

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

Centro Tecnológico

Departamento de Engenharia Elétrica

Princípios de Comunicações I

Modulação Analógica
Semestre Letivo 2020/1

Prof.: Jair A. Lima Silva

DEL-UFES

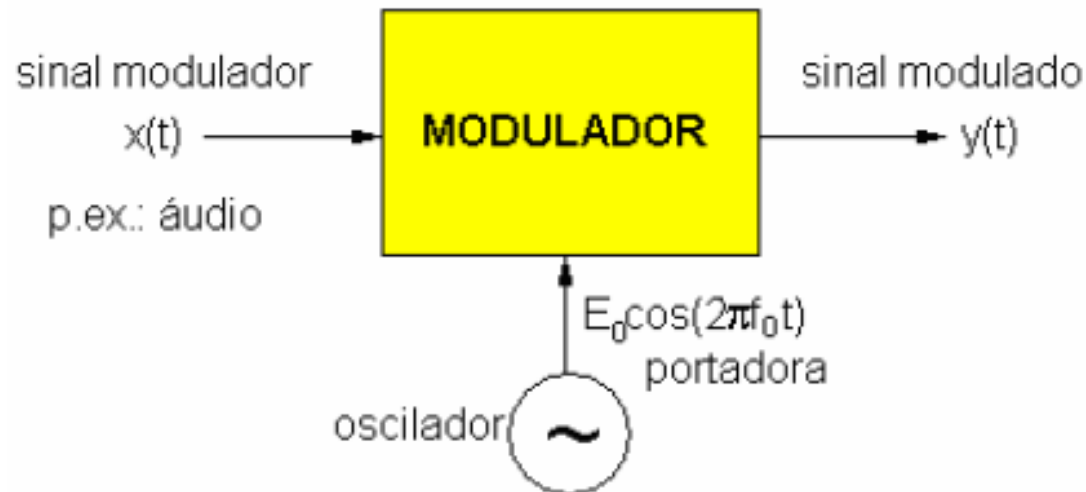
Índice

I. Modulação Analógica

- a. Definição
- b. Motivação
- c. Modulação de Amplitude

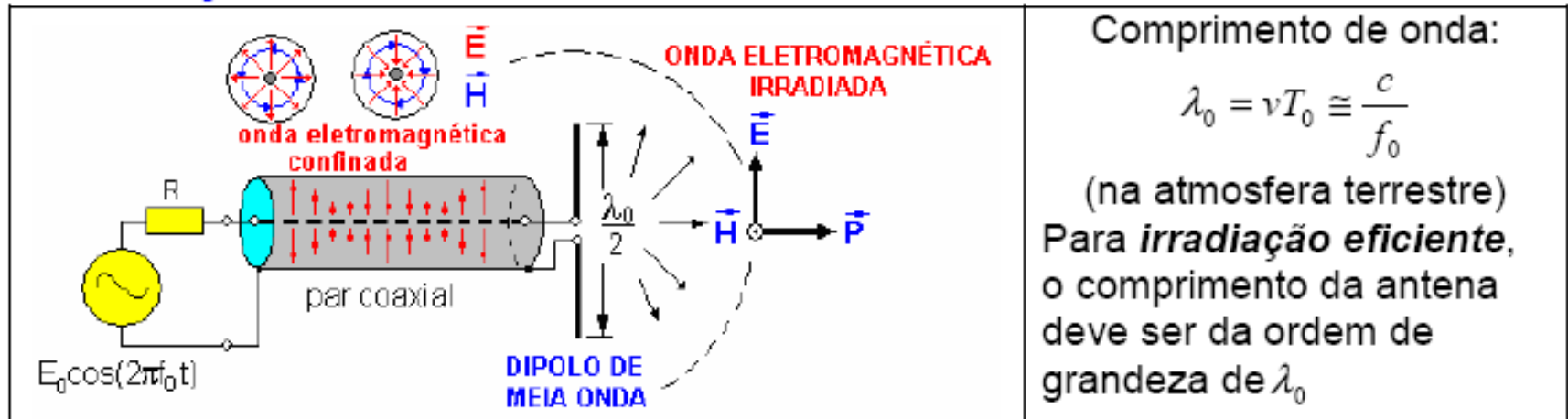
a. Modulação - Definição

ALTERAÇÃO de um dos PARÂMETROS de um *senal senoidal* $E_0 \cos(2\pi f_0 t)$
– a **“ONDA PORTADORA”** (ou, simplesmente **“PORTADORA”**) –
acompanhando a variação do *senal de informação*



b. Modulação - Motivação

IRRADIAÇÃO DE ONDA ELETROMAGNÉTICA



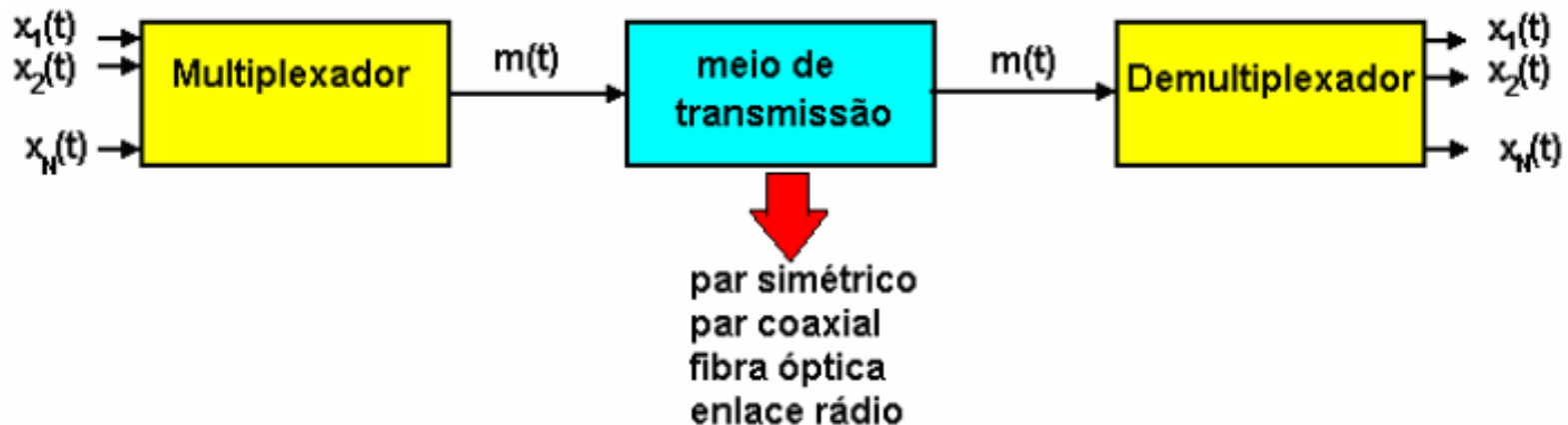
b. Modulação - Motivação

Multiplexação

combinação de N sinais $x_1(t)$, $x_2(t)$, ..., $x_N(t)$ em um sinal *único* $m(t)$, de uma forma que permita sua posterior separação.

Demultiplexação

separação dos N sinais $x_1(t)$, $x_2(t)$, ..., $x_N(t)$ que compõem o sinal multiplexado $m(t)$

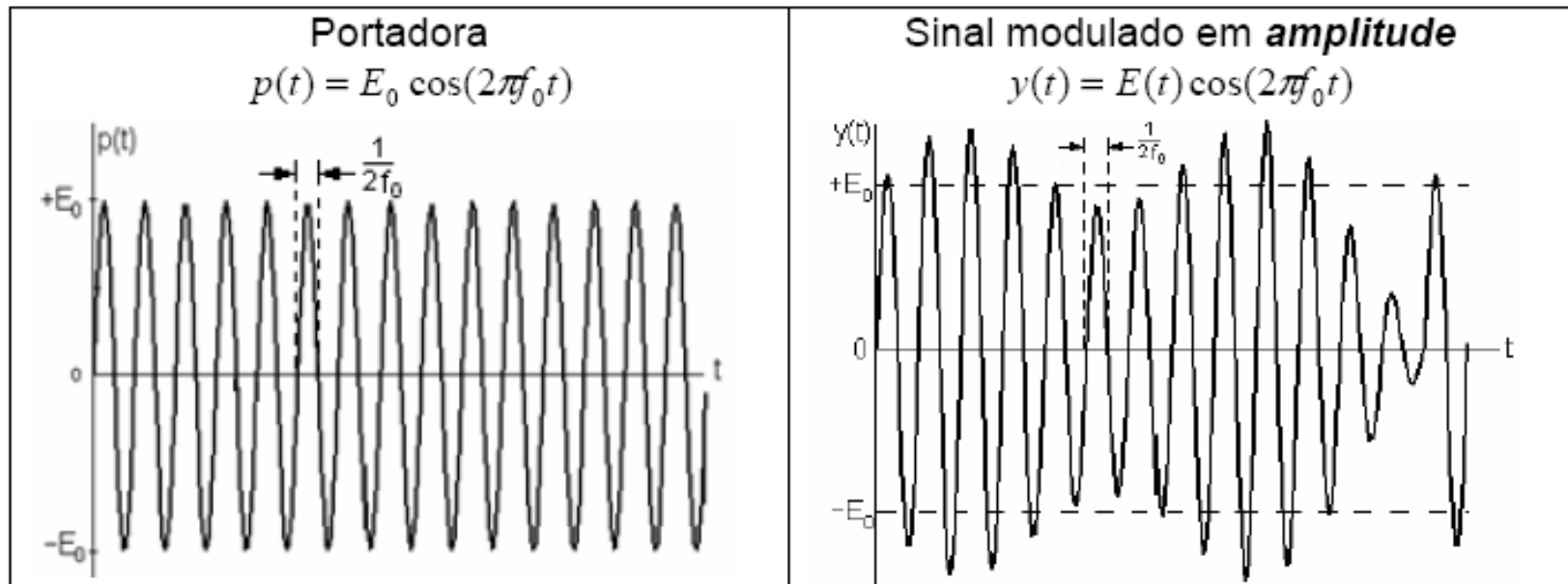


c. Modulação de Amplitude

MODULAÇÃO DE AMPLITUDE

AMPLITUDE acompanha $x(t) \rightarrow y(t) = E(t) \cos(2\pi f_0 t)$

\uparrow \uparrow
amplitude **alterada** ângulo inalterado



c. Modulação de Amplitude

Muitos Sistemas de Comunicação baseiam-se no conceito de modulação em amplitude senoidal, em que um sinal $\mathbf{c}(t)$ tem sua amplitude alterada (modulada) pelo sinal contendo informação $\mathbf{x}(t)$. O sinal $\mathbf{x}(t)$ é tipicamente conhecido como *sinal modulador* ou *modulante*, e o sinal $\mathbf{c}(t)$ como *portadora*. O *sinal modulado* $\mathbf{y}(t)$ é, então, o produto desses dois sinais:

$$y(t) = x(t) \cdot c(t)$$

c. Modulação de Amplitude

O objetivo essencial da modulação em amplitude é deslocar $x(t)$ para uma faixa de frequência adequada para transmissão pelo canal de comunicação a ser usado. Em sistemas de comunicação, a frequência do sinal $c(t)$ é muito maior do que a máxima frequência do sinal $x(t)$ (cerca de 100 vezes maior). Para entendermos o que ocorre no processo de modulação devemos recorrer às propriedades da transformada de Fourier, que conduzem ao *Teorema da Modulação*.

$$y(t) = x(t) \cdot c(t)$$

c. Modulação de Amplitude

Teorema da Modulação

A transformada de Fourier de um sinal qualquer $\mathbf{x(t)}$ é obtida por:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \exp(-j2\pi ft) dt$$

A transformada de Fourier do sinal modulado $\mathbf{y(t) = x(t)c(t)}$ é obtido por:

$$Y(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) c(t) \exp(-j2\pi ft) dt$$

c. Modulação de Amplitude

Teorema da Modulação

Existem duas formas comuns de modulação de amplitude senoidal:

Uma em que o sinal da portadora $\mathbf{c}(t)$ é uma exponencial complexa

$$c(t) = e^{j\omega_c t}$$

$$c(t) = \cos \omega_c t + j \sin \omega_c t$$

E uma em que o sinal da portadora $\mathbf{c}(t)$ é uma senoidal

$$c(t) = \cos \omega_c t$$

onde $\omega_c = 2\pi f_c$ é a frequência da portadora.

c. Modulação de Amplitude

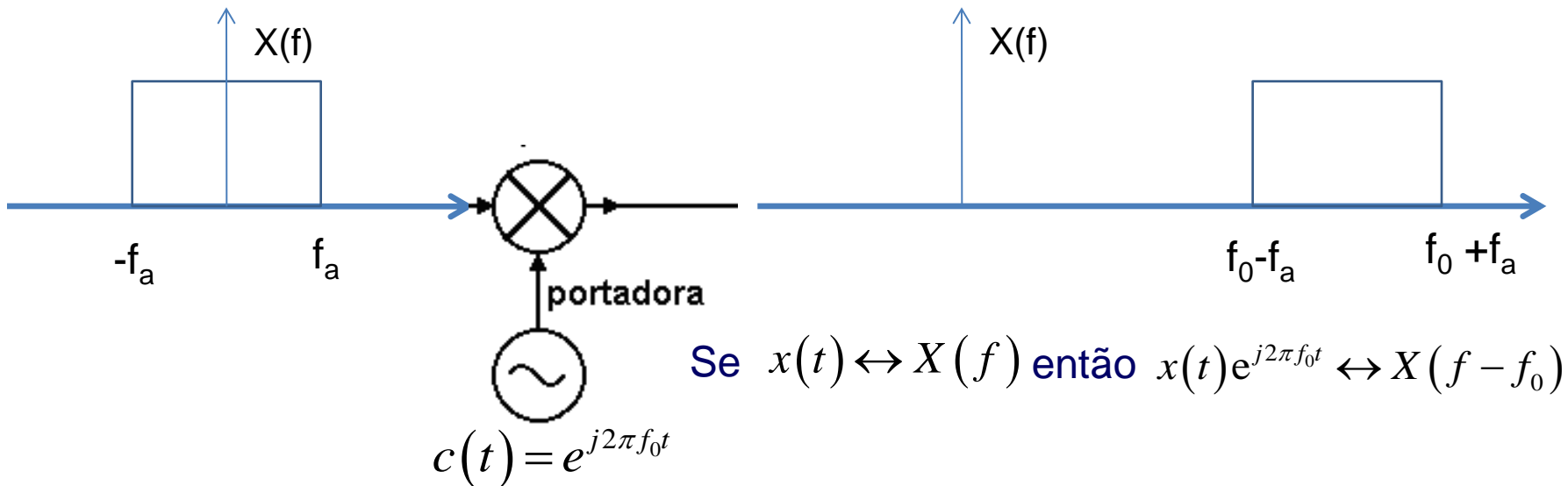
Teorema da Modulação

Para a portadora exponencial complexa

$$y(t) = x(t)e^{j\omega_c t}$$

$$Y(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)e^{j2\pi f_c t} e^{-j2\pi f t} dt = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)e^{-j2\pi t(f-f_c)} dt = X(f - f_0)$$

Esta é a propriedade do **deslocamento em frequência** em que $Y(f)$ é o espectro do sinal $x(t)$ deslocado na frequência da portadora f_0 .



c. Modulação de Amplitude

Teorema da Modulação

Para uma portadora senoidal

$$y(t) = x(t) \cos(2\pi f_0 t)$$

Usando o teorema de Euler, podemos escrever $y(t)$ por:

$$y(t) = \frac{1}{2} x(t) \exp(j2\pi f_0 t) + \frac{1}{2} x(t) \exp(-j2\pi f_0 t)$$

Aplicando a propriedade de deslocamento em frequência da transformada de Fourier ao sinal $\mathbf{y(t)}$, obtemos.

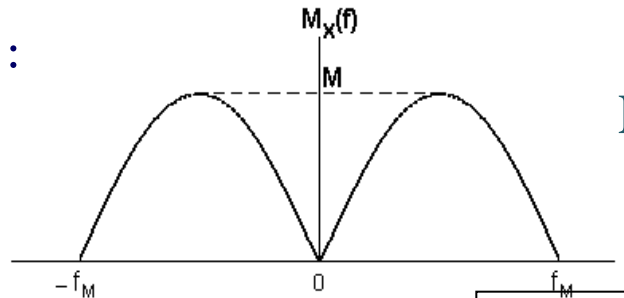
$$Y(f) = \frac{1}{2} X(f - f_0) + \frac{1}{2} X(f + f_0)$$

Nessa condição, o espectro de amplitude de $\mathbf{y(t)}$ corresponde ao espectro de amplitude de $\mathbf{x(t)}$ multiplicado por $\frac{1}{2}$ e deslocado para a frequência positiva $+f_0$ e para a frequência negativa $-f_0$.

c. Modulação de Amplitude

Teorema da Modulação

Considere :

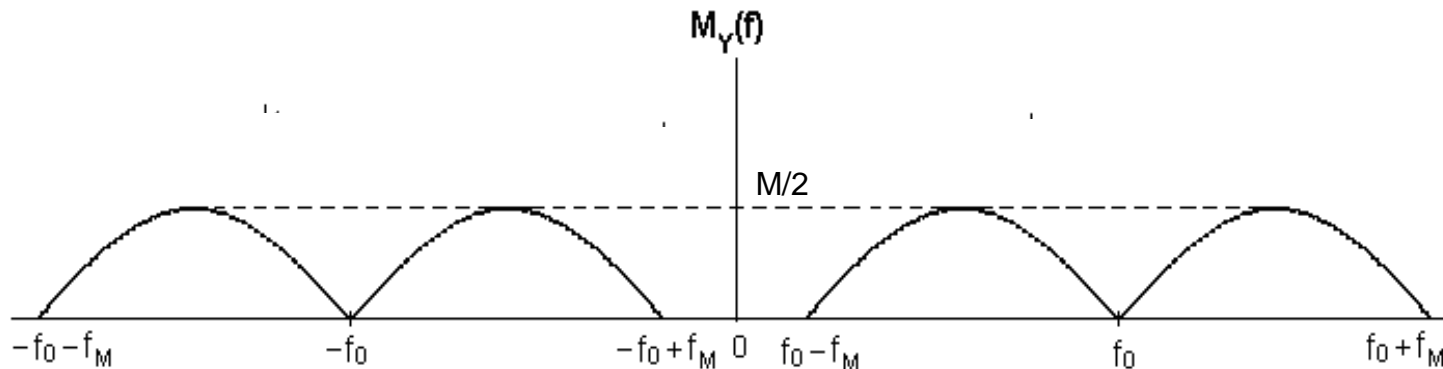


Espectro de amplitude de $x(t)$

$$y(t) = x(t) \cos(2\pi f_0 t)$$

**$|f_0| > |f_M|$ para que não ocorra
sobreposição dos lóbulos.**

O espectro de frequência do sinal $y(t)$ é dado por:



Espectro de amplitude de $y(t)$

c. Modulação de Amplitude

Teorema da Modulação

Portadora Complexa *versus* Portadora Senoidal

Portadora complexa

- f_0 pode ter qualquer valor;
- Não são gerados lóbulos extras;
- O bloco modulador é complexo e mais caro.

Portadora senoidal

- f_0 deve ser maior do que a maior frequência de $\mathbf{x}(t)$, caso contrário ocorre sobreposição dos lóbulos e erro de demodulação;
- Há geração de um lóbulo extra — a banda ocupada é duplicada;
- O bloco modulador é mais simples de ser implementado.

c. Modulação de Amplitude

Atividade Síncrona – Atividade 3 do Classroom

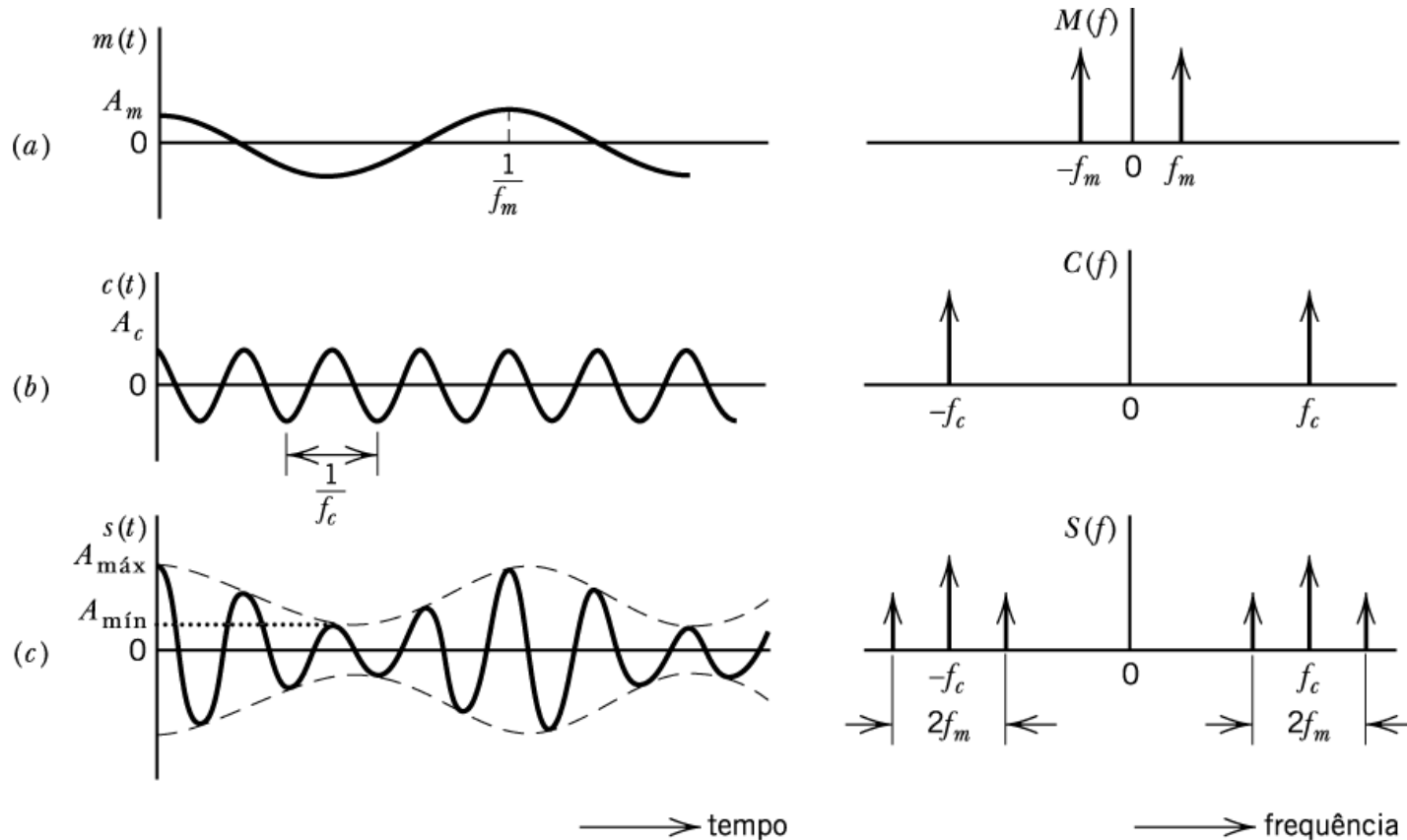


Ilustração das características do domínio do tempo (à esquerda) e do domínio da frequência (à direita) para modulações em amplitude padrão produzidas por um tom único. (a) Onda modulante. (b) Onda portadora. (c) Onda AM.