

# Curso: Engenharia de Computação

**Sistemas de Comunicações Móveis**

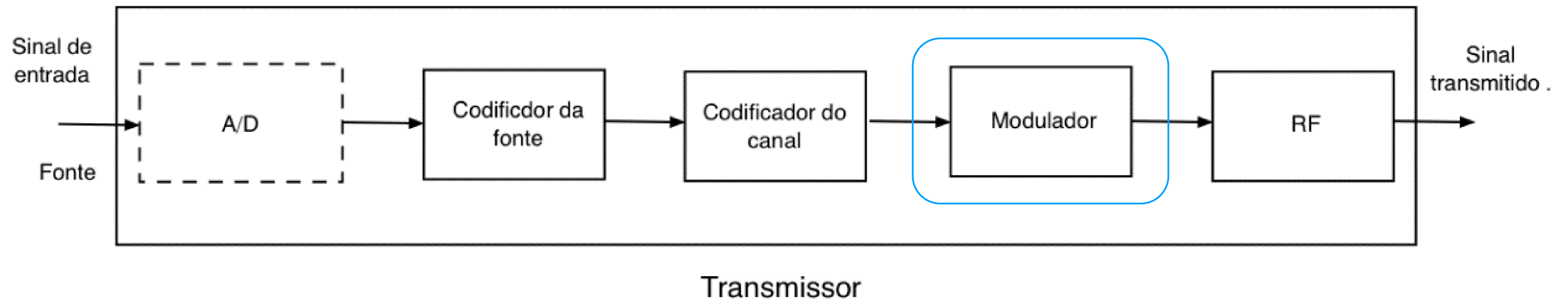
Prof. Clayton J A Silva, MSc  
clayton.silva@professores.ibmec.edu.br



# Modulação

---

# Transmissor



# Modulação

- O **modulador** é um bloco que gera um sinal para o módulo de RF, em que um dos parâmetros, como **frequência**, **amplitude** e/ou **fase**, de um sinal chamado de **portadora** é alterado em função do sinal da saída do codificador da fonte, chamado de **sinal modulante**.
- Portanto, a modulação envolve **duas formas de onda**: o **sinal modulante**, que representa a mensagem; e a **portadora** que se ajusta ao sinal modulante para ser transmitido.
- O sinal modulado transporta a informação, que é colocada na parte apropriada do **espectro**, com propriedades espectrais adequadas para ser encaminhada pelo canal de comunicações.

# Benefícios da modulação

- (1) assegurar a transmissão eficiente
- (2) superar as limitações de hardware
- (3) reduzir ruído e interferência
- (4) definir a frequência
- (5) multiplexação de sinais

# Tipos de modulação

- Analógica
- Digital

# Tipos de modulação

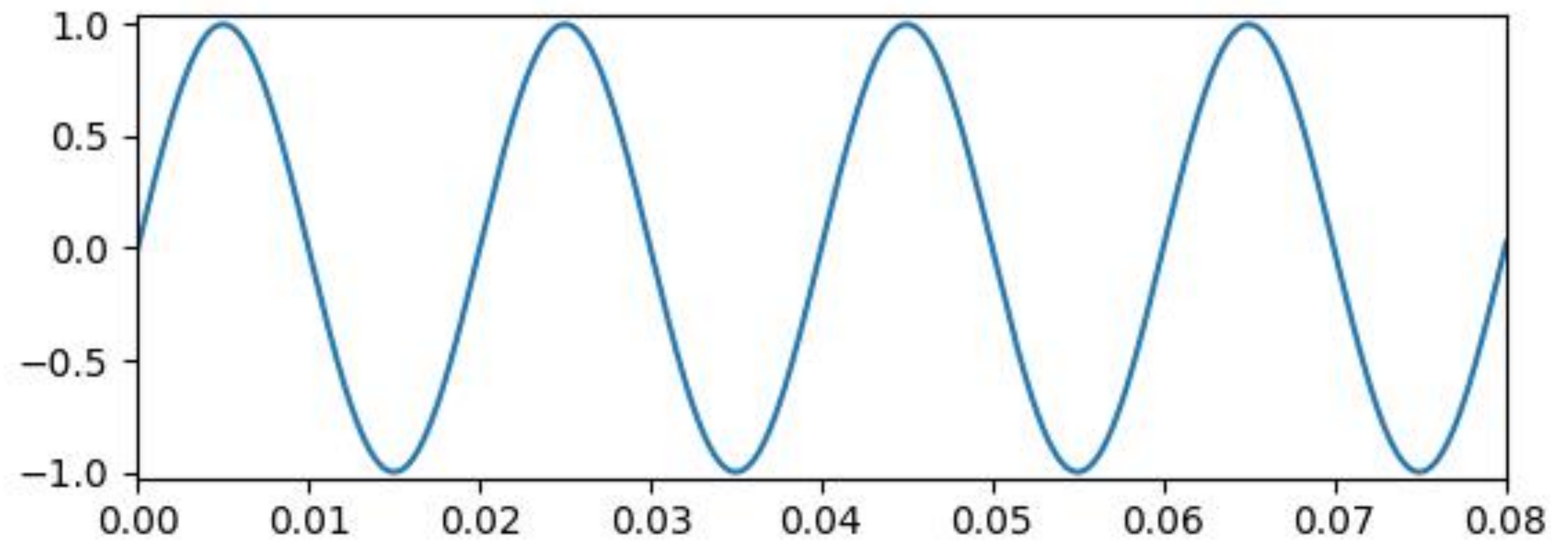
- Analógica
- Digital

# Modulação em Amplitude (AM)

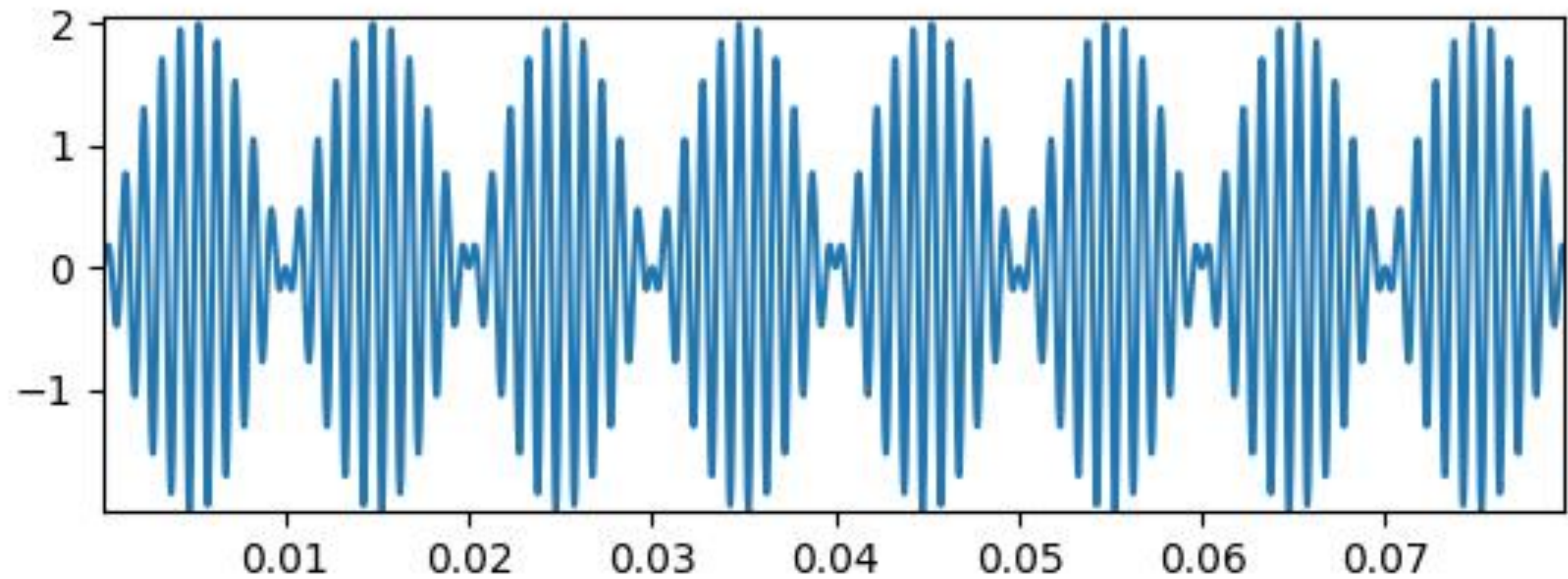
- No sistema com modulação AM a amplitude da portadora varia proporcionalmente com a variação do sinal modulante  $m(t)$
- A portadora tem a forma  $c(t) = A \cos(2\pi f_c t + \phi)$   
 , em que  $A$  é a amplitude,  $f_c$  é a frequência da portadora e  $\phi$  é a fase do sinal.



Sinal modulante



Onda modulada



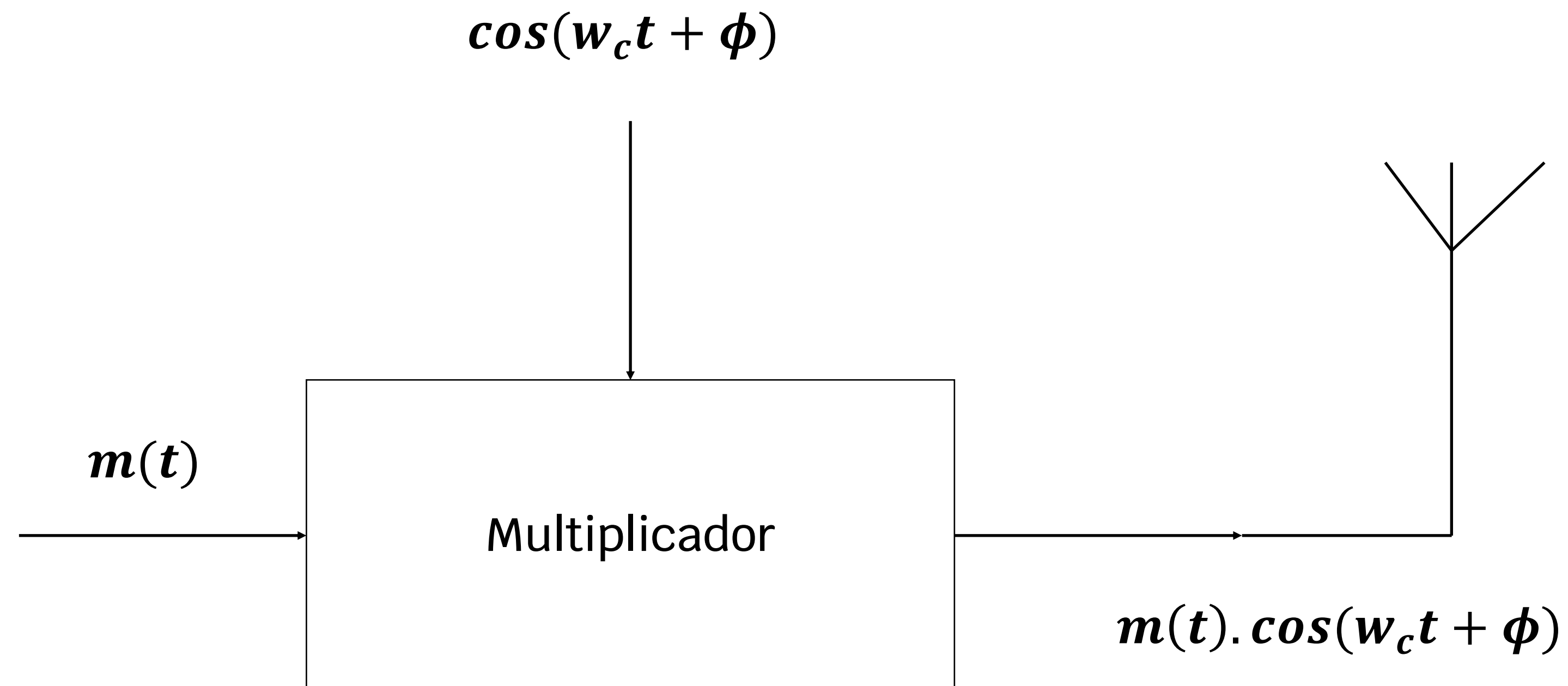
# Modulação em Amplitude (AM)

- O sinal modulante deve possuir a máxima frequência do espectro muito menor do que a frequência da portadora  $f_c$

$$f_{\text{máx}}[m(t)] \ll f_c$$

Normalmente,  $f_{\text{máx}}[m(t)] \sim \frac{f_c}{1000}$  a  $\frac{f_c}{100}$ , por força das restrições do projeto do transmissor.

# Modulação em Amplitude (AM)



# Modulação em Amplitude (AM)

- Observa-se que a onda modulada tem a **envoltória** com o mesmo comportamento do sinal modulante
- **Índice de modulação**: define-se como índice de modulação AM a relação dada por  $\Delta_{AM} = B/A$ , que define

$$a(t) = A[1 + \Delta_{AM}m(t)]$$

, onde  $a(t)$  é a amplitude instantânea

# Modulação em Amplitude (AM)

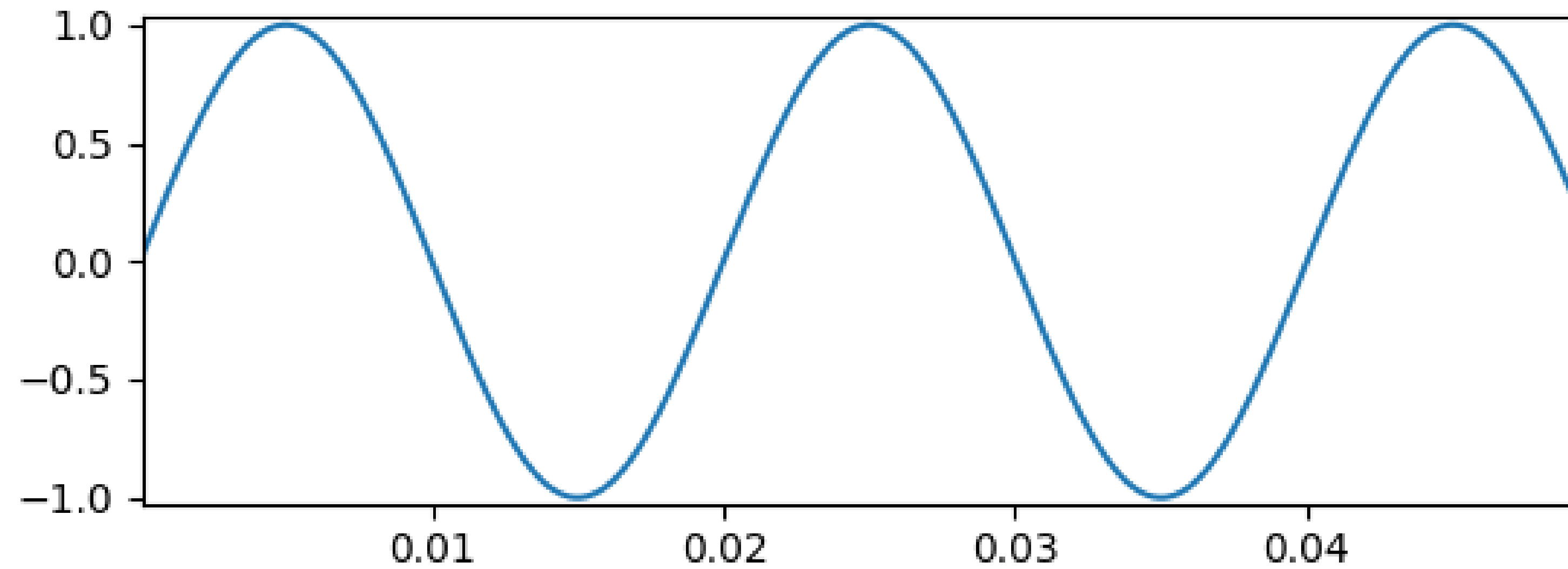
- O índice de modulação é um parâmetro usado para verificar a qualidade do processo:

$\Delta_{AM} = 1$ , 100% de modulação

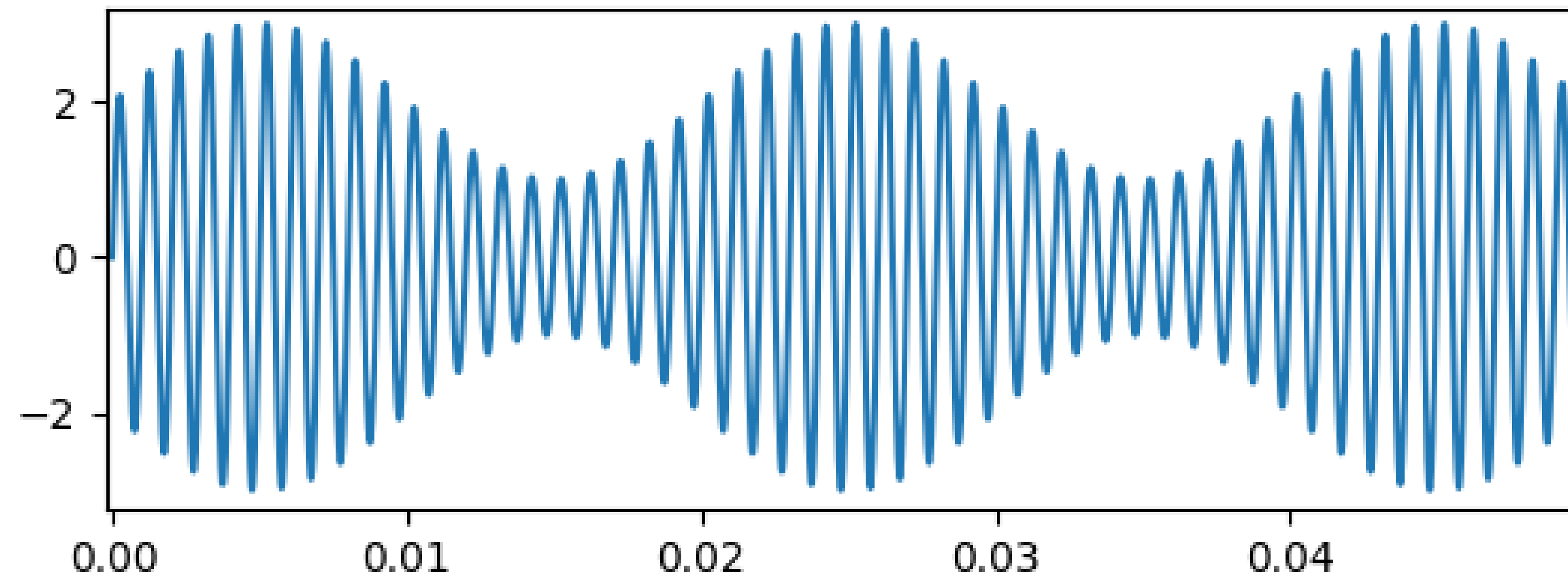
$\Delta_{AM} > 1$ , sobremodulação – indica rotação de fase – implica distorção na recepção

$\Delta_{AM} < 1$ , submodulação – indica desperdício de potência

Sinal modulante



Onda modulada  
Índice de  
modulação = 0,5



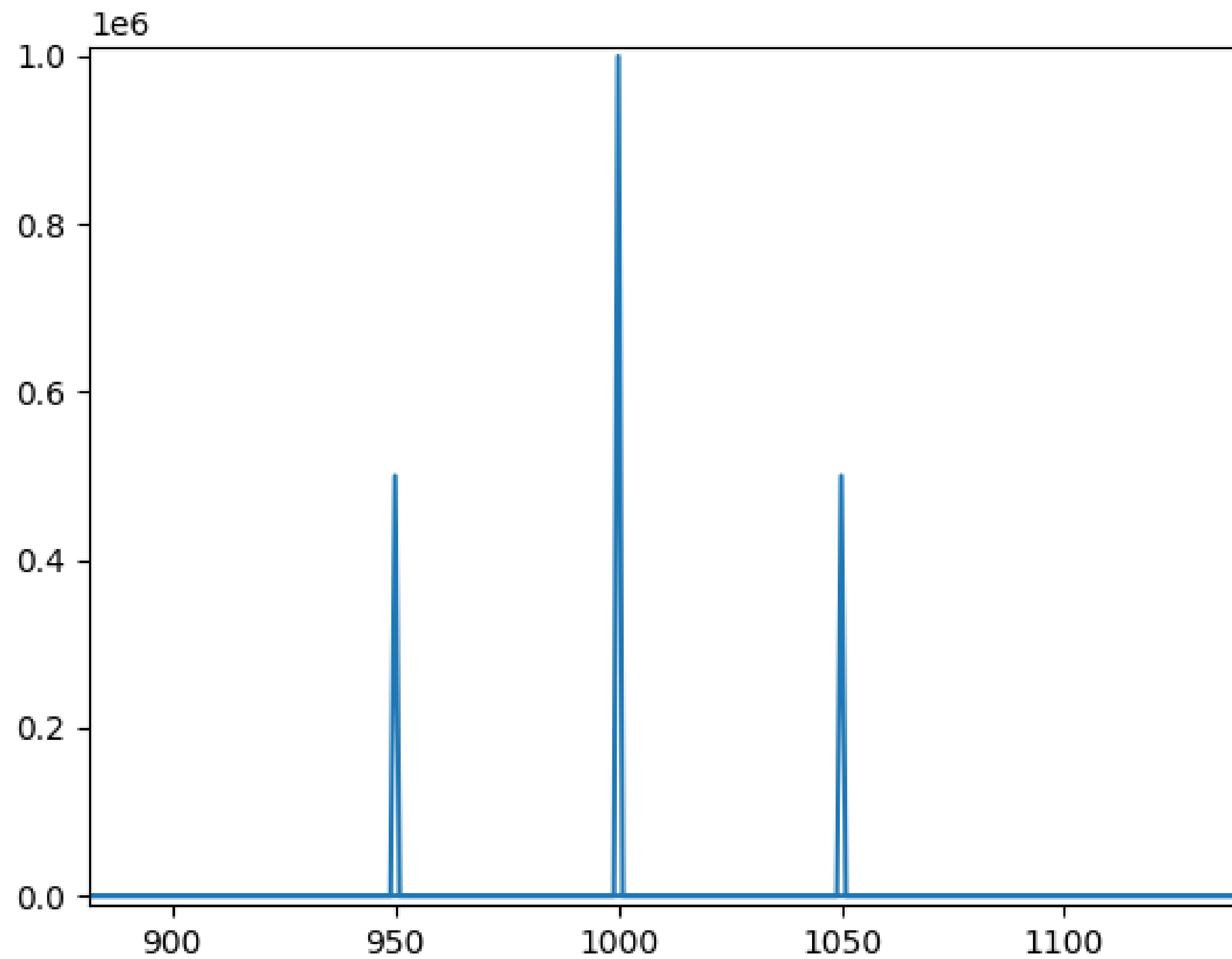


# Modulação em Amplitude (AM)

- No domínio da frequência, o processo de modulação AM é aproximadamente a convolução do espectro do sinal modulante com  $\delta(f_c)$  na frequência da portadora, pois  $f_{m\acute{a}x}[m(t)] \ll f_c$

$$\mathfrak{F}[m(t) \cdot \cos(\omega_c t + \phi)] \sim M(f) * \delta(f_c)$$

- Assim, o espectro do sinal modulado ocupa duas vezes mais largura de banda que o mesmo sinal em banda base.





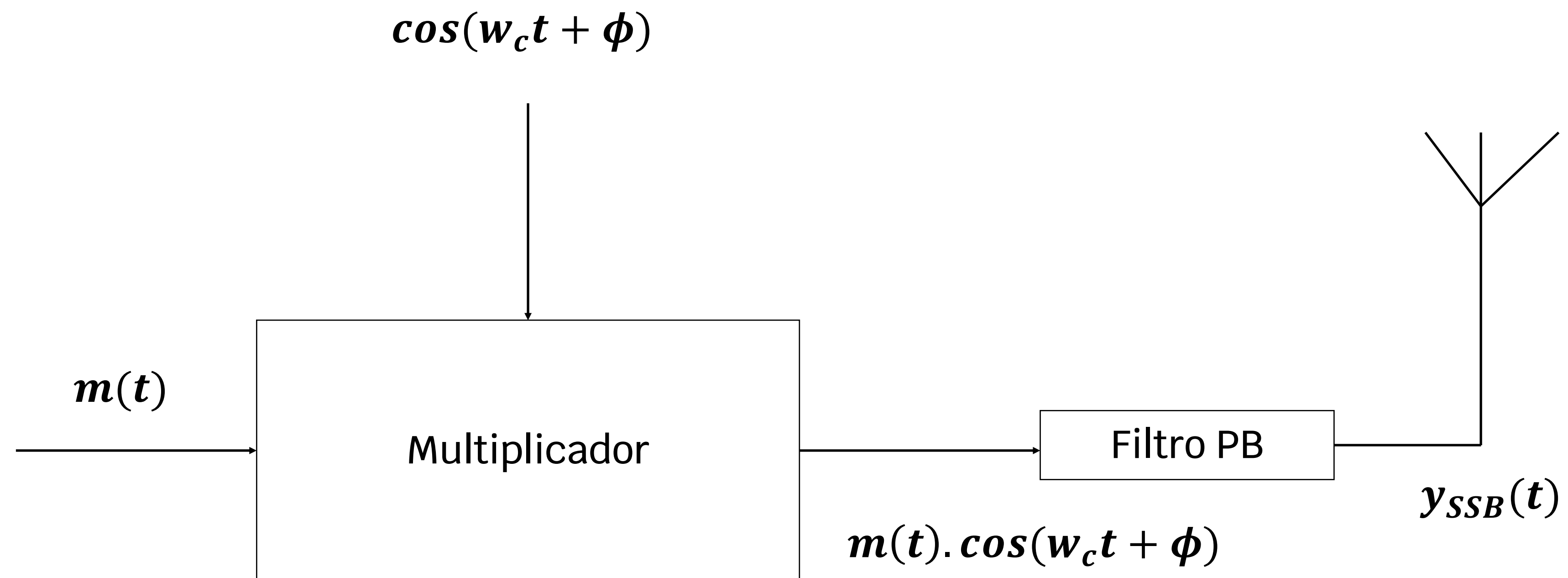
# Modulação em Amplitude (AM)

- Uma vez que o espectro é simétrico relativamente à frequência da portadora, é possível **aumentar a eficiência espectral através da eliminação de um dos lobos do espectro** antes de se proceder à transmissão do sinal.

# Modulação AM/SSB

- Uma vez que o espectro é simétrico relativamente à frequência da portadora, é possível **aumentar a eficiência espectral através da eliminação de um dos lobos do espectro** antes de se proceder à transmissão do sinal.

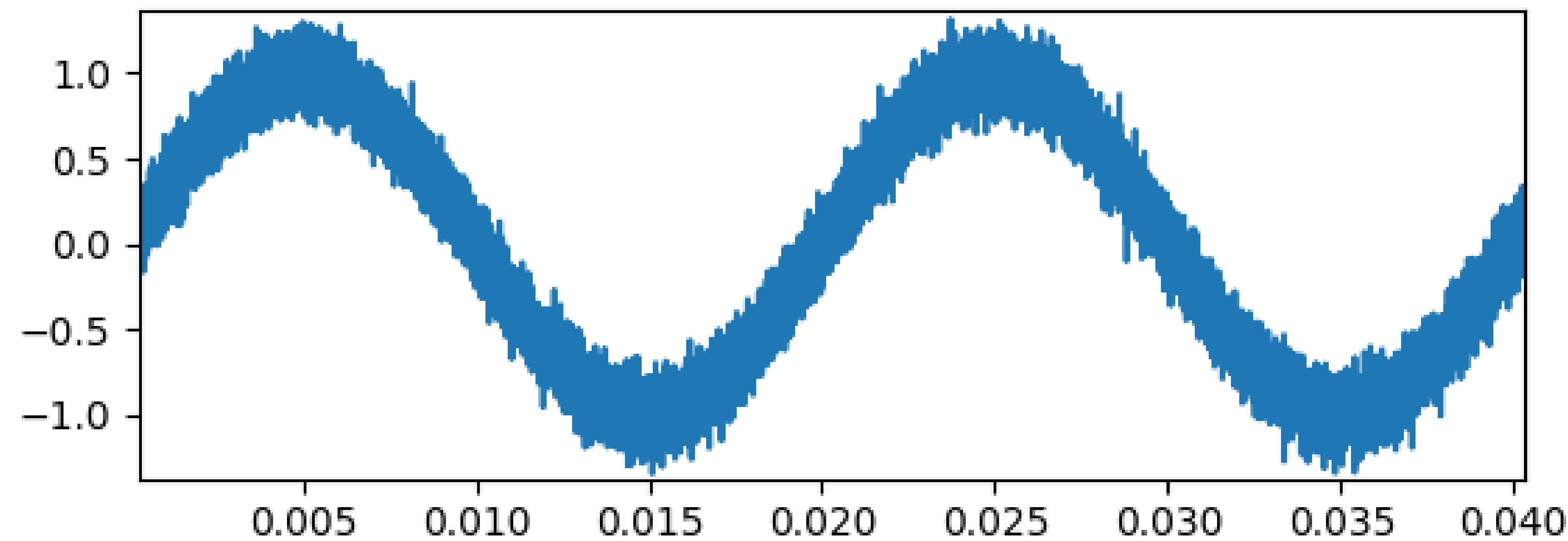
# Modulação AM/SSB



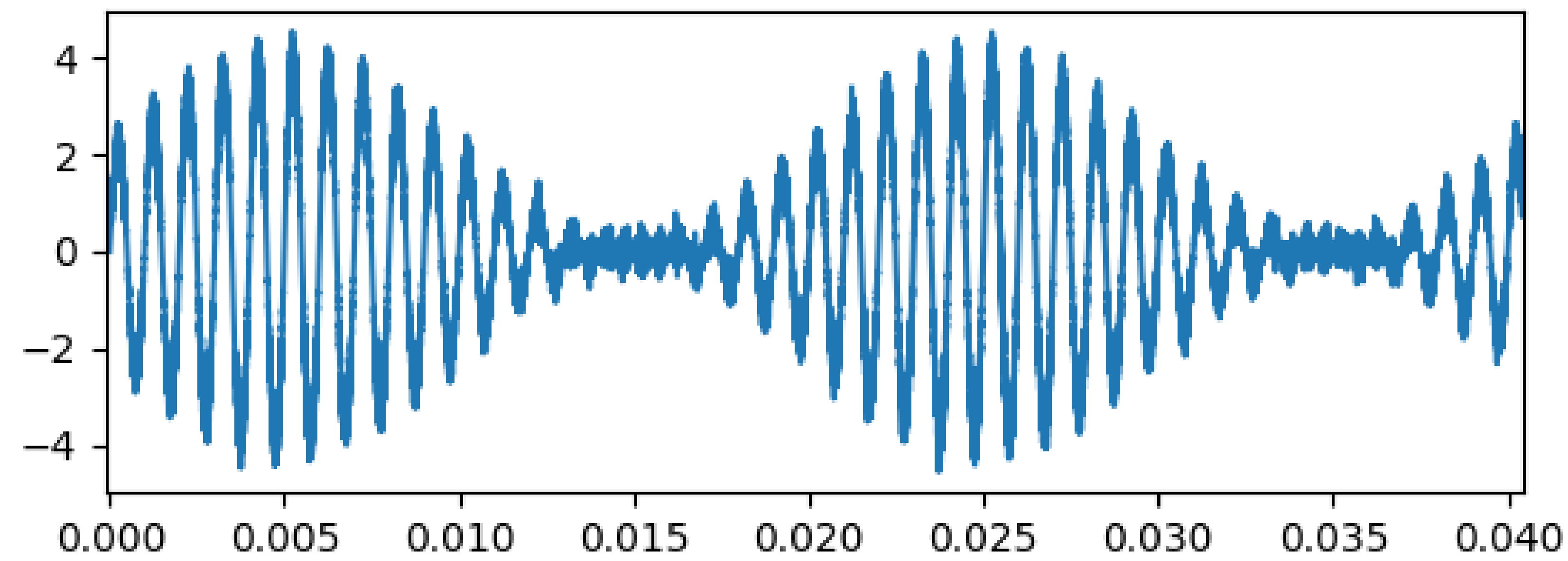
# Modulações AM, AM/SSB

- Os sinais modulados em AM são muito sensíveis ao ruído e interferência aditivos, uma vez que a informação é transportada pela amplitude da portadora.

Sinal modulante  
SNR = 20 dB



Onda modulada



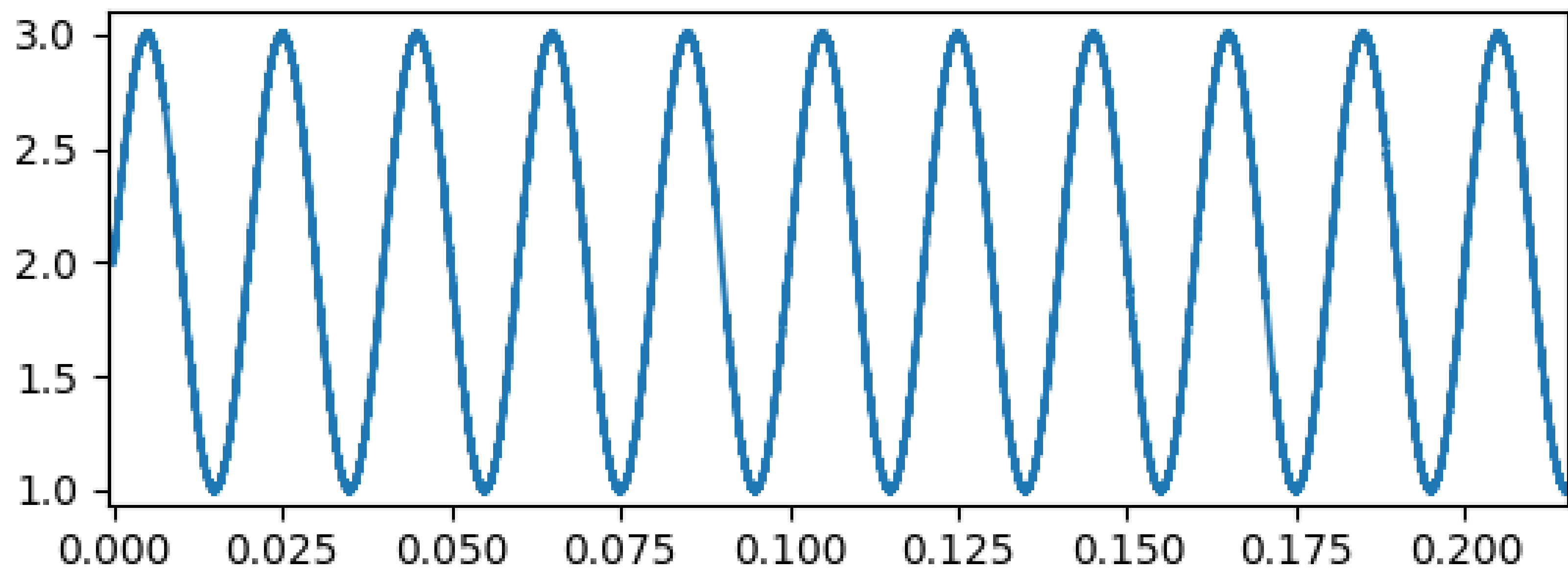
# Modulação em Frequência (FM)

- No sistema com modulação FM a frequência da portadora varia proporcionalmente com a variação do sinal modulante  $m(t)$

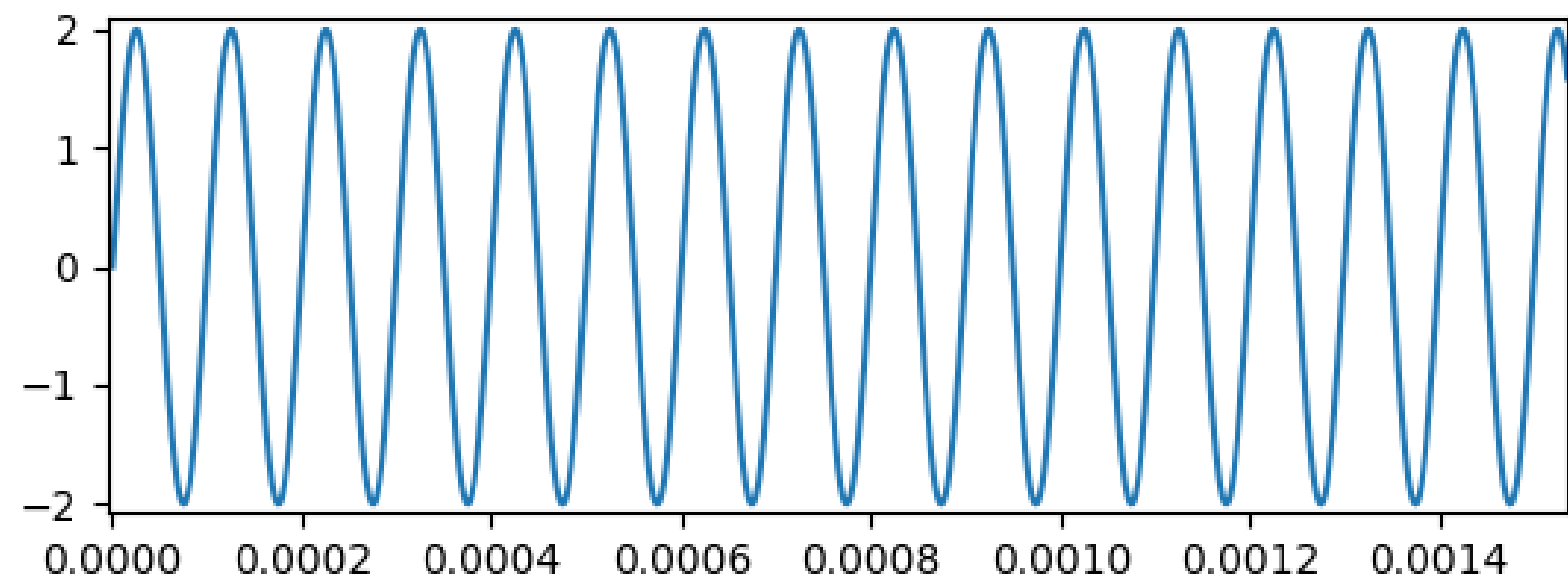
- A portadora tem a forma  $c(t) = A \cos\{2\pi[f_c + \Delta_{FM}m(t)]t + \phi\}$

, em que  $A$  é a amplitude,  $f_c$  é a frequência da portadora e  $\Delta_{FM}$  é o índice de modulação.

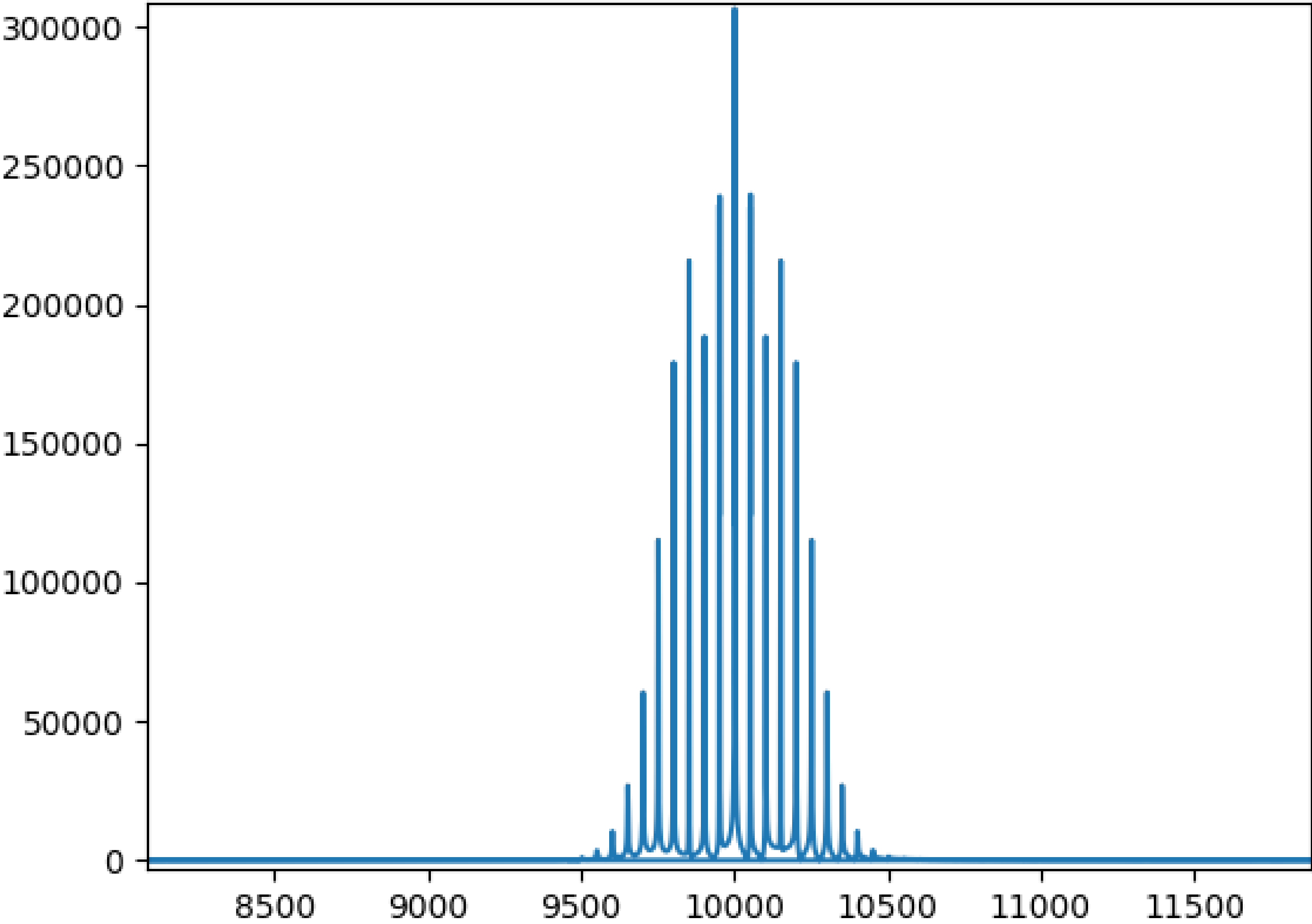
Sinal modulante  
SNR = 50 dB



Onda modulada



Espectro  
Onda modulada





# Modulação em Frequência (FM)

- O índice de modulação determina a amplitude da variação da frequência do sinal modulado. Quanto maior for o índice de modulação, maior será a variação de frequência para o mesmo sinal a transmitir e mais largo será o espectro do sinal modulado.
- Os sinais modulados em FM são **mais imunes ao ruído e à interferência** aditivos que os sinais AM, uma vez que a informação é transportada pela frequência instantânea do sinal modulado e não pela amplitude da portadora.
- Assim, os sistemas de transmissão em que é necessária uma maior qualidade do sinal (relação sinal-ruído) é utilizada normalmente a modulação em frequência.

# Referências

[1] Alencar, Marcelo S.; Telefonía Celular Digital; Capítulo 4; érica Saraiva;



IBMEC.BR

 /IBMEC

 IBMEC

 @IBMEC\_OFICIAL

 @IBMEC

 **ibmec**