



## Laboratório de Princípios de Comunicações

Período 2021.1e

### Guia de Experimentos 3

Tema(s): Modulação e Desmodulação em Amplitude

Professor(es): Bruno B. Albert e Edson P. da Silva

---

## 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, propõe-se um conjunto de atividades de preparação a serem desenvolvidas pelo aluno antes da aula em que serão realizadas as práticas experimentais. Sem a realização prévia destas atividades pelo aluno, as práticas experimentais propostas ficarão comprometidas, tanto no tempo necessário para sua realização quanto no aproveitamento pelo aluno. Por essa razão, **o aluno só poderá realizar os experimentos em laboratório se apresentar ao professor no início da aula os resultados da preparação proposta.**

A aula terá duração de duas horas e o aluno 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 apresentados por escrito ao professor antes do início das práticas de laboratório. 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?

## 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. Antes de iniciar as atividades com o GRC, crie uma pasta para guardar os arquivos de seus experimentos e copie nela os modelos de diagrama (arquivos .GRC) disponibilizados pelo professor para esta aula. **Não deixe de realizar isso, pois o computador deste laboratório não é para seu uso pessoal e os arquivos que você utilizará serão alterados por você durante o experimento;**
2. Execute o software GRC e abra o arquivo **Labo3-1.grc**. A Figura 1 ilustra o diagrama deste experimento. Ele consiste na simulação da equação

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

em que  $A$  e  $f_c$  podem ser alterados por suas respectivas réguas deslizantes disponíveis acima dos gráficos durante a execução do diagrama;

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

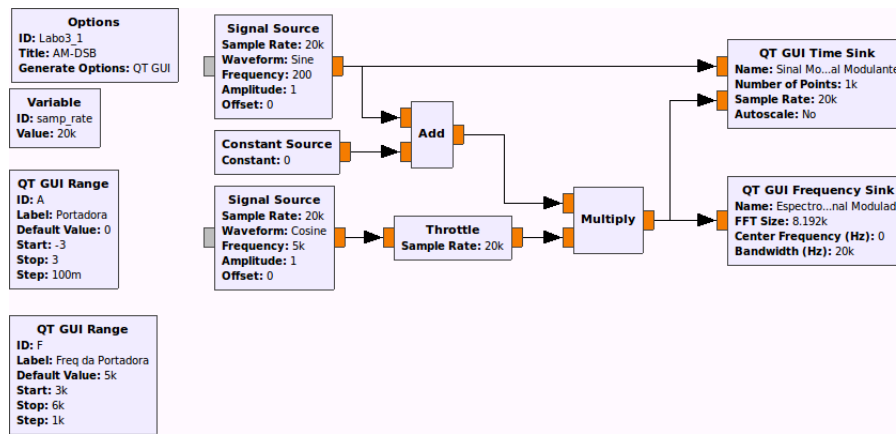


Figura 1: Diagrama de blocos para análise da modulação em amplitude.

## 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;

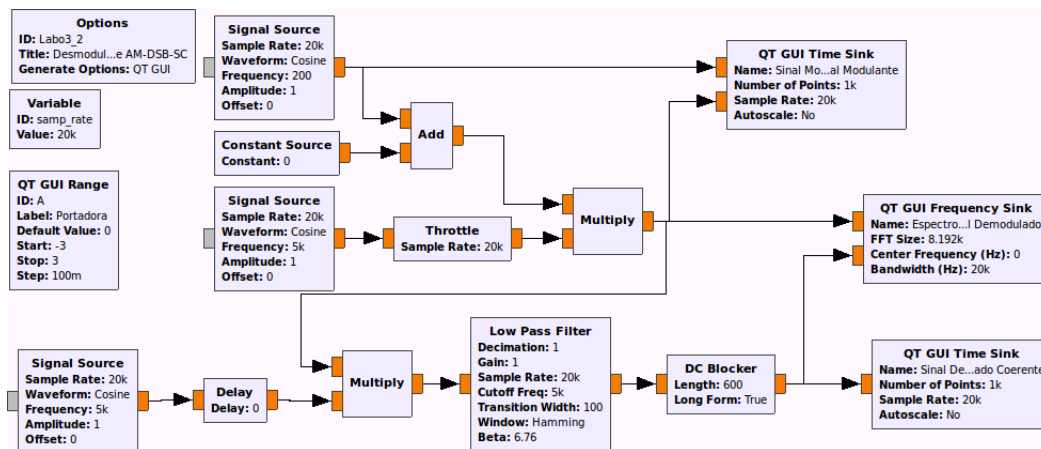


Figura 2: Diagrama de blocos de um desmodulador síncrono.

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

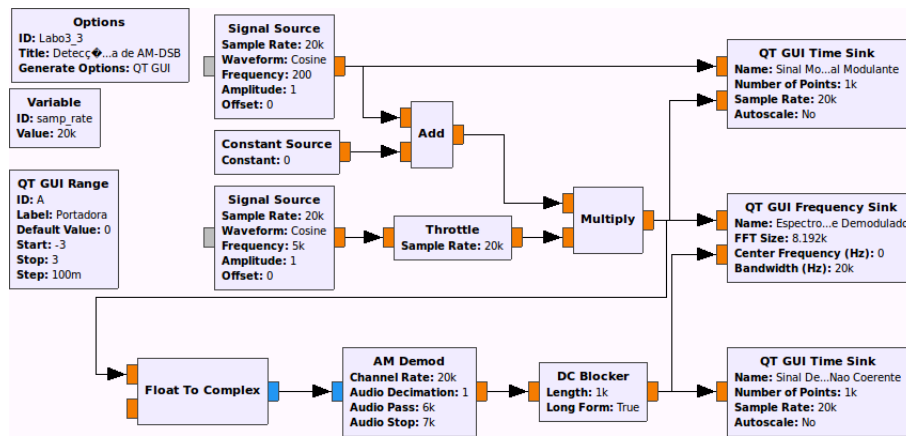


Figura 3: Diagrama de blocos de um desmodulador por detecção da envoltória.

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  $f_i$ .

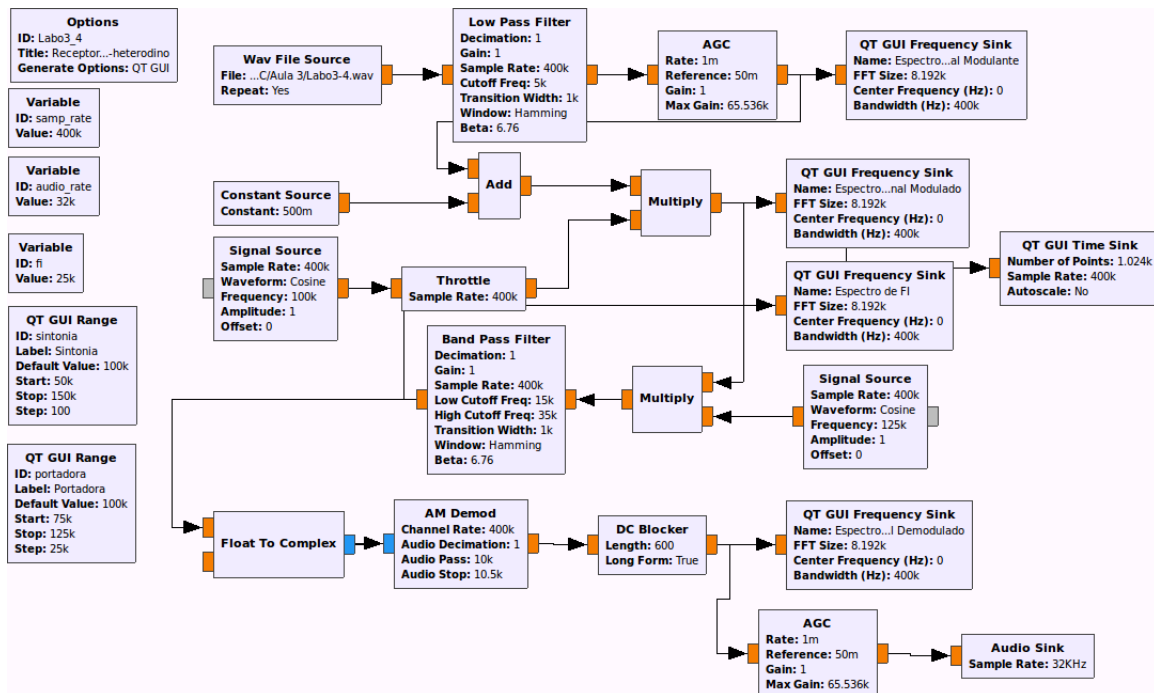


Figura 4: Diagrama de blocos de um receptor super-heteródino.

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





### Laboratório de Princípios de Comunicações

Período 2021.1e

### Guia de Experimentos 3 – Folha de Respostas

Tema(s): Modulação e Desmodulação em Amplitude

Professor(es): Bruno B. Albert e Edson P. da Silva

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 as bandas laterais do sinal modulado. Apresente todos os valores pertinentes com suas unidades no gráfico. Qual o índice de modulação nesse caso?

2. 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? Qual a potência média da portadora? Qual a amplitude da portadora em dB no espectro de frequência?

\_\_\_\_\_

3. Faça  $A = 3$  observe o espectro de frequência. Qual o novo índice de modulação? Qual a potência média da portadora? Qual a amplitude da portadora em dB no espectro de frequência?

\_\_\_\_\_

4. Qual o esquema mais eficiente em termos de potência do transmissor,  $A = 1$  ou  $A = 3$ ? Justifique.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

5. Altere a frequência da portadora deslizando a sua respectiva régua. O que aconteceu com o sinal modulado? (Observe o gráfico em frequência.)

---

---

## 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 e explique sua utilidade observando o gráfico em frequência.

---

---

3. Retorne o filtro (**Ctrl-Z**). 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. Qual é esse tempo para um atraso de uma amostra? Assim, 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  $\frac{1/f_m}{1/f_s} \cdot 360 = \frac{1/5000}{1/25000} \cdot 360 = 72$  no oscilador local. Faça esse atraso igual a 1 amostra. Houve distorção no sinal desmodulado em relação ao sinal mensagem? Explique.

---

---

---

4. Retorne o atraso para 0 amostras. Altere o oscilador local do receptor para 5050 Hz e execute o experimento. Por que o sinal desmodulado está distorcido em relação ao sinal mensagem? Seria aceitável 1 Hz de diferença (oscilador local em 5001 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. Por que o sinal sintonizado é sempre transladado para  $f_i = 25$  kHz? Observe o bloco **Signal Source** correspondente ao oscilador local do receptor e use os resultados da preparação.

---

---

---

---

2. Na prática é possível se determinar 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

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

Calcule 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.

---

---