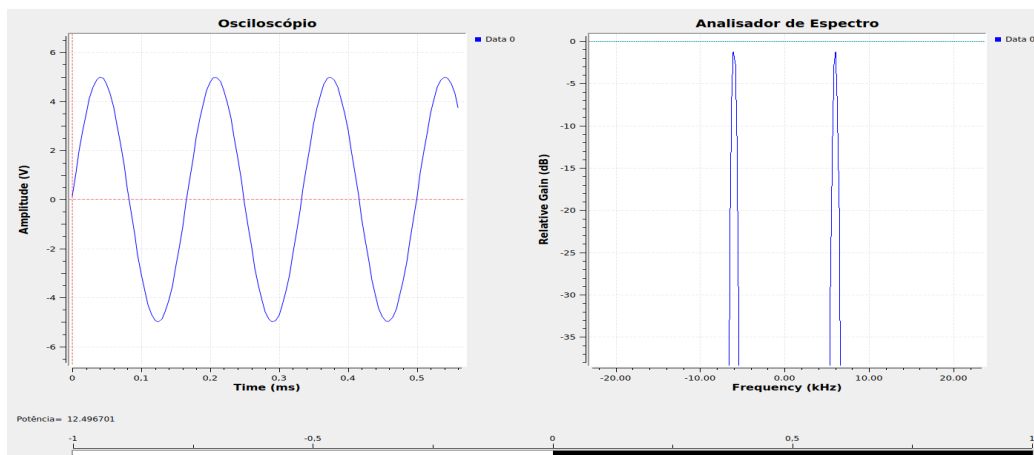


Figura 25: Ponto B

No ponto B acima, vemos a cossenóide em que será usada no primeiro misturador, ou seja, ela será usada para que a frequência da onda triangular fique próximo a frequência desta cossenóide. Esta cossenóide tem a frequência de 6kHz.

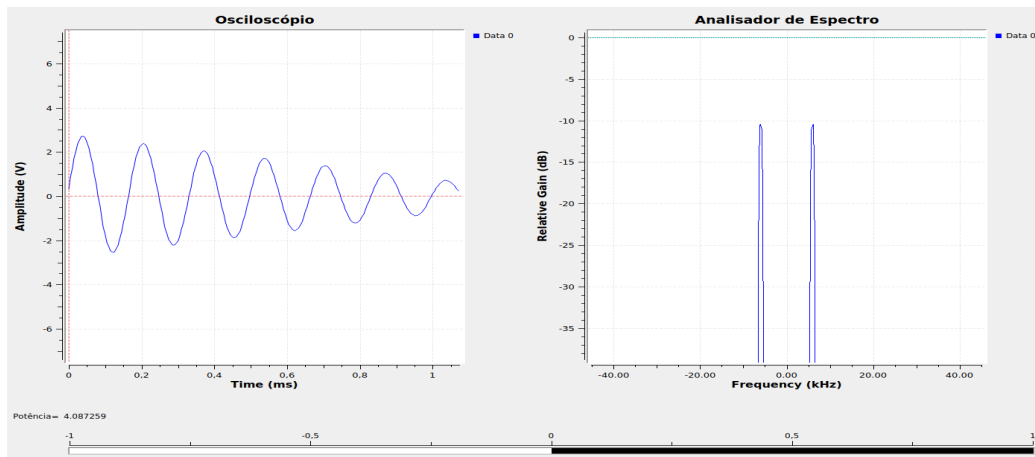


Figura 26: Ponto C

No ponto C, podemos ver que o primeiro misturador funcionou perfeitamente, pois na análise do seu espectro de frequência é possível identificar que a frequência do sinal está próxima de 6kHz, o que realmente era o esperado, pois a cossenóide observada no ponto B era exatamente uma cossenóide de 6kHz. Porém, aqui deveríamos ver 2 pulsos, unilateralmente falando, pois cada mistura gera componentes de 2 frequências diferentes, pela escala novamente não conseguimos ver estes pulsos, um em 5,9kHz e outro em 6,1kHz.

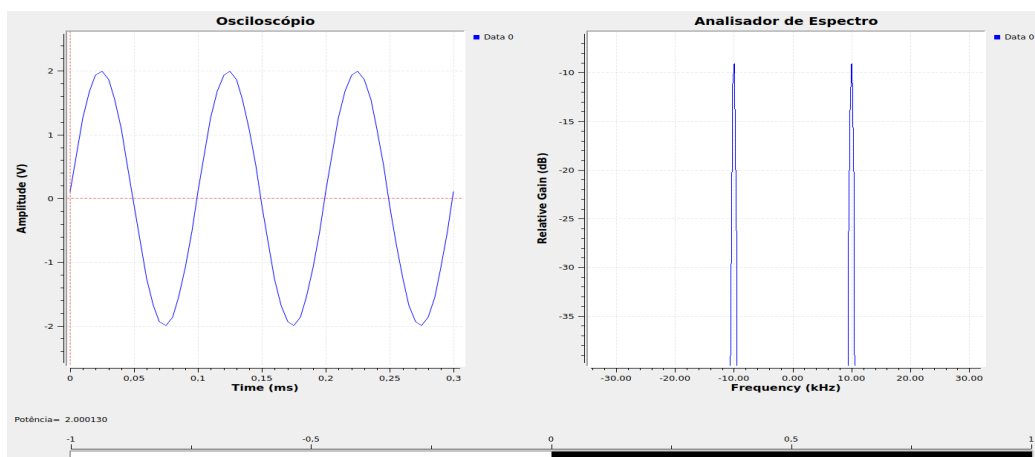


Figura 27: Ponto D

No ponto D pode se ver outra cossenóide, em que o sinal será novamente modulado para ter uma frequência próxima, no entorno dessa cossenóide, isso no próximo ponto de análise. Pode-se observar que ela tem a frequência de 10kHz.

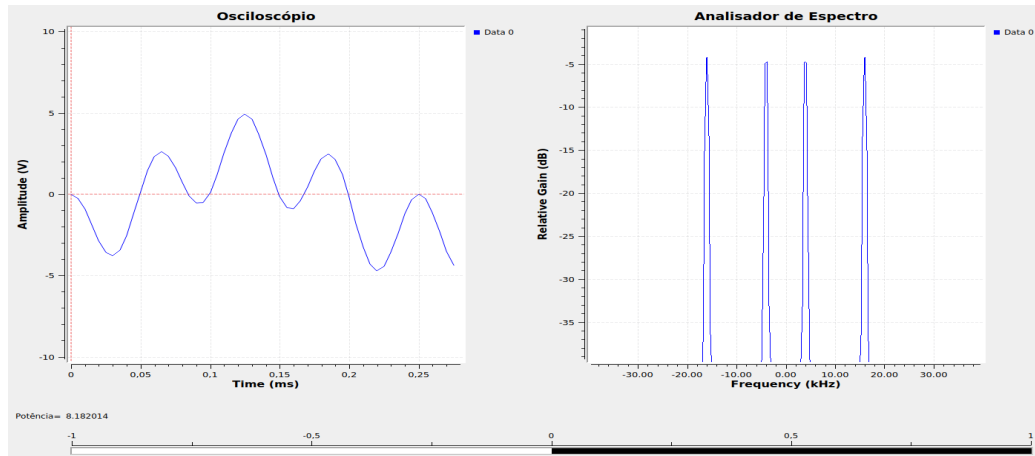


Figura 28: Ponto E

Neste ponto, outro misturador alterou o sinal, e assim, é possível observar 2 pulsos, pensando no espectro unilateral, próximo as frequências que esperávamos, um em 16kHz($10+6\text{kHz}$) aproximadamente, e outro em 4kHz($10-6\text{kHz}$) aproximadamente. O que realmente era para acontecer, pois isso vêm da relação apresentada quando dois sinais são multiplicados. Nos misturadores também há a mudança de amplitude dos sinais, porém, a imagem foi ampliada para que pudéssemos ver as senóides que se formavam, mas lembre-se que este sinal também foi alterado, tanto no ponto C quando no ponto E e suas amplitudes estão variando conforme as amplitudes das ondas que estão misturadas.

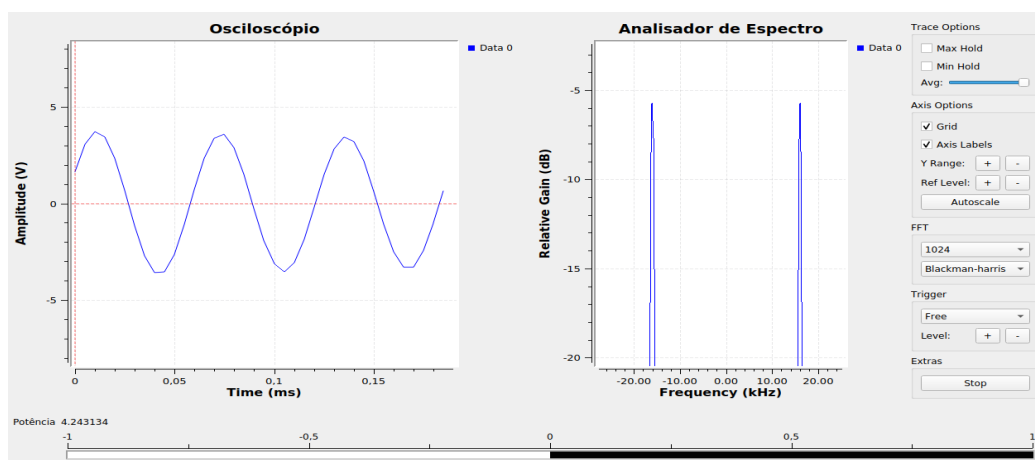


Figura 29: Ponto F

Neste ponto F, o sinal que havia sido misturado no ponto anterior agora foi filtrado, passando por um passa-faixas de banda 15kHz a 17kHz. E como era de se esperar do item anterior, a frequência que estava próxima de 16kHz é a única que vai passar por esse filtro, de forma que o sinal de frequência mais baixa será filtrado e não será possível observar neste ponto. Dessa maneira ocorre, e na foto acima podemos confirmar que a frequência próxima a 16kHz é a única a ser observada no analisador de espectro, bem como a forma de onda deste sinal de frequência relativamente alta.

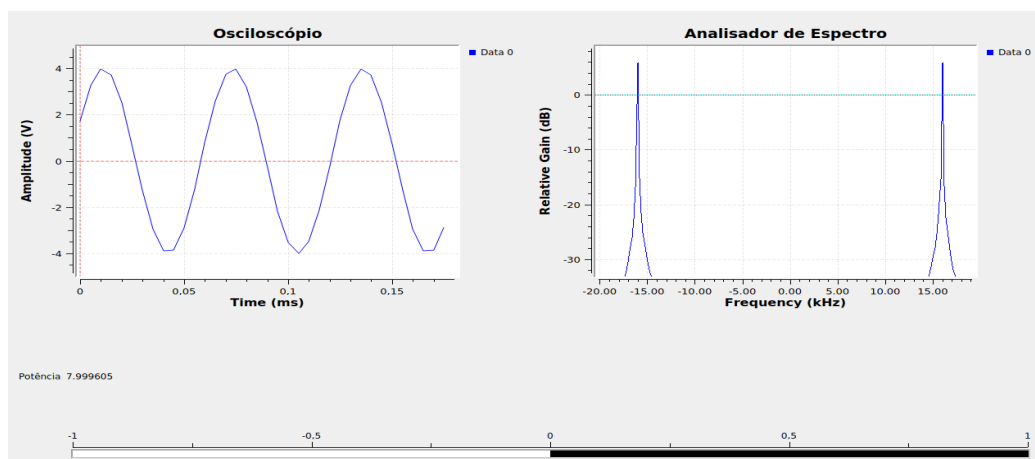


Figura 30: Ponto G

Na figura acima e seu respectivo ponto note que temos uma senóide de frequência 16kHz, o que era o esperado. Este sinal por sua vez será misturado no próximo ponto.

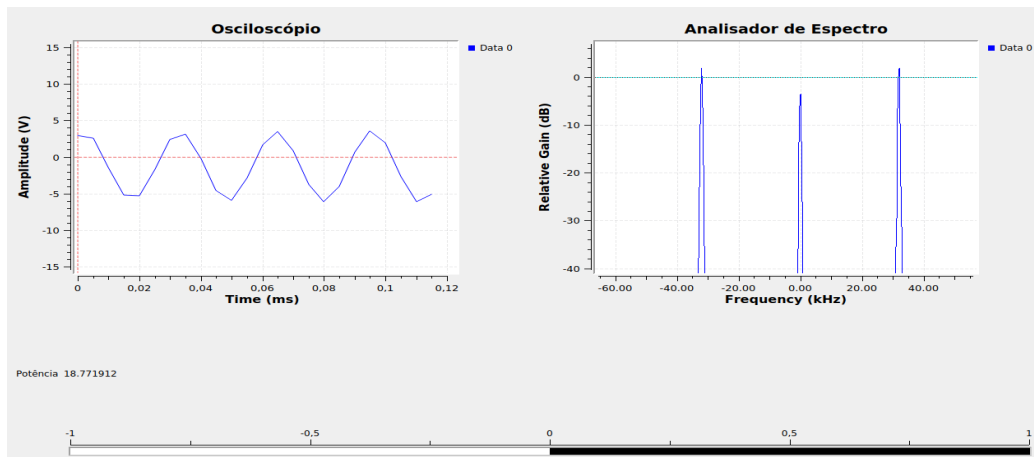


Figura 31: Ponto H - Frequência Alta

Neste ponto, vemos que houve a mistura dos sinais, de uma senóide de 16kHz com o sinal que chegou do filtro passa bandas, analisado no ponto F. Então aqui, podemos ver a formação no espectro de frequência de dois pulsos, unilateralmente falando, um em aproximadamente 0kHz(16kHz-16kHz) e outro em aproximadamente em 32kHz(16kHz+16kHz). Bom, estou dizendo aproximadamente, porém, lembrando o ponto A, frequência original da onda era de 100Hz, portanto, esta frequência não se perdeu, e ainda está sendo carregada, de forma que provavelmente, esta é a frequência em que o pulso está, em 100Hz e em 31,9kHz. Neste ponto também a amplitude do sinal fica variando bastante, e se diminuirmos o zoom do gráfico veremos algo semelhante a a foto abaixo, que também é possível observar que existe uma frequência mais baixa que a frequência observada na Figura 31.

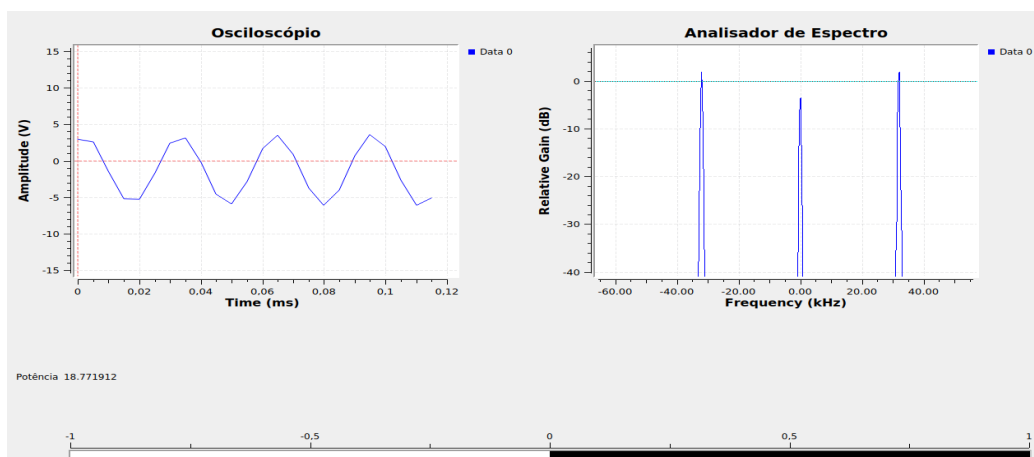


Figura 32: Ponto H - Frequência baixa

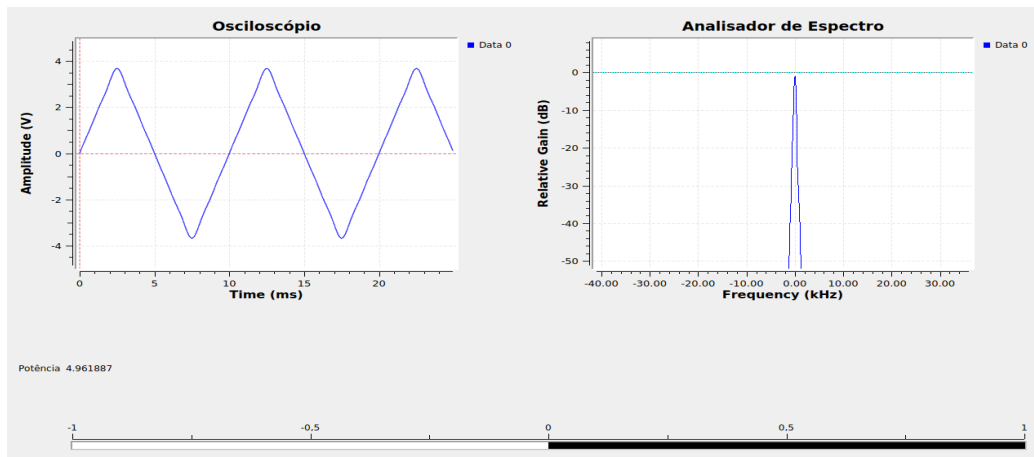


Figura 33: Ponto I

Este ponto foi o ponto crucial em que somente a frequência baixa do sinal visto em H passou pelo filtro passa baixa, e o que foi observado é que o sinal se parece bastante com o sinal original. Aqui também foi observado que a amplitude estava maior que do sinal original, isto pelas diversas alterações no caminho, porém, se ajustarmos o ganho do filtro e compararmos com o sinal original veremos bastante semelhanças. Bom, outro ponto a se notar é que a amplitude estava variando com o tempo, ela começou em 4V, porém, foi diminuindo até chegar muito próximo de 0 e voltou a aumentar até chegar em 4V novamente. Não foi possível identificar o que acarretou nisso pelo conhecimento técnico, mas foi uma observação importante.

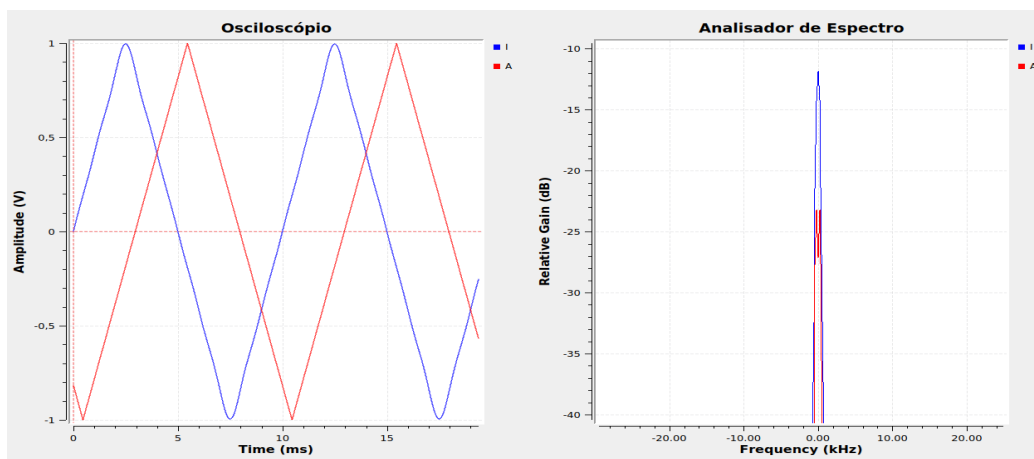


Figura 34: Sinal no ponto A e ponto I

Como esperado, após ajustar o ganho do filtro passa-baixas é possível ver

um sinal muito parecido com o sinal original, observemos pelas cores, o sinal azul é o resultante no ponto I e o sinal vermelho é no ponto A, bem como podemos observar que no espectro de frequência as componentes estão na mesma frequência ou muito próximas. Então podemos observar que houve uma modulação do sinal até chegar no ponto F, após isso, houve a tentativa de recuperar este sinal, por meio do misturador do ponto H e o filtro passa baixas para demodular o sinal. Uma diferença que podemos notar desse processo é que o sinal demodulado ficou alterado em fase, porém, alterando sua fase provavelmente é possível resgatar o sinal original quase por completo.

3 Conclusão

Pode-se concluir do experimento que foi possível fazer operações com sinais, aprender fazer manipulações de sinais usando filtros pré construídos no software. Assim, foi possível também utilizar de misturadores de sinais, uma técnica usada na modulação e demodulação de sinais. A função deste dispositivo pôde ser explorada muito bem, de uma maneira que elevamos e reduzimos as frequência dos sinais.