



## Laboratório de Princípios de Comunicações

Período 2023.1

### Guia de Experimentos 3

Tema(s): Modulação e Desmodulação em Amplitude

Professor(es): Edson P. da Silva e Luciana Veloso

---

## 1 Introdução

O presente guia descreve atividades experimentais a serem realizadas na disciplina Laboratório de Princípios de Comunicações do curso de graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG.

Os experimentos propostos deverão ser realizados no Laboratório de Princípios de Comunicações – LPC, localizado na Central de Laboratórios da Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da UFCG, empregando:

- Computador com software GNU Radio Companion – GRC (<http://gnuradio.org/>) instalado;
- Módulo USRP (do inglês *Universal Software Radio Peripheral*) para transmissão e recepção de sinais numa abordagem conhecida como Rádio Definido por Software – RDS.

Na seção 3 deste guia, é sugerido um conjunto de atividades de preparação que devem ser concluídas antes da aula em que as práticas experimentais serão conduzidas. A realização prévia da preparação é fundamental para o bom desenvolvimento das práticas, tanto em termos de tempo quanto de aprendizado. Portanto, **cada discente só poderá realizar os experimentos em laboratório após apresentarem ao professor responsável, no início da aula, os resultados da preparação proposta.**

A aula terá duração de duas horas e cada discente deverá entregar ao seu término, por escrito, respostas às questões referentes aos experimentos realizados propostas na Folha de Respostas (parte final do guia).

## 2 Objetivos

As práticas experimentais aqui propostas têm por objetivos:

- Simular e analisar a modulação em amplitude;
- Simular e analisar o desmodulador síncrono;
- Simular e analisar o desmodulador por detecção de envoltória;
- Investigar o conceito de um receptor super-heteródino.

## 3 Preparação

### 3.1 Estudo

Revise e pesquise sobre os conceitos:

- AM-DSB-SC e AM-DSB;
- Efeitos da incoerência de fase e de frequência na desmodulação síncrona no AM-DSB-SC e AM-DSB;
- Misturador (*mixer*) e receptor super-heteródino.

### 3.2 Problemas

Os problemas propostos a seguir devem ser obrigatoriamente resolvidos e colocados na plataforma Moodle para se ter acesso ao relatório do experimento. Os resultados destes problemas serão necessários para a realização dos experimentos propostos.

1. Considere um tom modulante de frequência  $f_m = 200$  Hz e uma portadora de frequência  $f_c = 5$  kHz. Esboce os gráficos, no tempo e na frequência, do sinal modulante  $m(t) = \cos 2\pi f_m t$  e do sinal modulado  $\varphi_{DSB}(t) = A \cos 2\pi f_c t + m(t) \cos 2\pi f_c t$  considerando índices de modulação  $\mu = 0.5, 1.0, 2.0$  e  $\infty$ .
2. Descreva um diagrama de blocos de um receptor síncrono (coerente) para  $\varphi_{DSB}(t)$ .
3. Descreva um diagrama de blocos de um detector de envoltória para  $\varphi_{DSB}(t)$ .
4. O AM comercial usa um receptor super-heteródino com detecção de envoltória. Nele, o sinal recebido é deslocado para uma frequência intermediária  $f_i = 455$  kHz. Quais as frequências do oscilador local do misturador para  $f_c = 1050, 1160$  e  $1310$  kHz para deslocar o sinal para a frequência intermediária  $f_i$ ?

## 4 Experimentos

A seguir são descritas práticas experimentais a serem realizadas pelo aluno em aula de laboratório.

### 4.1 Experimento 1 – Modulação em Amplitude

O objetivo deste experimento é analisar as modulações em amplitude DSB e DSB-SC.

1. Execute o software GRC e abra o arquivo **Labo3-1.grc**. A Figura 1 ilustra o diagrama deste experimento. Ele consiste na simulação do sinal AM-DSB  $\varphi_{DSB}(t)$ , dado por

$$\varphi_{DSB}(t) = [A + m(t)] \cos(2\pi f_c t), \quad (1)$$

em que  $m(t)$  é o sinal modulante (com nível DC zero),  $A$  corresponde a um nível DC adicionado a  $m(t)$  e  $f_c$  é a frequência da portadora em Hz. Nesta simulação, utilizaremos como sinal modulante  $m(t)$  uma sinal senoidal, o qual facilmente podemos reproduzir e variar sua amplitude e frequência. Os parâmetros  $A$  e  $f_c$  podem ser alterados por suas respectivas réguas deslizantes disponíveis acima dos gráficos durante a execução do diagrama;

2. Execute o diagrama e responda às questões propostas na Folha de Respostas.

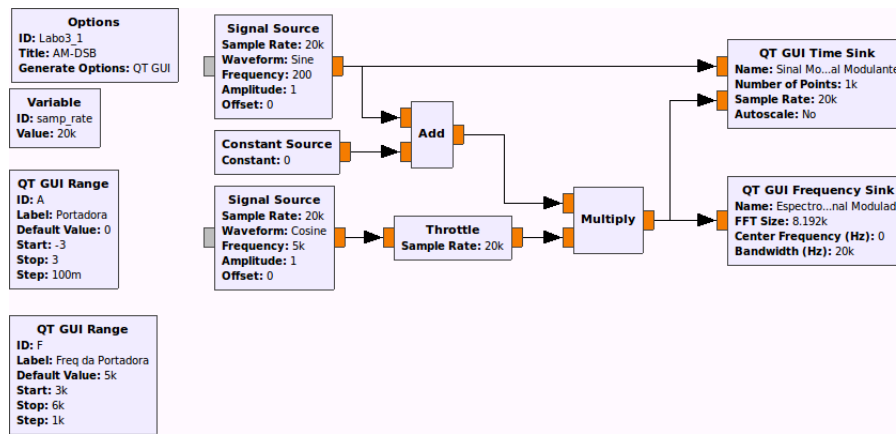


Figura 1: Diagrama de blocos para análise da modulação em amplitude.

## 4.2 Experimento 2 – Desmodulação Síncrona

O objetivo deste experimento é observar o efeito do desvio de fase e do desvio de frequência num receptor coerente.

1. Abra o arquivo **Labo3-2.grc** disponibilizado pelo professor. A Figura 2 ilustra o diagrama deste experimento. Ele consiste do modulador visto no Experimento 1 e de um desmodulador síncrono (coerente), ou seja, o oscilador do receptor tem a mesma frequência e a mesma fase da portadora gerada no transmissor;

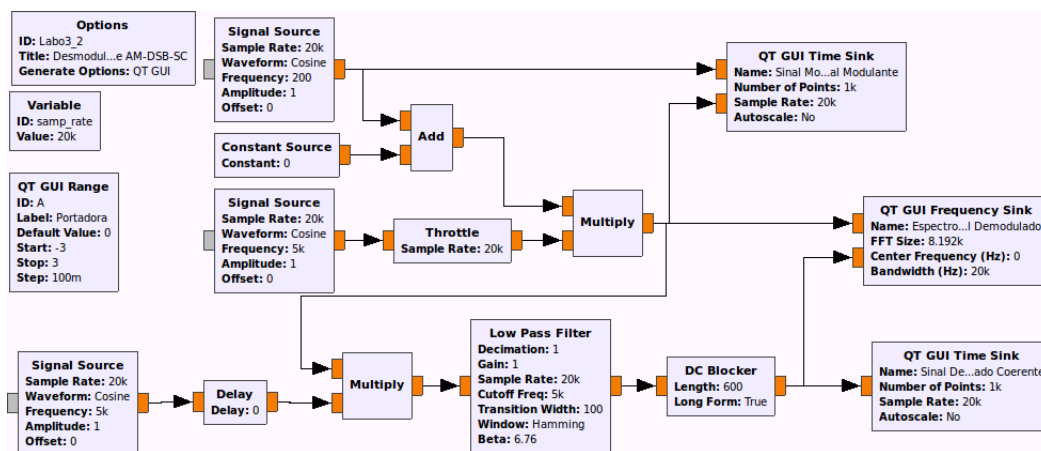


Figura 2: Diagrama de blocos de um desmodulador síncrono.

2. Execute o experimento e observe que o sinal desmodulado tem metade da amplitude do sinal transmitido.
3. Responda as questões propostas na Folha de Respostas.

## 4.3 Experimento 3 – Desmodulação por Detecção da Envoltória

O objetivo deste experimento é observar o efeito da sobremodulação ( $\mu > 1$ ) na desmodulação por detecção da envoltória (não coerente).

1. Abra o arquivo **Labo3-3.grc** disponibilizado pelo professor. A Figura 3 ilustra o diagrama deste experimento. Ele consiste do modulador visto no Experimento 1 e de um

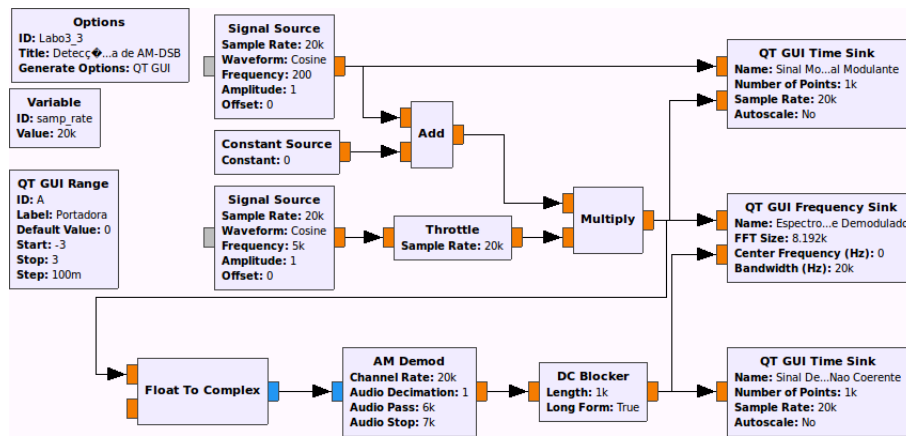


Figura 3: Diagrama de blocos de um desmodulador por detecção da envoltória.

desmodulador por detecção da envoltória (não coerente, ou seja, não existe um oscilador local no receptor), bloco **AM Demod**;

2. Responda as questões propostas na Folha de Respostas.

#### 4.4 Experimento 4 – Receptor Super-heteródino

O objetivo deste experimento é mostrar o conceito de um receptor super-heteródino.

1. Abra o arquivo **Labo3-4.grc** disponibilizado pelo professor. A Figura 4 ilustra o diagrama deste experimento. Ele consiste de um modulador AM-DSB para um sinal de voz gravado. No esquema, é possível alterar as frequências da portadora e de sintonia do receptor bem como a amplitude da portadora. A frequência intermediária é  $f_i = 25$  kHz, de modo que toda vez que uma frequência é sintonizada o sinal é transladado para  $f_i$ .

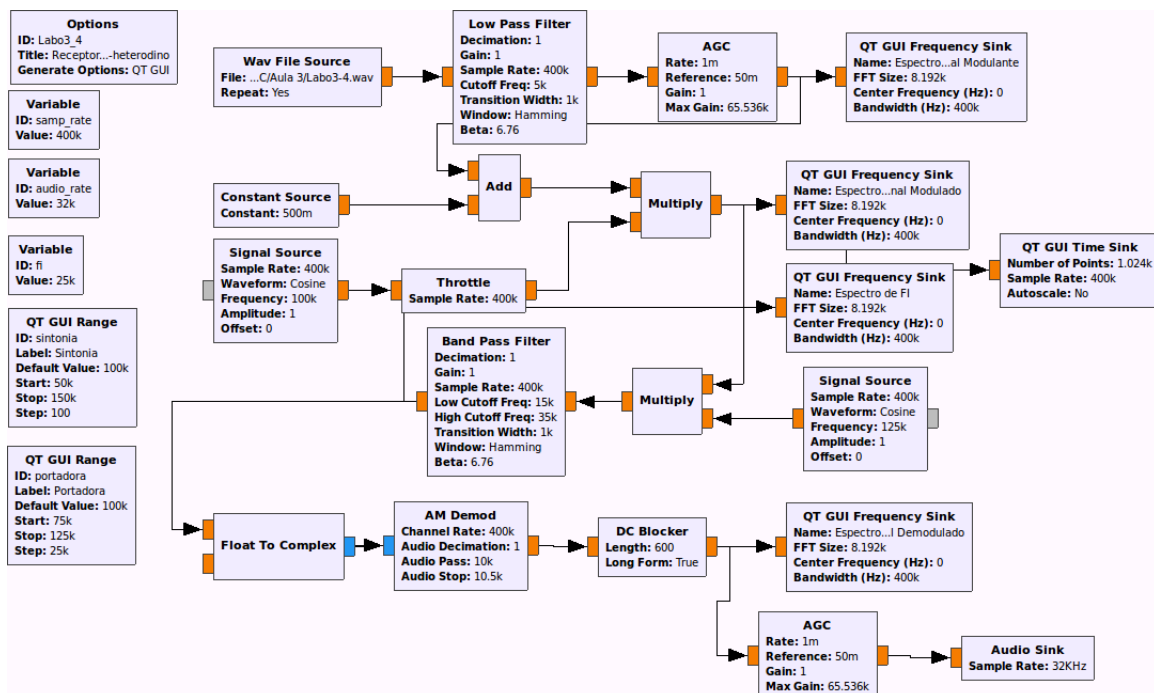


Figura 4: Diagrama de blocos de um receptor super-heteródino.

2. Execute o experimento e responda as questões propostas na Folha de Respostas.





## Laboratório de Princípios de Comunicações

Período 2023.1

### Guia de Experimentos 3 – Folha de Respostas

Tema(s): Modulação e Desmodulação em Amplitude

Professor(es): Edson P. da Silva e Luciana Veloso

Aluno: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_\_

## Experimento 1 – Modulação em Amplitude

1. Para  $A = 0$  temos um transmissor AM-DSB-SC, esboce o gráfico no domínio da frequência obtido e identifique o sinal modulante e o sinal modulado com suas bandas laterais. Apresente todos os valores pertinentes, frequências e amplitudes, com suas unidades no gráfico. Qual o índice de modulação nesse caso?

2. Qual a largura de faixa do sinal modulante e do sinal modulado?  
\_\_\_\_\_
3. Alterar a frequência da portadora, para 3 kHz por exemplo, altera a largura de faixa do sinal modulado? Altera a sua potência? Justifique.  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
4. Faça  $A = 1$  (deslizando a respectiva régua) observe no espectro de frequência a introdução do espectro da portadora em relação a questão anterior, quando  $A = 0$ . Qual o novo índice de modulação? Observe que a envoltória do sinal modulado segue o sinal mensagem e que a introdução da portadora não alterou a largura de faixa do sinal modulado.  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
5. Quanto de potência a mais temos que ter no transmissor para transmitir o sinal modulado

com  $A = 1$  em relação ao sinal modulado com  $A = 0$ ?

---

---

6. Coloque uma onda quadrada como mensagem e ajuste o parâmetro **Offset** para  $-0.5$ . Execute experimento para  $A = 0$  e verifique que não há mais diferenças nas amplitudes do sinal. Explique onde está a diferença entre os níveis da onda quadrada? Esse fato não ocorre para  $A \neq 0$ . Nota: Essa é uma modulação digital chamada de PSK (*Phase Shift Keing*).

---

---

## Experimento 2 – Desmodulação Síncrona

1. Altere o índice de modulação deslizando a régua da amplitude da portadora e observe que a desmodulação coerente desmodula o sinal modulado para qualquer valor do índice de modulação do transmissor. Por que?

---

---

2. Retire o filtro passa-baixas, refaça a conexão e explique sua utilidade observando os gráficos na frequência e no tempo

---

---

3. Retorne o filtro (use **Ctrl-Z**). Retire agora o bloqueador DC refaça as conexões e explique sua utilidade quando:

- (a) A amplitude da portadora, régua deslizante, for zero e
- (b) A amplitude da portadora, régua deslizante, for um.

---

---

---

---

4. Retorne o bloqueador DC. A fase do oscilador local no receptor pode ser alterada pelo bloco **Delay** que atrasa o sinal num tempo correspondente a um certo número de amostras. Cada amostra corresponde a um atraso de  $1/f_s = 1/25000 = 40 \mu s$ , em que  $f_s$  é a frequência de amostragem, ou a uma defasagem de  $\frac{f_{ol}}{f_s} \cdot 360^\circ = \frac{5000}{25000} \cdot 360^\circ = 72^\circ$  no oscilador local, em que  $f_{ol}$  é a frequência do oscilador local. Deslize a régua da fase para  $72^\circ$ . Houve distorção no sinal desmodulado em relação ao sinal mensagem? Explique.

---

---

5. Retorne a régua da fase para  $0^\circ$ . Altere o oscilador local do receptor deslizando a régua da frequência do receptor (Freq. receptor) para 5010 Hz e execute o experimento. Por que o

sinal desmodulado está distorcido em relação ao sinal mensagem? Seria aceitável 0,1 Hz de diferença (oscilador local em 5000,1 Hz)?

---

---

---

## Experimento 3 – Desmodulação por Detecção da Envoltória

1. Para amplitudes da portadora em 0.0, 0.5, 1.0 e 2.0 (use a régua deslizante para isso), observe os resultados (sinais desmodulados) no tempo e na frequência para cada valor. Quais resultados correspondem ao sinal modulante (mensagem)? Por que?

---

---

---

## Experimento 4 – Receptor Super-heteródino

1. Na prática é possível se estimar o índice de modulação pela observação da envoltória do sinal modulado. Considere  $S_{max}$  e  $S_{min}$  os valores máximo e mínimo da envoltória respectivamente, então

$$\mu \times 100\% = \frac{S_{max} - S_{min}}{S_{max} + S_{min}} \times 100\% \quad (2)$$

Estime o índice de modulação do sinal de voz modulado desse experimento. Para qual valor de amplitude teríamos um índice de modulação de aproximadamente 1? Altere o índice de modulação para infinito ( $A = 0$ ) e observe o que ocorre.

---

---

2. Coloque o transmissor AM (a frequência da portadora do transmissor) na frequência de 125 kHz. Sintonize na nova frequência, perceba que não precisa termos a frequência exata para que o sinal de voz seja capturado. Existe uma outra frequência de sintonia no receptor, além da de 125 kHz, em que o sinal é também desmodulado. A rádio em 125 kHz é uma rádio fantasma para essa frequência. Qual é essa frequência e por que isso ocorre?

---

---

---

---