

Lab 03 - Telecomunicações

Experimento 1 -

Código da mensagem:

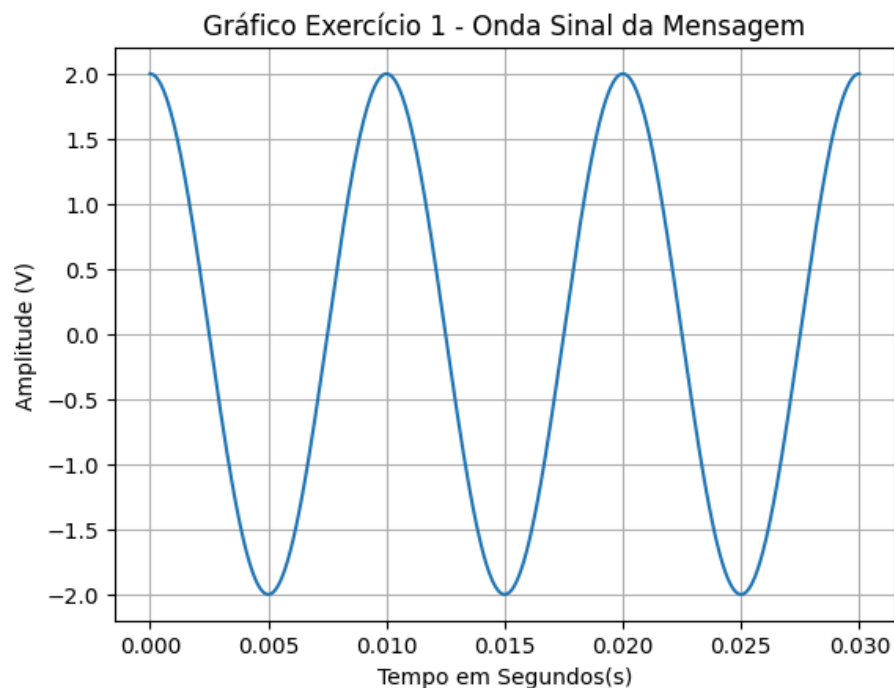
```
fm = 100
fc = 20000
A = 1
Em = 2
m = Em/A
N = 20000

Tm = 1/fm
t = np.linspace(0, 3*Tm, N)

mensagem = Em*np.cos(2*np.pi*fm*t)

plt.plot(t, mensagem)
plt.xlabel("Tempo em Segundos(s)")
plt.ylabel("Amplitude (V)")
plt.title("Gráfico Exercício 1 - Onda Sinal da Mensagem")
plt.grid(True)
plt.figure(1)
plt.show()
```

Gráfico da mensagem para referência:



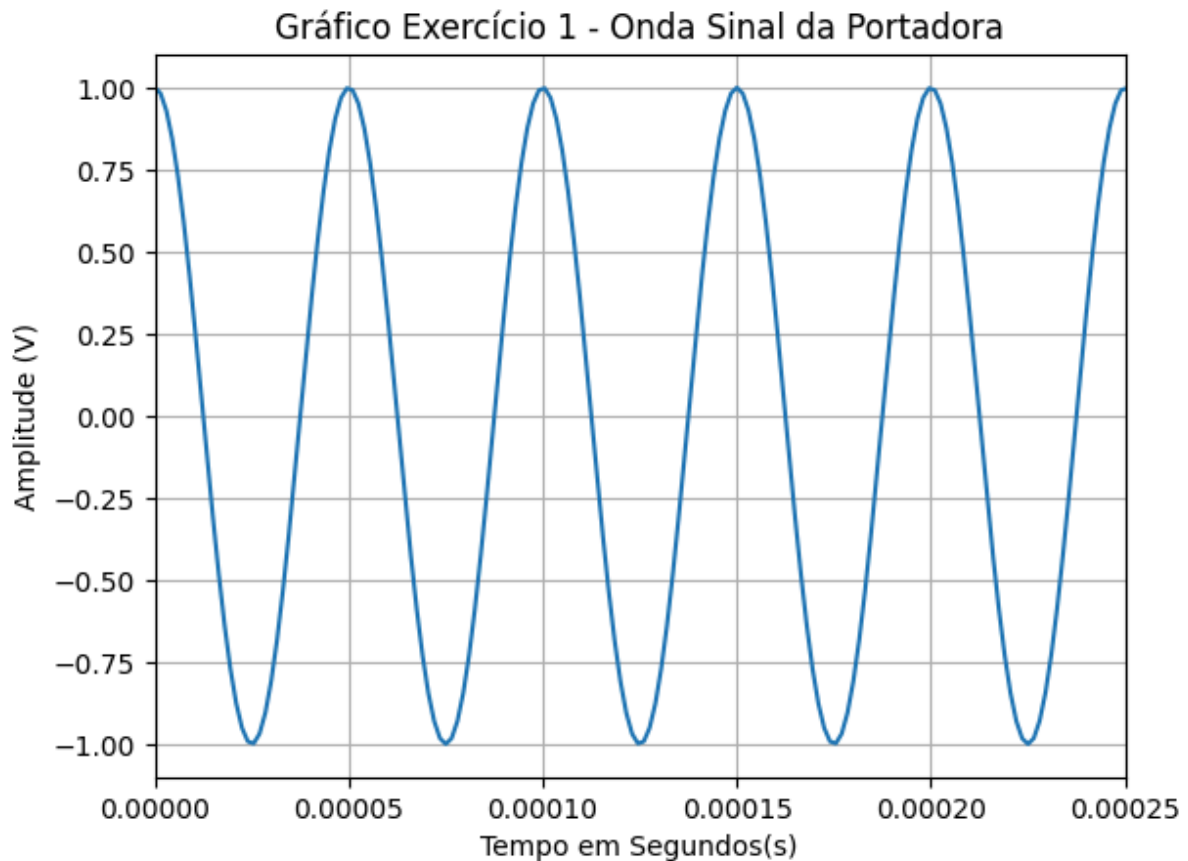
Código da portadora para referência:

```
portadora = A*np.cos(2*np.pi*fc*t)

plt.plot(t, portadora)
plt.xlim(0, 0.00025)

plt.xlabel("Tempo em Segundos(s)")
plt.ylabel("Amplitude (V)")
plt.title("Gráfico Exercício 1 - Onda Sinal da Portadora")
plt.grid(True)
plt.figure(2)
plt.show()
```

Gráfico da portadora para referência:



Código do Sinal Modulado PM:

```
Kp = 90

pm = A*np.cos(2*np.pi*fc*t + Kp*mensagem)

plt.figure(figsize=(12, 5))

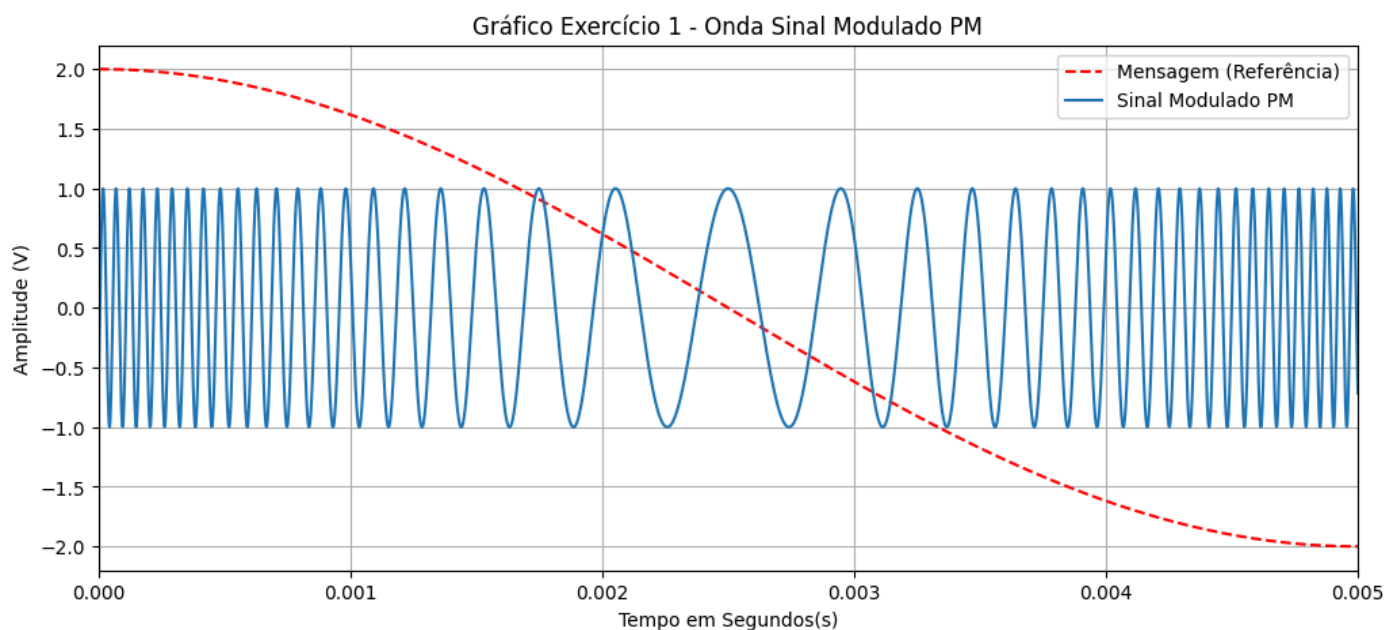
plt.plot(t, mensagem, 'r--', label='Mensagem (Referência)')

plt.plot(t, pm, label='Sinal Modulado PM')

plt.xlim(0, 0.005)

plt.xlabel("Tempo em Segundos(s)")
plt.ylabel("Amplitude (V)")
plt.title("Gráfico Exercício 1 - Onda Sinal Modulado PM")
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.figure(3)
plt.show()
```

Gráfico do Sinal Modulado PM:



Código do Sinal Modulado FM:

```
fc_vis = 1000
Kf_vis = 400 * np.pi

Tm_pm = 1/fm
t_pm = np.linspace(0, 2*Tm_pm, N)

mensagem_pm = Em * np.cos(2 * np.pi * fm * t_pm)

integral_mensagem = (Em / (2 * np.pi * fm)) * np.sin(2 * np.pi * fm *
t_pm)

sinal_fm = A * np.cos(2 * np.pi * fc_vis * t_pm + Kf_vis *
integral_mensagem)

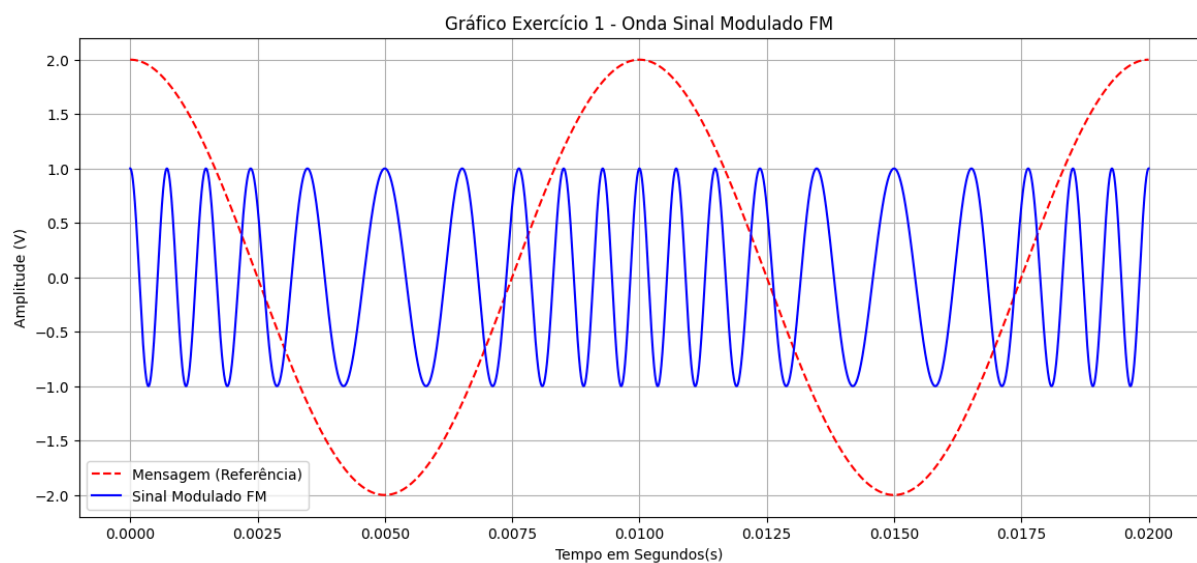
plt.figure(figsize=(14, 6))

plt.plot(t_pm, mensagem_pm, 'r--', label='Mensagem (Referência)')

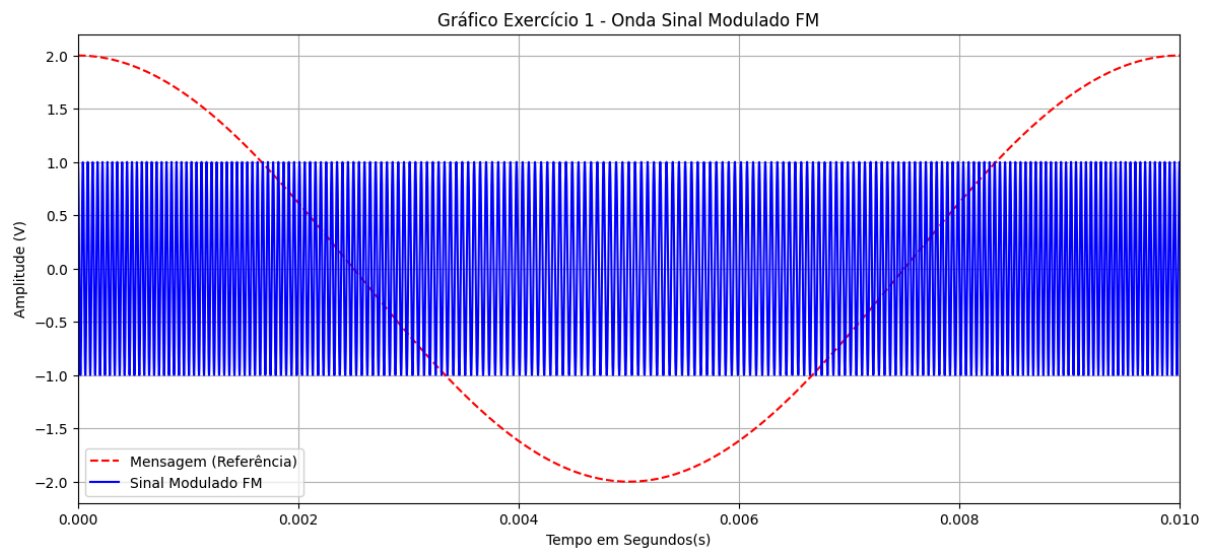
plt.plot(t_pm, sinal_fm, 'b-', label='Sinal Modulado FM')

plt.title("Gráfico Exercício 1 - Onda Sinal Modulado FM")
plt.xlabel("Tempo em Segundos(s)")
plt.ylabel("Amplitude (V)")
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.show()
```

Gráfico do Sinal Modulado FM:



Foi utilizado uma frequência da portadora de 1000hz para melhor visualização do gráfico. A seguir o gráfico com frequência da portadora original de 20000 Hz.



Código do Sinal Modulado AM:

```
mensagem_normalizada = np.cos(2*np.pi*fm*t)
sinal_modulado = A * (1 + m * mensagem_normalizada) *
np.cos(2*np.pi*fc*t)

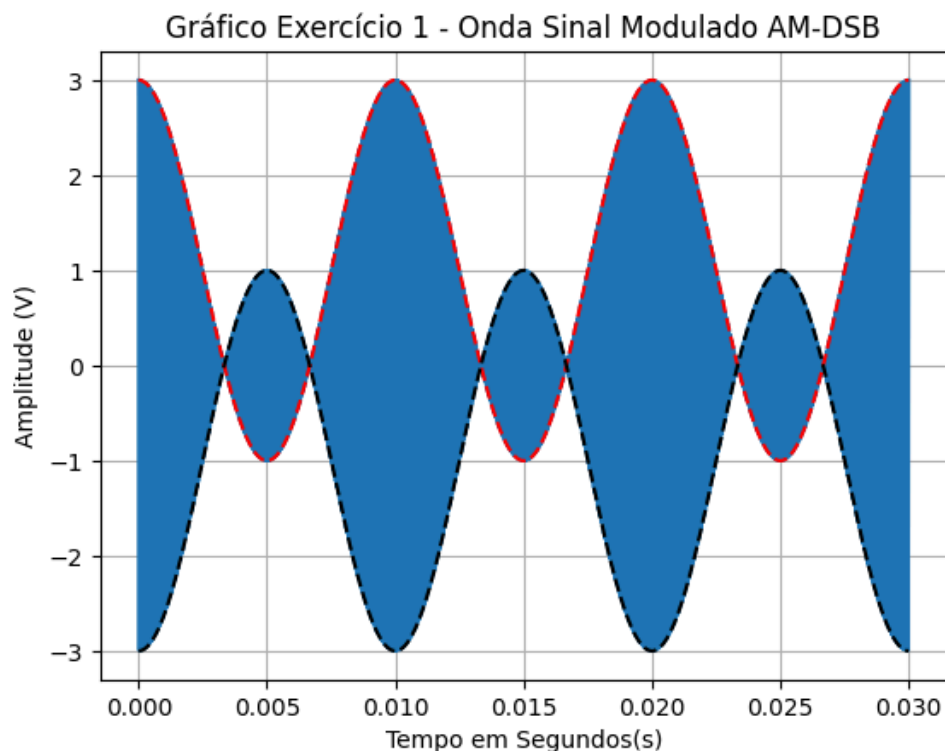
envelope_superior = A * (1 + m * mensagem_normalizada)
envelope_inferior = -envelope_superior

plt.plot(t, sinal_modulado)

plt.plot(t, envelope_superior, color='red', linestyle='--',
label='Envoltória')
plt.plot(t, envelope_inferior, color='black', linestyle='--')

plt.xlabel("Tempo em Segundos(s)")
plt.ylabel("Amplitude (V)")
plt.title("Gráfico Exercício 1 - Onda Sinal Modulado AM-DSB")
plt.grid(True)
plt.figure(5)
```

Gráfico do Sinal Modulado FM:



Experimento 1 -

Analisando os gráficos percebemos que em questão da similaridade na modulação angular(pm e fm) ambos mantêm uma amplitude de envoltória constante, ou seja a amplitude é a mesma que a da mensagem e não há variação. Com isso nota-se que a informação não está na amplitude, mas sim na variação do ângulo da portadora.

Em relação às diferenças é na amplitude e ângulo, na AM-DSB temos uma variação na amplitude no sinal modulado, já na PM e FM a informação está na variação do ângulo(fase/frequência). Outra diferença é no gráfico AM-DSB que mostra um sinal sobremodulado($m = 2$). Isso é visível porque a envoltória cruza o eixo zero, causando uma inversão de fase na portadora. Esta é uma forma de distorção característica do AM. Já os sinais PM e FM não sofrem deste tipo de distorção, pois suas envoltórias são constantes. E a última diferença é no gráfico FM e PM, na FM a frequência do sinal modulado é máxima quando a mensagem está em seu pico (em $t=0$) e mínima quando a mensagem está em seu vale. No PM a frequência do sinal modulado é igual à da portadora quando a mensagem está em seu pico (em $t=0$), pois a inclinação da mensagem é zero. A variação de frequência é máxima quando a

mensagem cruza o eixo zero (em $t=0.0025s$), pois nesse ponto a inclinação (derivada) da mensagem é máxima.

Agora as vantagens e desvantagens temos as seguintes: em relação a AM-DSB temos simplicidade e baixo custo do receptor . Mas temos a desvantagem de ser ineficiente em termos de potência (a maior parte da energia está na portadora) e alta suscetibilidade a ruídos que afetam a amplitude. Já na PM e FM temos a vantagem de ter uma excelente imunidade a ruído como a informação não está na amplitude, são muito mais robustos a interferências e ruídos. Além disso, apresentam alta fidelidade (especialmente FM) que permitem uma qualidade de transmissão de áudio muito superior. Já nelas temos a desvantagem de ter uma maior largura de faixa: ocupam mais espaço no espectro de frequência e em circuitos mais complexos a modulação e, principalmente, a demodulação são mais complexas.

Aplicações sugeridas para a Am seriam em Rádio Am. Na PM um exemplo seria o Wi-Fi e para FM seria Rádio FM comercial.

Desafio -

Código:

```
m = 2.0
Kp = 1.0
Kf = 2500 * np.pi
fs = 100000
duration = 1.0
N = int(fs * duration)
t = np.linspace(0, duration, N, endpoint=False)

mensagem = Em * np.cos(2 * np.pi * fm * t)
portadora = A * np.cos(2 * np.pi * fc * t)

integral_mensagem = (Em / (2 * np.pi * fm)) * np.sin(2 * np.pi * fm * t)

senal_am = Em * (1 + (mensagem / Em) * m) * np.cos(2 * np.pi * fc * t)
senal_pm = Em * np.cos(2 * np.pi * fc * t + Kp * mensagem)
senal_fm = Em * np.cos(2 * np.pi * fc * t + Kf * integral_mensagem)

freqs = np.fft.fftshift(np.fft.fftfreq(N, 1/fs))
```

```

spec_am = np.abs(np.fft.fftshift(np.fft.fft(sinal_am))) / N
spec_pm = np.abs(np.fft.fftshift(np.fft.fft(sinal_pm))) / N
spec_fm = np.abs(np.fft.fftshift(np.fft.fft(sinal_fm))) / N

plt.figure(figsize=(12, 10))

plt.subplot(3, 1, 1)
plt.title('Espectro do Sinal AM-DSB')
plt.plot(freqs, spec_am, 'b-')
plt.ylabel('Amplitude')
plt.grid(True)
plt.xlim(fc - 500, fc + 500)

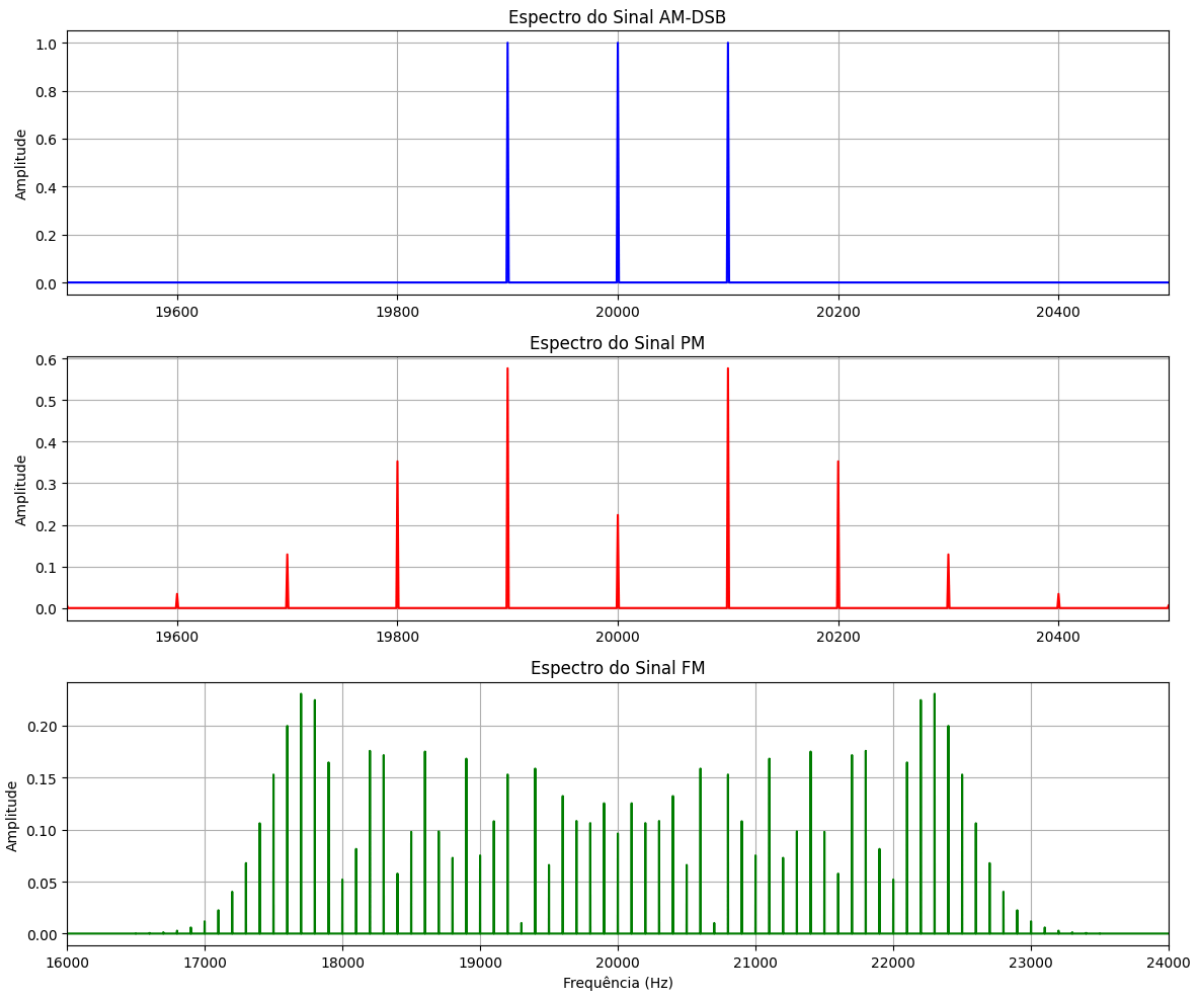
plt.subplot(3, 1, 2)
plt.title('Espectro do Sinal PM')
plt.plot(freqs, spec_pm, 'r-')
plt.ylabel('Amplitude')
plt.grid(True)
plt.xlim(fc - 500, fc + 500)

plt.subplot(3, 1, 3)
plt.title('Espectro do Sinal FM')
plt.plot(freqs, spec_fm, 'g-')
plt.xlabel('Frequência (Hz)')
plt.ylabel('Amplitude')
plt.grid(True)
plt.xlim(fc - 4000, fc + 4000)

plt.tight_layout()
plt.show()

```

Gráficos no domínio da frequência:



Analisando os gráficos foi feita apenas a visualização na parte positiva, começando na AM-DSB ela é mais simples, apresentando apenas a portadora em 20000 Hz e suas bandas laterais em 20100 Hz e 19900 Hz, ela apresenta uma largura de faixa de 200 Hz, que é o dobro da frequência da mensagem. No espectro PM, ele já é mais complexo que a AM, ele apresenta o pico na portadora de 20000 Hz, mas também é acompanhado por múltiplas bandas laterais espaçadas de ± 100 Hz e ± 200 Hz e notamos que a largura de faixa é maior que a AM. E por fim, temos a FM que é a mais larga e mais complexa, ela possui múltiplas bandas laterais, mas se estendem por uma faixa de frequência maior que da PM, notamos que com a regra de Carson que a largura de faixa é 2 vezes a soma do desvio de frequência mais a frequência da mensagem, temos que a largura é 5200 Hz.