

# AE2 - Modulação AM

Jessica de Souza

Engenharia de Telecomunicações, Instituto Federal de Santa Catarina

<jessica.souzajds@gmail.com>

25 de junho de 2018

## 1 Introdução

O objetivo deste laboratório é de aplicar os conhecimentos adquiridos no tópico de modulação por amplitude (AM). A modulação AM é uma modulação onde a amplitude da portadora varia em função do sinal de informação (modulante), que está sendo transmitido em um canal. Dentre os tipos de modulação AM existentes, podemos citar a modulação DSB-SC, DSB-TC e SSB, as quais são o foco deste relatório.

Foram realizados dois experimentos, o primeiro consiste em realizar as modulações AM-DSB-SC e AM-DSB-TC. O segundo experimento envolve modulação AM-SSB e a recuperação de sinais através da demodulação. Este relatório se subdivide em conceitos abordados, resultados e discussão e conclusão.

## 2 Conceitos Abordados

### 2.1 Modulação em Amplitude

A Modulação em Amplitude, ou Modulação AM, é o processo em que a amplitude da onda portadora é variada de acordo com o valor da onda banda base para a transmissão de um sinal no tempo. Isso na frequência, significa um desvio do sinal modulante para a frequência da portadora.

Este tipo de modulação possui como vantagens o baixo custo de implementação e também permite alterar o comprimento de onda do sinal, de forma a diminuir o tamanho das antenas que irão transmitir e receber estes sinais na prática.

### 2.2 Modulação AM-DSB-SC

A Modulação AM-DSB-SC, significa modulação em amplitude com banda lateral dupla e portadora suprimida. Nesta modulação o sinal modulante (banda base) é deslocado para a frequência da portadora, como uma multiplicação (conforme mostra a Figura 1). Neste tipo de modulação, o sinal modulado não transmite a portadora junto com o sinal banda base, ficando a portadora oculta no espectro.

Para realizar a demodulação de um sinal DSB-SC, deve ser realizada a multiplicação do sinal modulado pela portadora novamente (que seria uma portadora local no demodulador), para se obter o sinal banda base na sua frequência original. Além disso, também deve ser realizado um filtro passa-baixas para recuperar apenas o sinal original e descartar suas harmônicas.

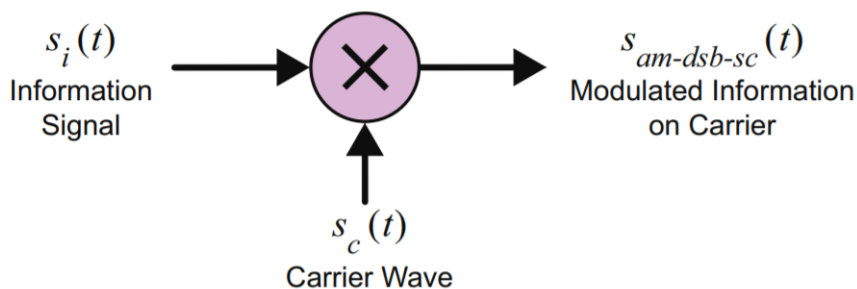


Figura 1 – Diagrama de bloco de um modulador AM-DB-SC.

## 2.3 Modulação AM-DSB-TC

A Modulação AM-DSB-TC, ou apenas AM-DSB, significa modulação em amplitude com banda lateral dupla e portadora transmitida. Nesta modulação, o sinal banda base é deslocado para a frequência da portadora através de uma multiplicação dos dois sinais e além disso, é somada uma tensão de offset ao sinal banda base, de forma a não ocorrer a inversão de fase do sinal modulado. A relação entre a amplitude do sinal modulante e a amplitude de offset é denominada "fator de modulação", que deve ser menor ou igual a 1 para que não ocorra a inversão de fase. A Figura 2 mostra como é o diagrama de blocos de um modulador AM-DSB-TC.

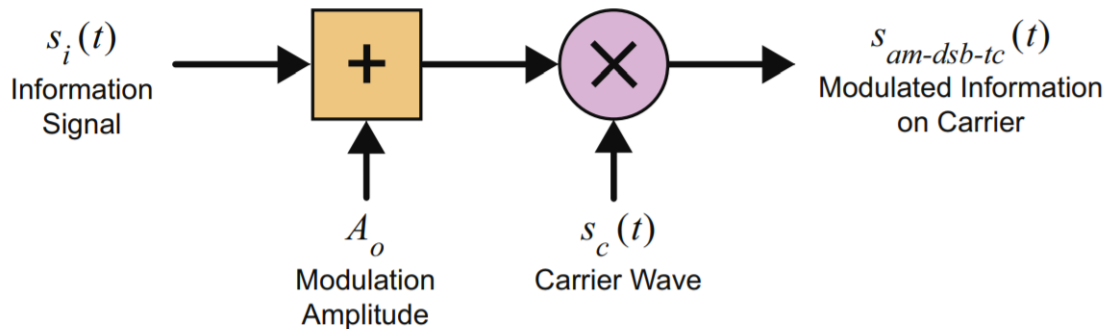


Figura 2 – Diagrama de bloco de um modulador AM-DB-TC.

## 2.4 Modulação AM-SSB

A modulação AM-SSB, significa modulação em amplitude com banda lateral simples. Neste tipo de modulação, diferente da AM-DSB, é realizada a transmissão de apenas um lado das bandas laterais, sendo considerada mais eficiente por enviar a mesma informação ocupando uma menor banda. Uma outra vantagem dessa modulação é que a largura de banda do sinal modulado é a mesma do sinal banda base.

Para gerar um sinal SSB existem diversas formas. A mais simples é simplesmente passar um filtro passa faixa em um sinal DSB-SC para isolar uma das bandas laterais.

## 3 Resultados e Discussão

Os experimentos foram executados na ordem descrita na introdução. A seguir, o detalhamento de como foi realizado cada experimento. Foi utilizado o software Matlab para a realização dos experimentos.

### 3.1 Experimento 1

O primeiro experimento consistiu em realizar as modulações AM-DSB(TC) e AM-DSB-SC. Inicialmente, foram criados três sinais no tempo: O sinal banda-base  $m(t)$  com frequência de 1 KHz, o sinal da portadora  $c(t)$  com frequência de 10 KHz e o sinal modulado  $s(t)$ , que é a multiplicação de  $m(t)$  por  $c(t)$ . O código abaixo mostra os parâmetros utilizados para o experimento 1.

```
1 A0 = 1; % offset para evitar inversao de fase
2 Ac = 1; % amplitude portadora
3 Am = [0.25 0.5 0.75 1 1.5]; % amplitude sinal modulante
4
5 N = 250; % Numero de repeticoes
6
7 fm = 1e3; % sinal modulante
8 fc = 10e3; % portadora
9 fs = N*fm; % amostragem
10 fr_corte = fc + 500; %frequencia de corte do filtro passa baixas
11
12 ts = 1/fs; %periodo de amostragem
13
14 t = [0:ts:1-ts]; %duracao de 1s
15 f = [-fs/2:fs/2-1];
```

O código abaixo mostra a criação destes sinais no tempo e a sua transformação para a frequência através da função FFT().

```
1 %Criando os sinais no tempo
2 m_t = cos(2*pi*t*fm); %sinal modulante
3 c_t = cos(2*pi*t*fc); %sinal da portadora
4 s_t = m_t .* c_t; %sinal modulado
5
6 %criando os sinais na frequencia
7 X_m = fftshift(fft(m_t)/length(m_t));
8 X_c = fftshift(fft(c_t)/length(c_t));
9 X_s = fftshift(fft(s_t)/length(s_t));
```

A Figura 3 mostra os três sinais no domínio do tempo e da frequência.

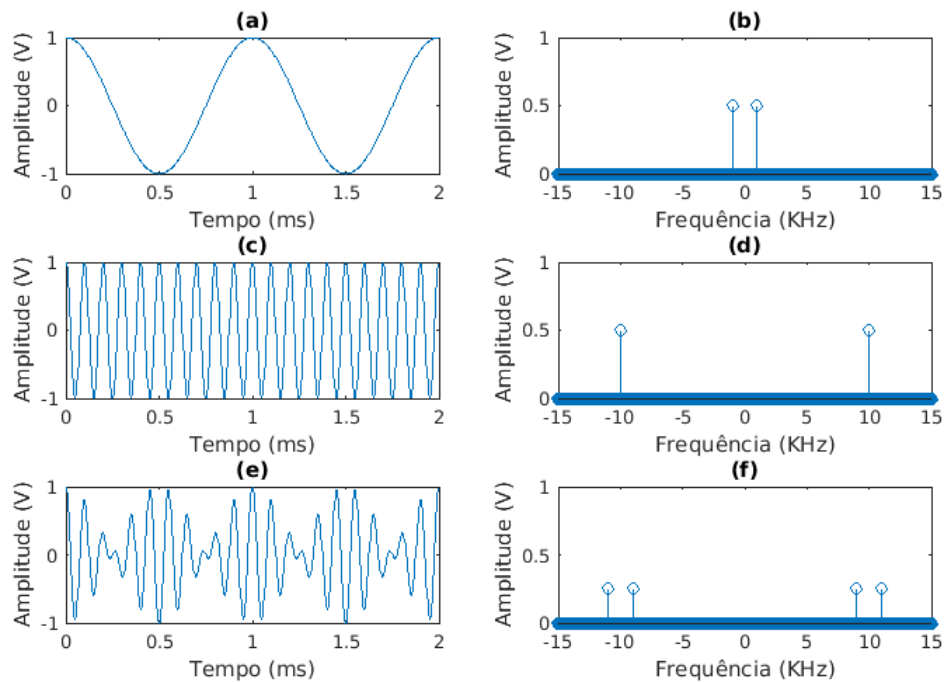


Figura 3 – Sinais no domínio do tempo (a)  $m(t)$ , (c)  $c(t)$  e (e)  $s(t)$ . E da frequência (b)  $M(f)$ , (d)  $C(f)$  e (f)  $S(f)$ .

O sinal da Figura 3.e, é o sinal modulado. Podemos observar que a portadora não está indo junto com o sinal, o que pode ser visto na Figura 3.f, podendo apenas ver o sinal banda base centrado nas frequências da portadora. Agora, devemos filtrar este sinal para iniciar o processo de demodulação. Foi desenvolvido um filtro passa baixa utilizando o comando FIR1(), conforme mostra o código abaixo.

```
1 filtro = fir1(50, (fr_corte*2)/fs);
```

A Figura 4 mostra a resposta em frequência do filtro.

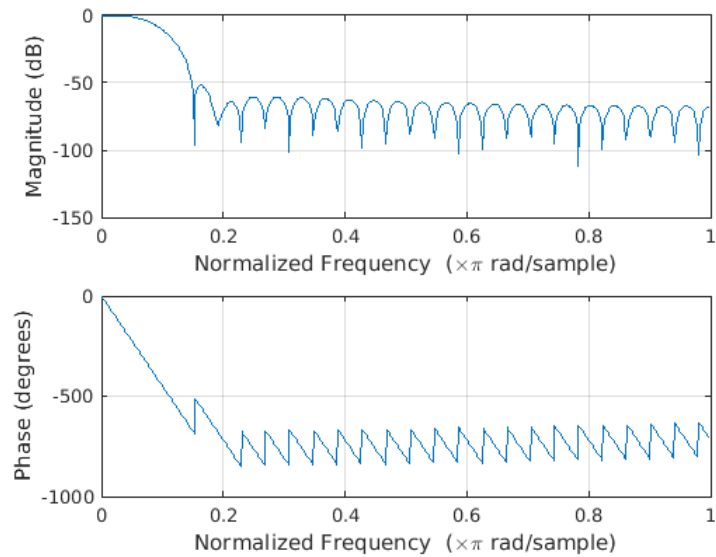


Figura 4 – Resposta em frequência do filtro.

Para passar o sinal modulado pelo filtro, primeiramente é realizada a multiplicação do sinal pela portadora e após isso é que o filtro passa baixa é utilizado para a filtragem através da função `filter()`. O código abaixo mostra o processo de demodulação do sinal.

```

2 s_dem = s_t.*c_t;          %multiplica pela envoltoria novamente
3 m_t_filtrado = filter(filtro,1,s_dem); %recuperando sinal modulante
4 M_f_filtrado = fftshift(fft(m_t_filtrado)/length(m_t_filtrado)); %fft da modulante recuperada

```

A Figura 5 mostra o sinal multiplicado pela portadora 5.a, o sinal filtrado 5.b no tempo e na frequência 5.c. Podemos notar o atraso causado pelo filtro passa baixas na figura 5.b, devido a alta ordem do filtro.

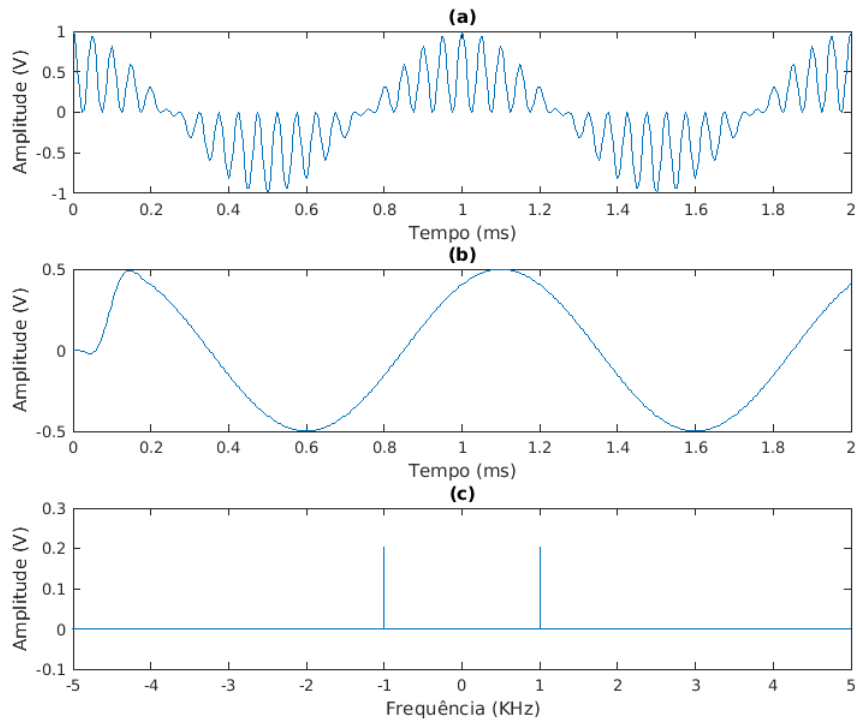


Figura 5 – (a) Sinal modulado multiplicado pela portadora, (b) sinal após filtro passa baixa e (c) sinal filtrado no domínio da frequência.

A segunda parte do primeiro experimento consistiu em realizar uma modulação AM-DSB, variando o fator de modulação  $n = 0.25, 0.5, 0.75, 1$  e  $1.5$ . O código abaixo mostra a estrutura utilizada para a criação dos sinais banda base, portadora e sinal modulado. As equações foram baseadas no livro "SDR using Matlab", referenciado ao final deste relatório.

```

5 %n = fator de modulação variando
6 m_t(n) = Am(n).*cos(2*pi*fm.*t);
7 c_t(n) = Ac.*cos(2*pi*fc.*t);
8 s_t(n) = (A0 + m_t(n)).* c_t(n); %eq. 6.12 livro SDR pg 210

```

A Figura 6 mostra o sinal modulado no tempo, com as variações do índice de modulação conforme mostra as legendas. O gráfico em vermelho mostra a inversão de fase devido ao fator de modulação ser maior do que 1.

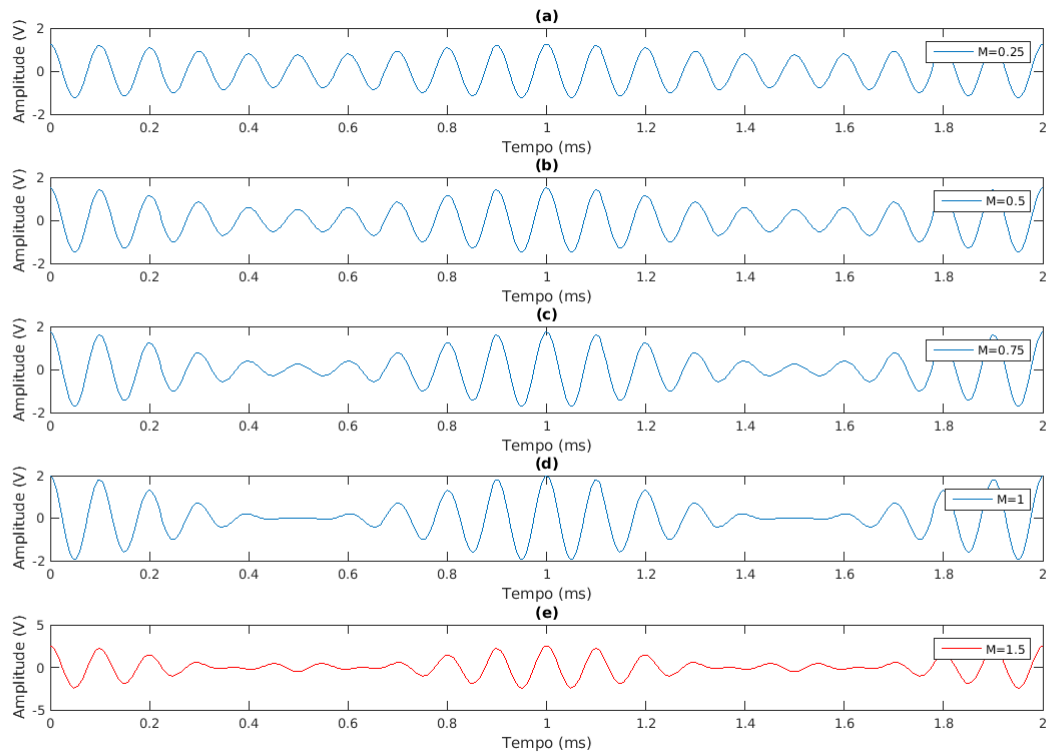


Figura 6 – Sinais modulados com o fator de modulação igual a (a) 0.25, (b) 0.5, (c) 0.75, (d) 1 e (e) 1.5.

### 3.2 Experimento 2

Para realizar o segundo experimento, foram criados três sinais de cosseno nas frequências de 1, 2 e 3 KHz. Também foram criados três sinais de portadora com frequências de 9, 10 e 11 KHz, de forma que no momento da modulação, os sinais banda base sejam deslocados para as frequências desejadas de 10, 12 e 14 KHz, respectivamente. O código abaixo mostram os parâmetros utilizados para a questão 2.

```

1 Ac = 1;
2 Am = 1;
3 N = 100;
4
5 fm1 = 1e3;
6 fm2 = 2e3;
7 fm3 = 3e3;
8
9 fc1 = 9e3; %portadora alterada para banda superior em 10k
10 fc2 = 10e3; %portadora alterada para banda superior em 12k
11 fc3 = 11e3; %portadora alterada para banda superior em 14k
12
13 fs = N*fm1;
14 ts = 1/fs;
15
16 t = [0:ts:1-ts];
17 f = [-fs/2:1:fs/2-ts];

```

O código abaixo mostra a criação destes sinais banda base, a criação de suas respectivas portadoras, a multiplicação entre eles e sua conversão para o domínio da frequência.

```

18 %sinais modulantes
19 m1 = Am.*cos(2*pi*fm1*t);
20 m2 = Am.*cos(2*pi*fm2*t);
21 m3 = Am.*cos(2*pi*fm3*t);
22
23 %portadoras
24 c1 = Ac.*cos(2*pi*fc1*t);
25 c2 = Ac.*cos(2*pi*fc2*t);
26 c3 = Ac.*cos(2*pi*fc3*t);
27
28 %sinais modulados no tempo
29 s1 = m1.*c1;
30 s2 = m2.*c2;
31 s3 = m3.*c3;
32
33 %sinais modulados na frequencia
34 S1 = fftshift(fft(s1)/length(s1));
35 S2 = fftshift(fft(s2)/length(s2));
36 S3 = fftshift(fft(s3)/length(s3));

```

A Figura 7 mostra como ficaram os sinais no domínio do tempo e da frequência.

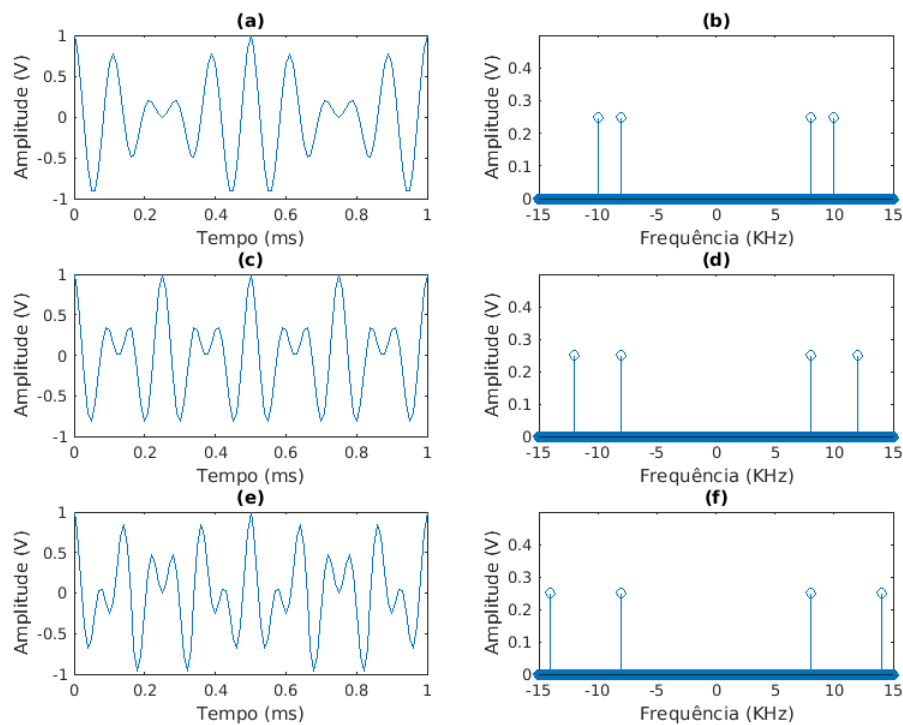


Figura 7 – Sinais no domínio do tempo (a)  $s_1(t)$ , (c)  $s_2(t)$  e (e)  $s_3(t)$ . E da frequência (b)  $S_1(f)$ , (d)  $S_2(f)$  e (f)  $S_3(f)$ .

Após a transmissão destes sinais, eles serão recuperados utilizando filtros passa faixa ideais. Será feita a recuperação apenas das bandas laterais superiores, portanto o filtro obedeceu este requisito. O código abaixo mostra a criação dos filtros para recuperar cada um dos três sinais.

```

37 bpf1 = [zeros(1,39000) ones(1,2000) zeros(1,18000) ones(1,2000) zeros(1,39000)];
38 bpf2 = [zeros(1,37000) ones(1,2000) zeros(1,22000) ones(1,2000) zeros(1,37000)];
39 bpf3 = [zeros(1,35000) ones(1,2000) zeros(1,26000) ones(1,2000) zeros(1,35000)];

```

A Figura 8 mostra a resposta em frequência de cada filtro.

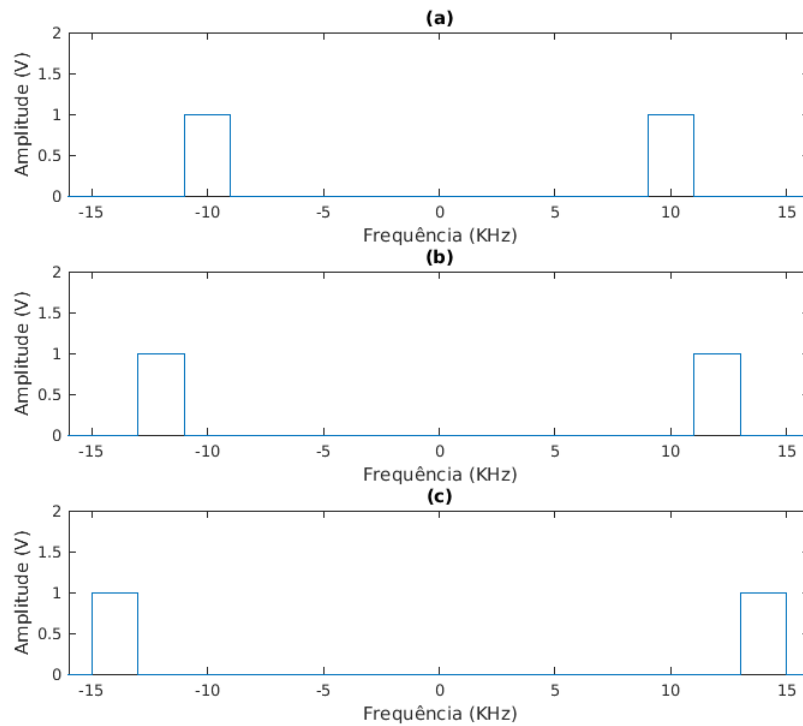


Figura 8 – Filtro passa faixa para recuperar os sinais em (a) 10 KHz, (b) 12 KHz e (c) 14 KHz.

O sinal modulado foi passado através do filtro passa faixa, de forma a recuperar a banda lateral superior de cada um dos três sinais. Após isso, é realizada a multiplicação do sinal filtrado pela portadora novamente, de forma a reconstruir o sinal na frequência de banda base e por fim, o sinal é passado por um filtro passa baixas para eliminar as suas harmônicas. O código abaixo mostra como foi o desenvolvimento da etapa de recuperação do sinal.

```

1 %Passando o sinal modulado pelo BPF
2 Sf(n) = bpf(n).*S(n);
3
4 %faz novamente a conv() com a portadora no tempo e faz a FFT()
5 sf(n) = ifft(fftshift(Sf(n)))*length(Sf(n));
6 s_orig(n) = sf(n).*c(n);
7 S_orig(n) = fftshift(fft(s_orig(n))/length(s_orig(n)));
8
9 %Cria um LPF e passa o sinal demodulado para filtrar a freq original
10 lpf(n) = [zeros(1,48500) ones(1,3000) zeros(1,48500)];
11 Sm_t(n) = lpf(n).*S_orig(n);

```

As Figuras 9, 10 e 11 mostram o resultado da recuperação do sinal para as frequências originais de 1, 2 e 3 KHz, respectivamente. Note nas figura, que em (b) apenas a banda lateral superior está sendo utilizada.



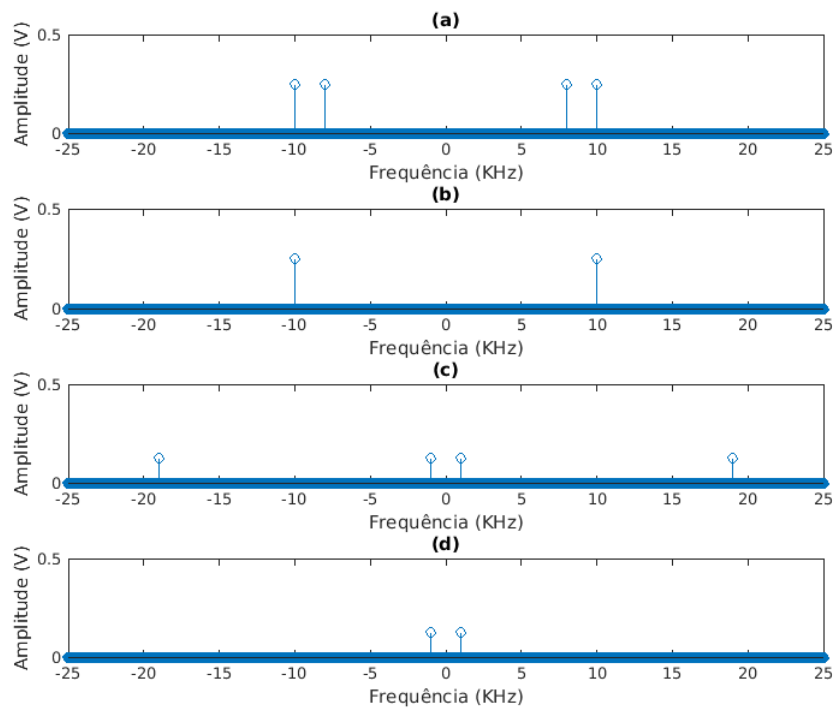


Figura 9 – Processo de recuperação do sinal de 1 KHz

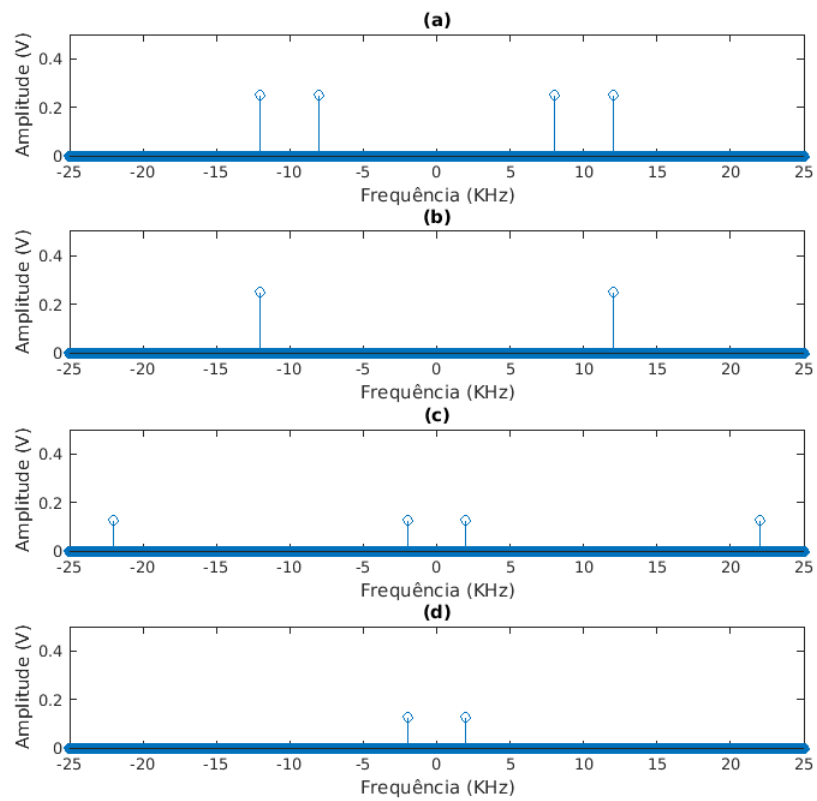


Figura 10 – Processo de recuperação do sinal de 2 KHz

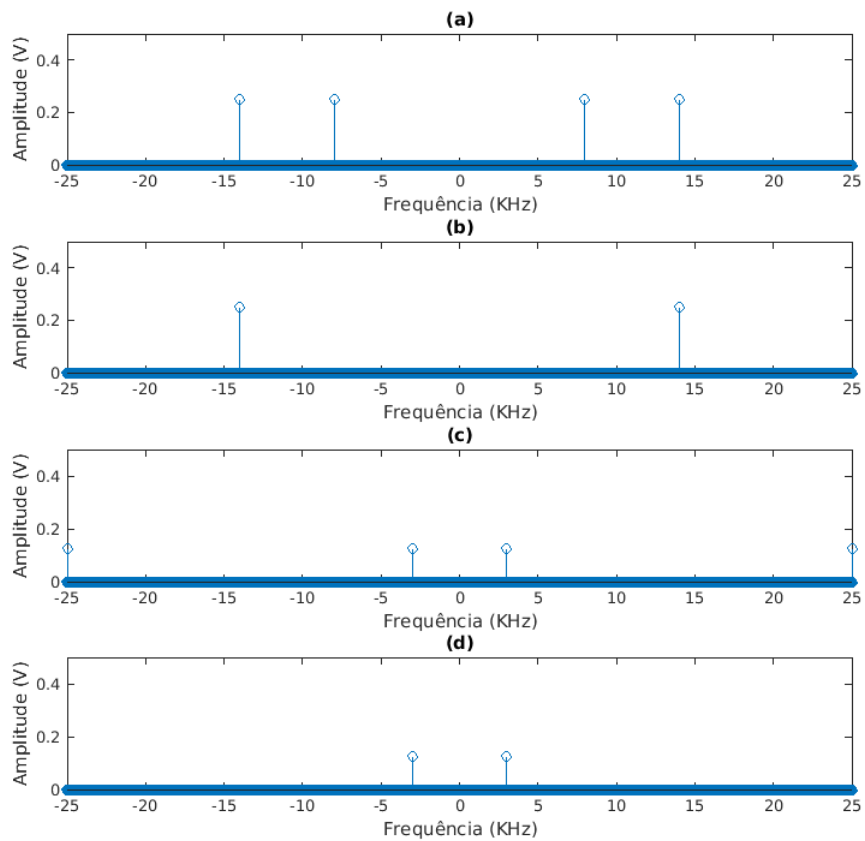


Figura 11 – Processo de recuperação do sinal de 3 KHz

A Figura 12 mostra os três sinais modulados juntos, em suas respectivas frequências de portadora, transmitindo apenas a banda lateral superior.

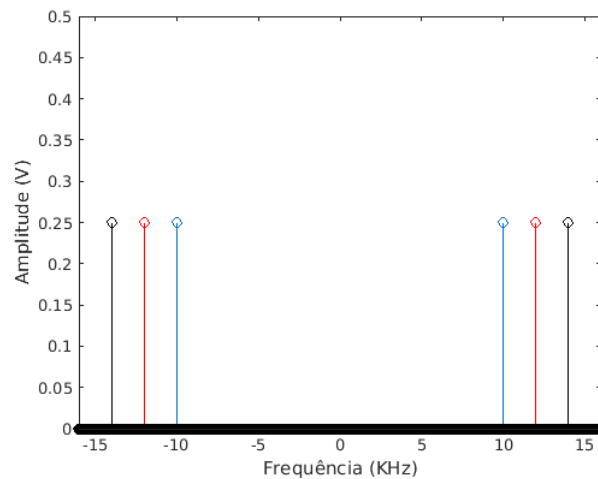


Figura 12 – Sinais modulados em um mesmo canal

## 4 Conclusão

Os experimentos realizados neste relatório tiveram como objetivo aplicar os conhecimentos vistos em sala de aula referente aos tipos de modulação em amplitude. Os experimentos funcionaram conforme o esperado, de acordo com o embasamento teórico citado anteriormente. Além disso, também fica destacado que o uso do

MATLAB para essas atividades, foi importante para melhor conhecimento desta ferramenta que é de extrema importância para a área de telecomunicações.

## **Referências**

1. STEWART, B., et. al. Software Defined Radio Using Matlab. 1st. edition. 674 p.
2. HAYKIN, S. Sistemas de Comunicação. 5 edition. Bookman, 2010. 512 p.