

# Curso: Engenharia de Computação

**Sistemas de Comunicações Móveis**

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



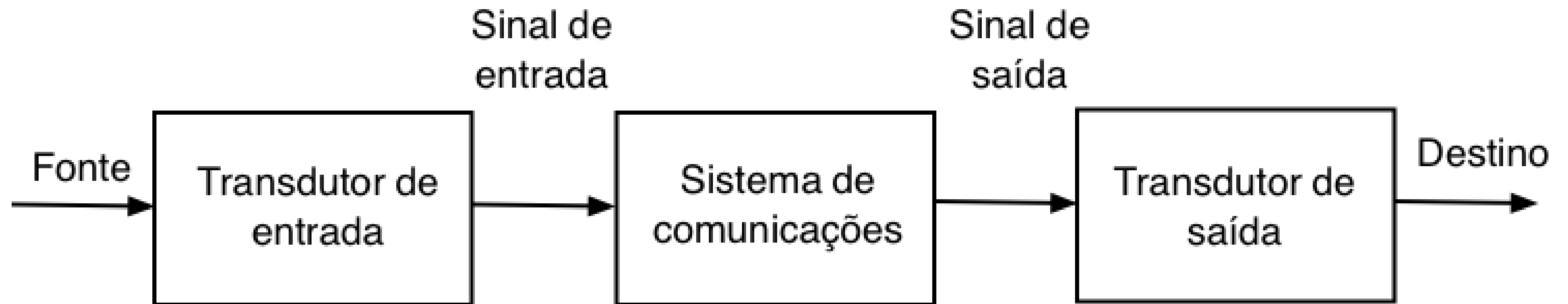


# Transdutor

# Informações e mensagens

- Mensagem: **manifestação física** da informação, produzida por uma **fonte**
- **Objetivo** do sistema de comunicações: reproduzir no destino de forma aceitável uma réplica da mensagem gerada pela fonte
- Transdutores e sinais elétricos

# Transdutores, sinais elétricos e sistemas de comunicações





# sistemas de comunicações móveis

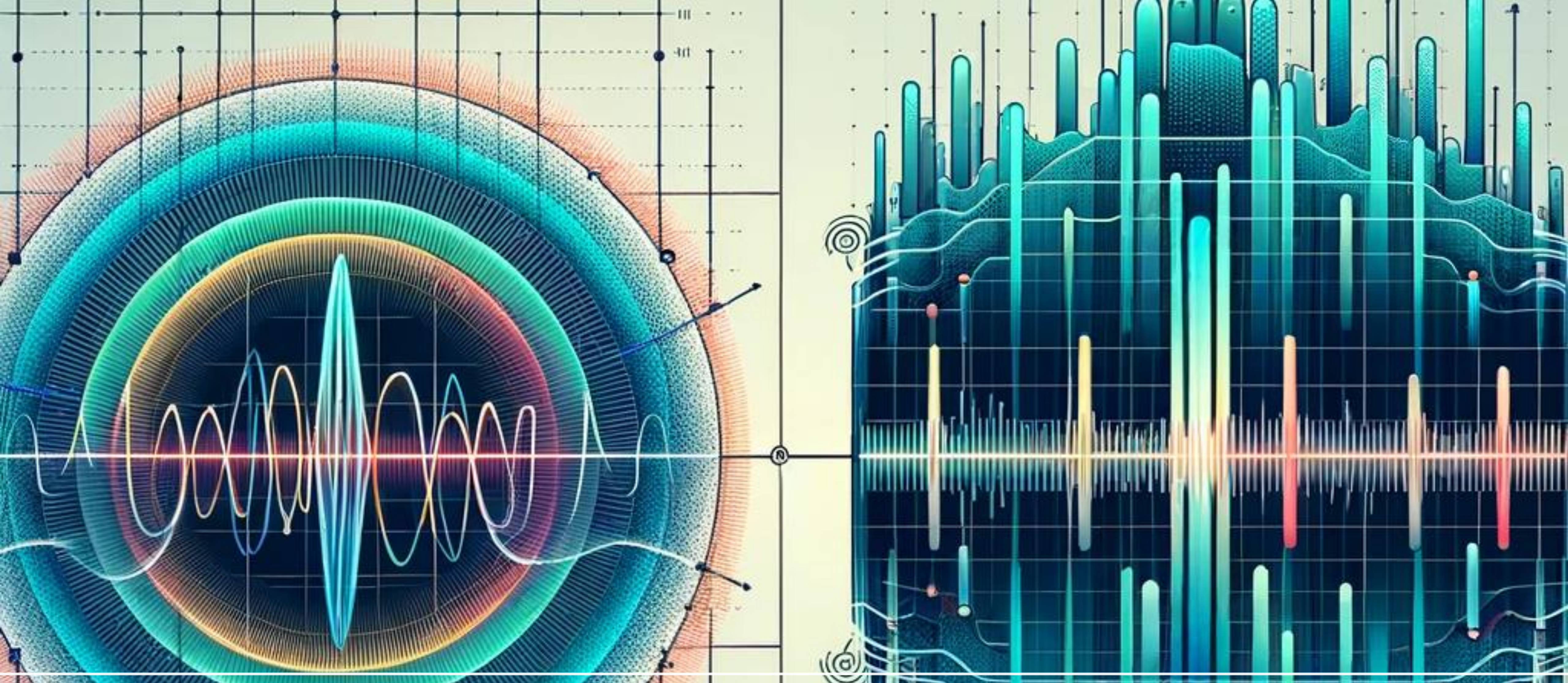




# Sistemas de comunicações móveis x fixos

- **Mobilidade**: Nos sistemas móveis, os usuários podem se mover livremente enquanto continuam conectados à rede. Há um movimento relativo entre transmissor e receptor.
- **Handover**: Quando um usuário se move de uma área coberta por uma estação base para outra, o sistema realiza um processo chamado *handover*, transferindo a comunicação sem interrupção para a nova estação base.
- **Uso de canal de RF em frequências variáveis**: utilização de espectros de frequência variáveis para manter a comunicação sem fio em diferentes locais e condições utilizando o canal de RF.



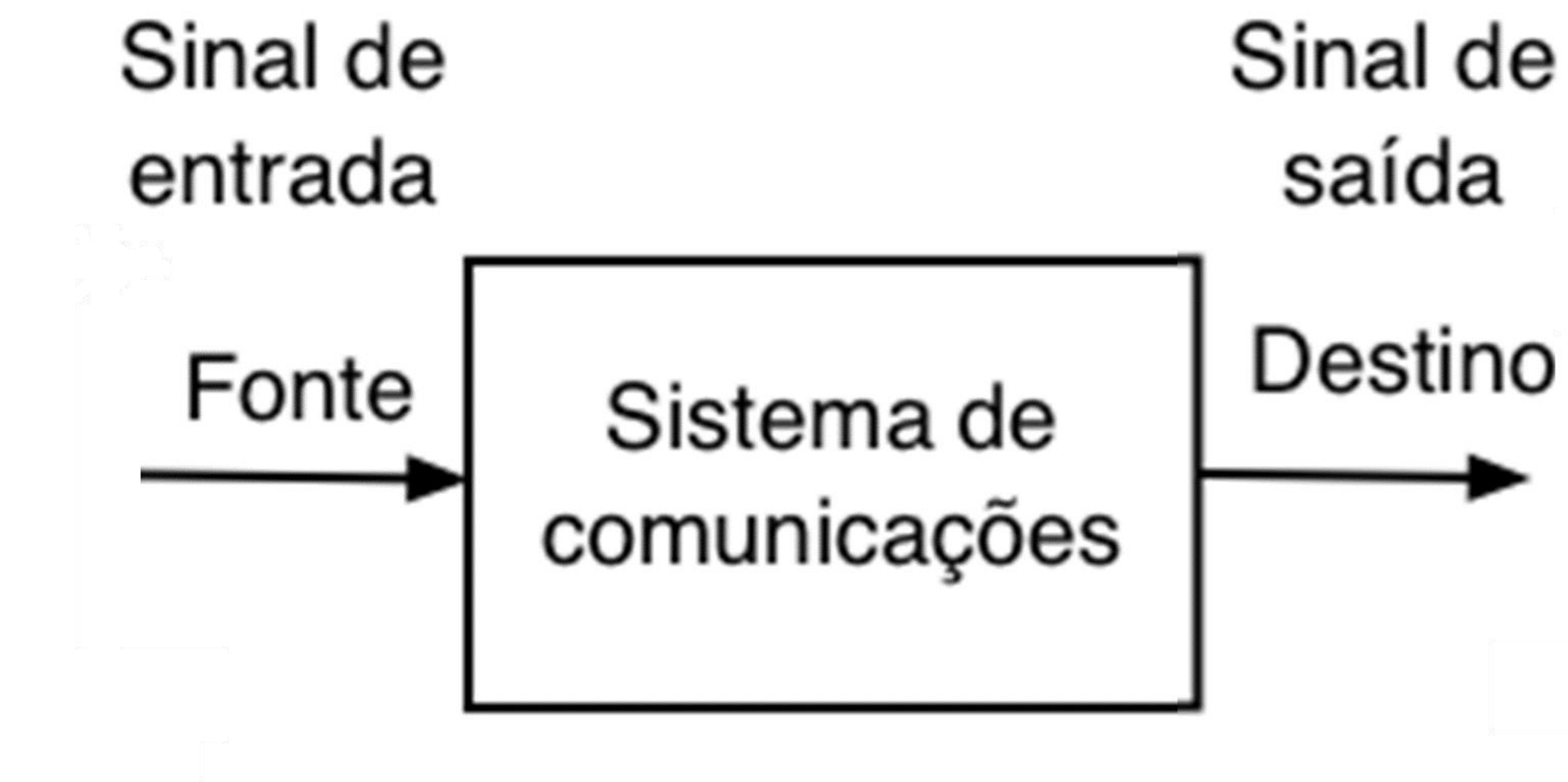


# Sinais de comunicações



# Sinal de entrada

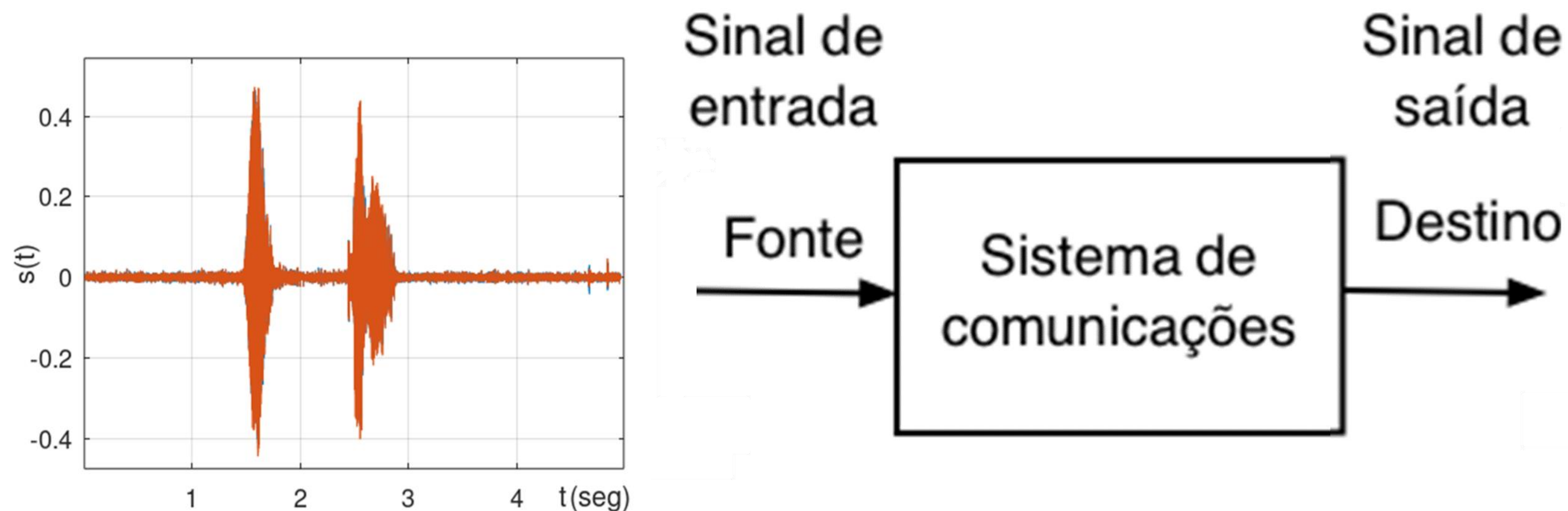
- A fonte gera mensagens que têm a forma de funções contínuas de tempo ou fluxos de símbolos discretos.





# Sinal analógico

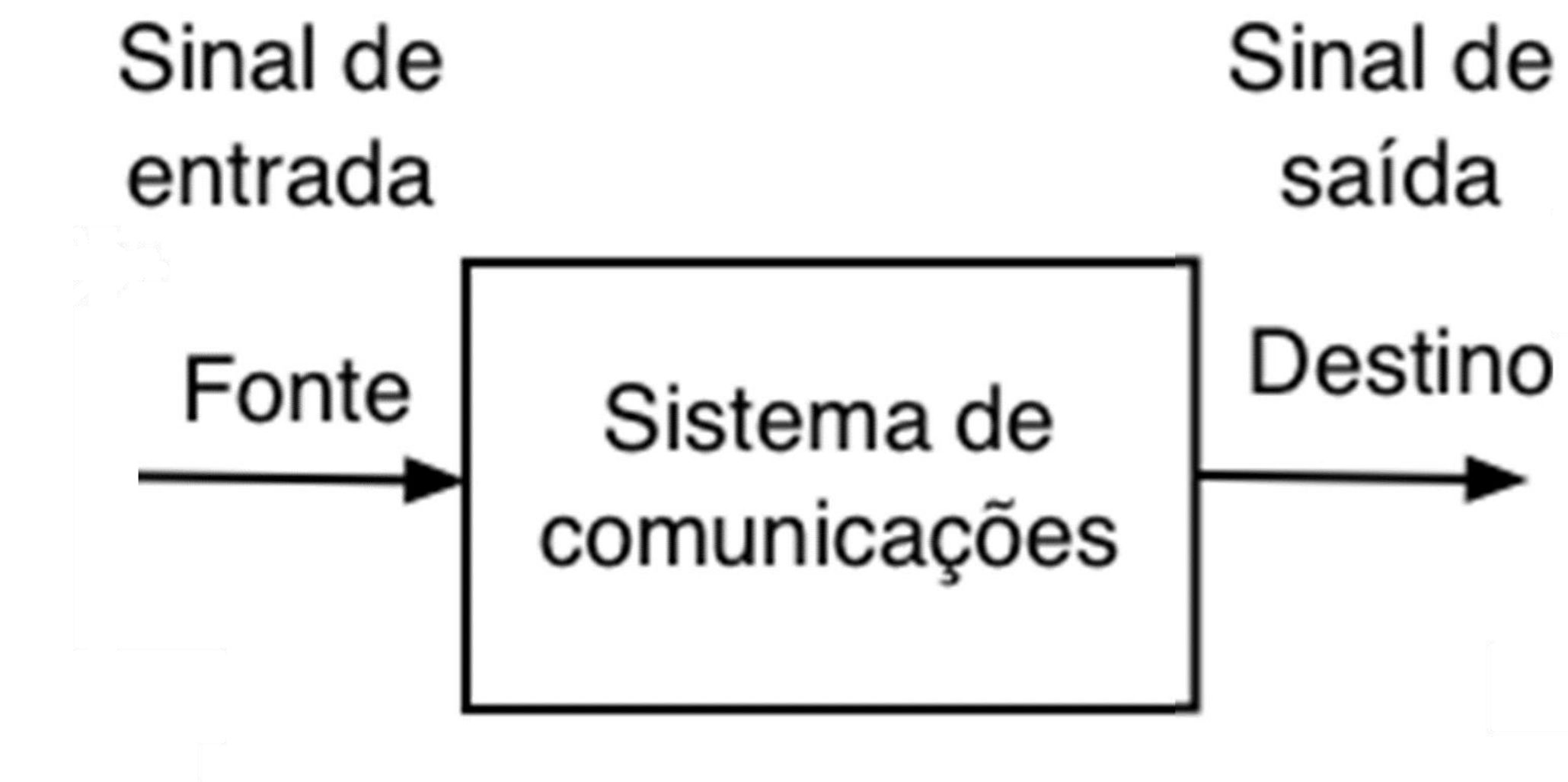
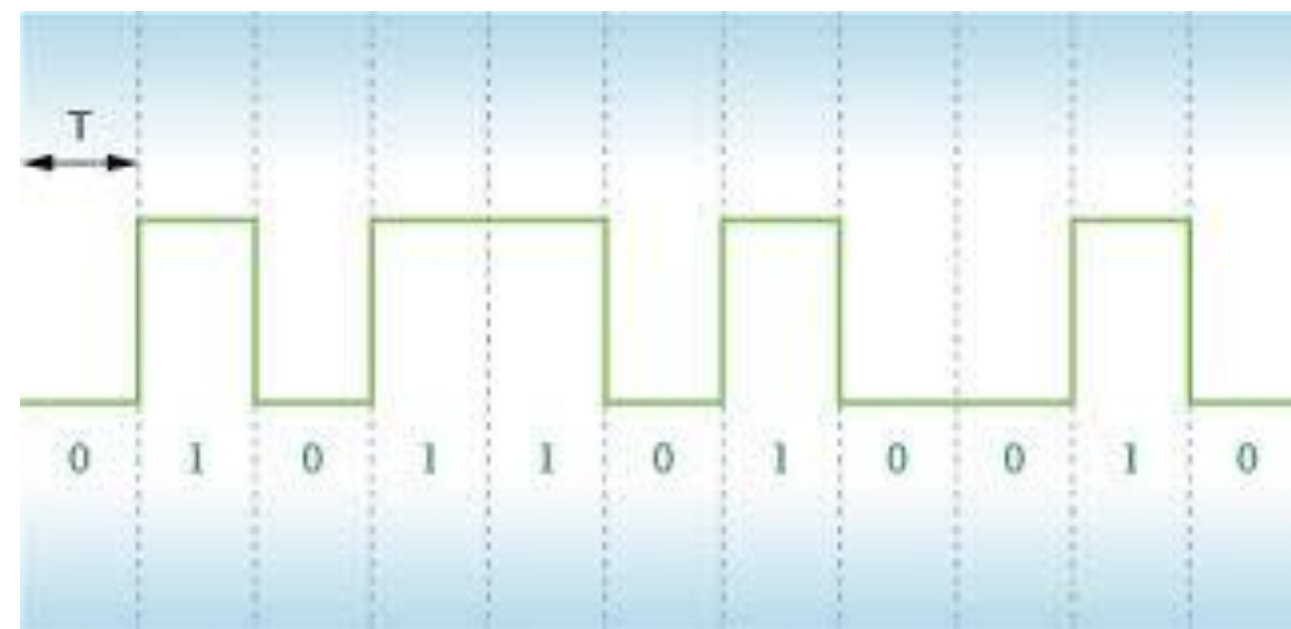
- Um exemplo de mensagem contínua é a forma de onda que caracteriza a **voz**. A **continuidade** no domínio do tempo e da grandeza que mensura seu comportamento caracteriza o sinal como analógico.





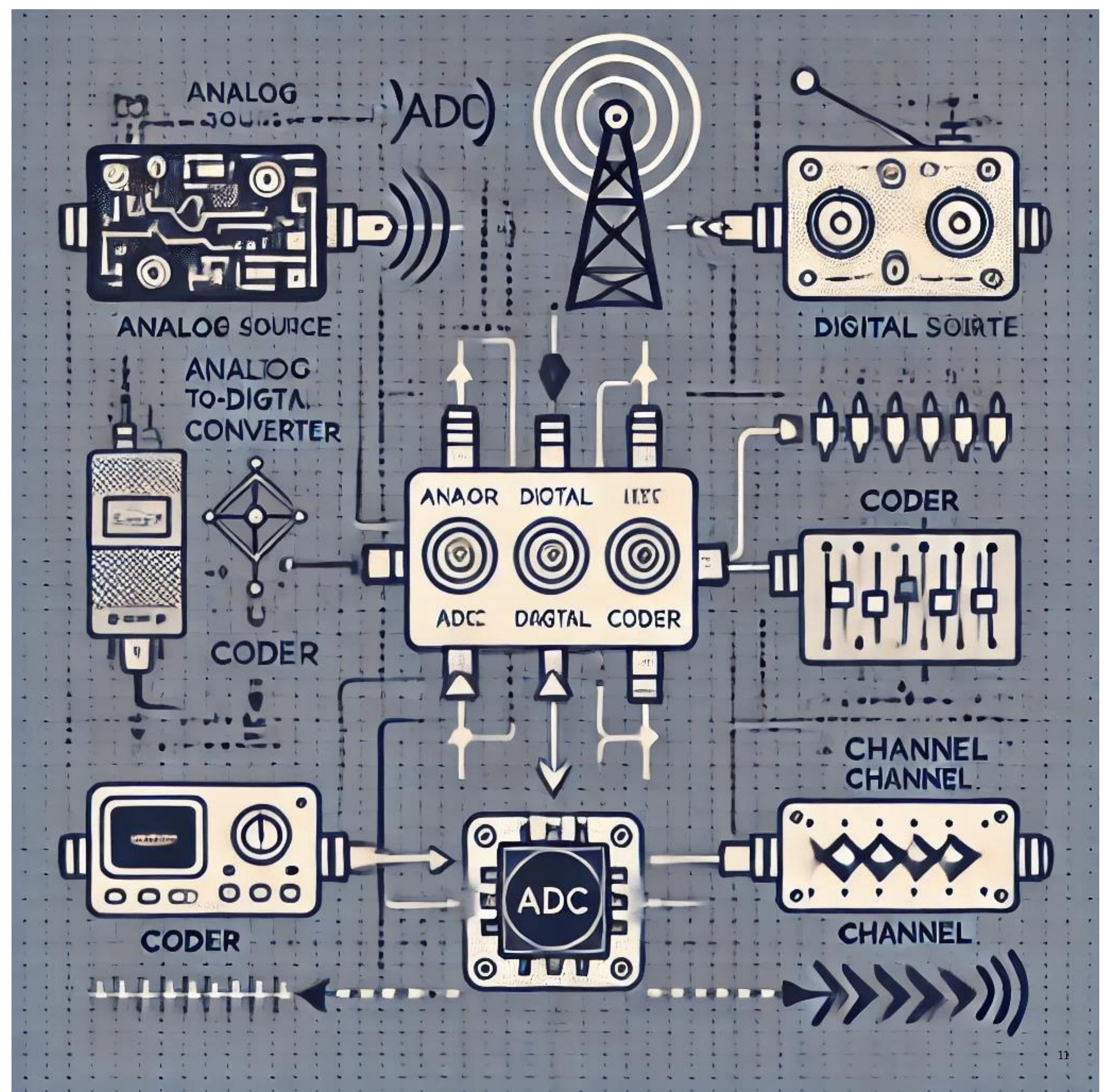
# Sinal digital

- Um sinal produzido por uma fonte discreta de símbolos representados por 1s e 0s, por exemplo, um computador.





# Sistemas de comunicações analógicos e digitais





# Domínios de representação do sinal

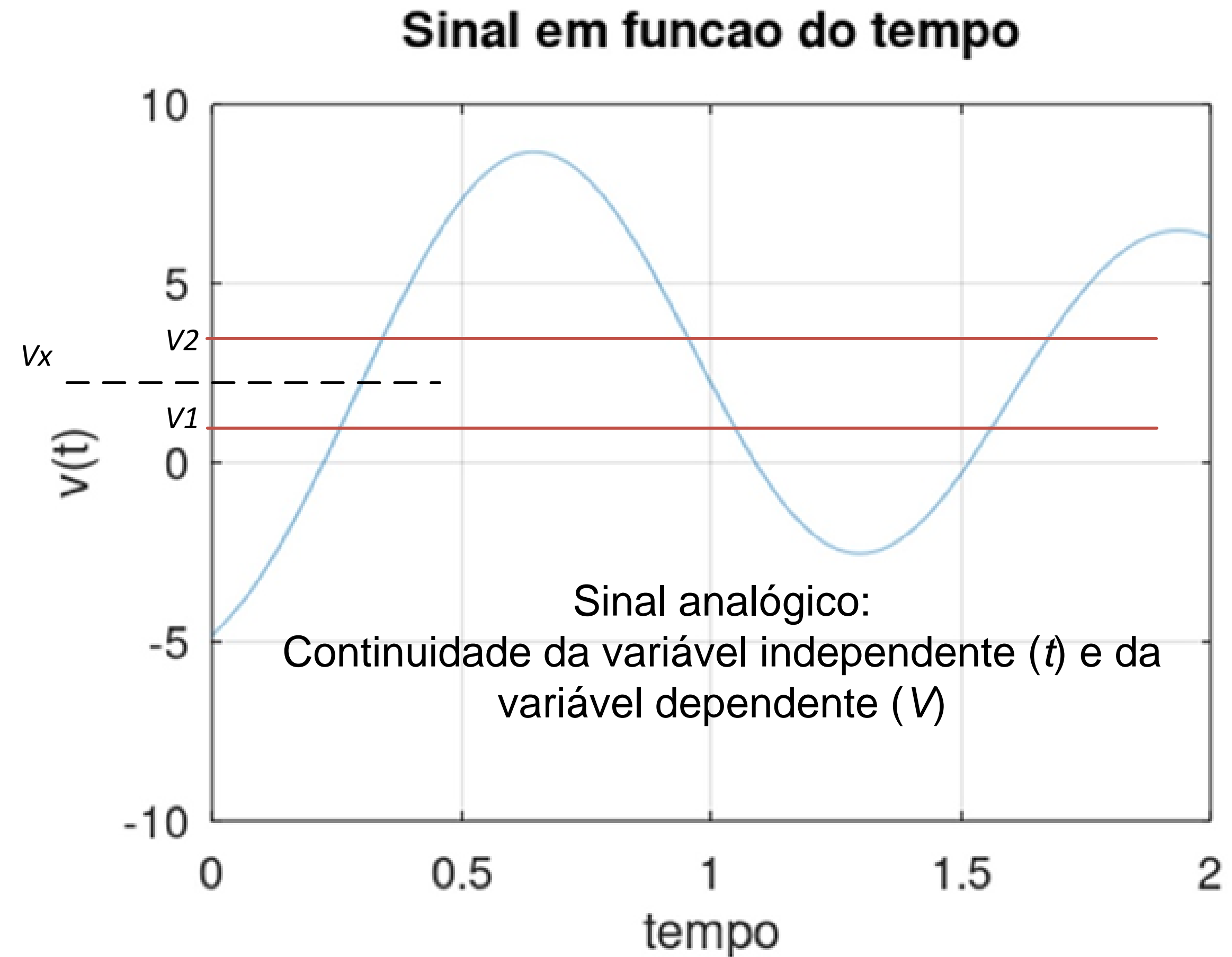
- Domínio do **tempo** – Representa o comportamento do sinal elétrico  $x$ , que transporta a informação, em função do tempo,  $t$
- Domínio da **frequência** – Representa o comportamento do sinal elétrico  $X$  em função da sua taxa de variação com o tempo ou frequência,  $f$



# Comportamento do sinal em função do tempo

O comportamento do sinal elétrico ( $x$ ), medido segundo uma unidade, como tensão (volts) – variável dependente – pode ser descrito em função do tempo ( $t$ ) – variável independente:

$$x = f(t)$$



# espectro de frequências

- A velocidade ou taxa da variação do sinal no tempo, medida em hertz (**Hz**), é chamada de frequência
- Todo sinal  $x(t)$  pode ser representado por uma combinação linear de componentes que representa o seu **comportamento espectral**, ou seja, das suas componentes em frequência, chamada de **Transformada de Fourier**

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

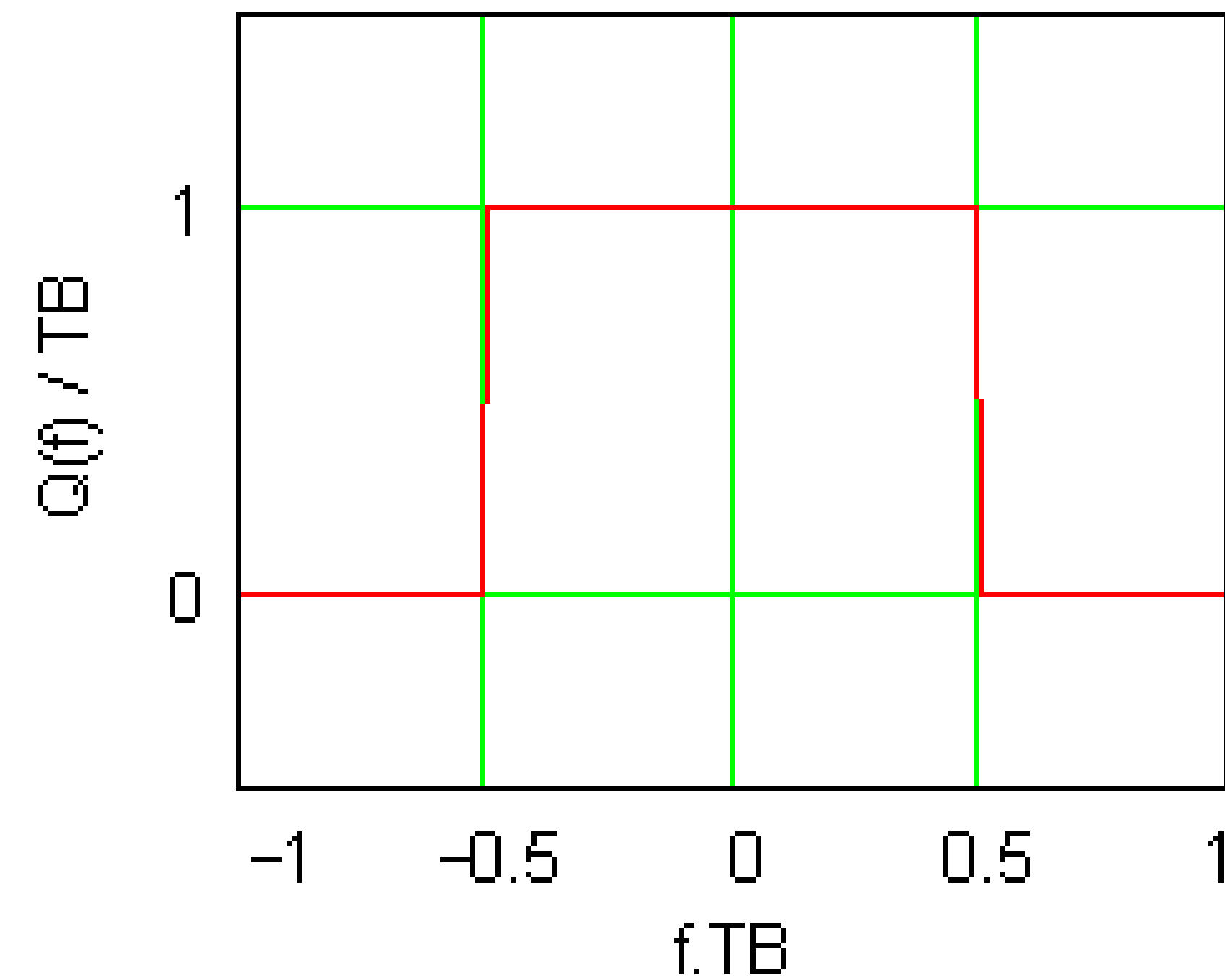
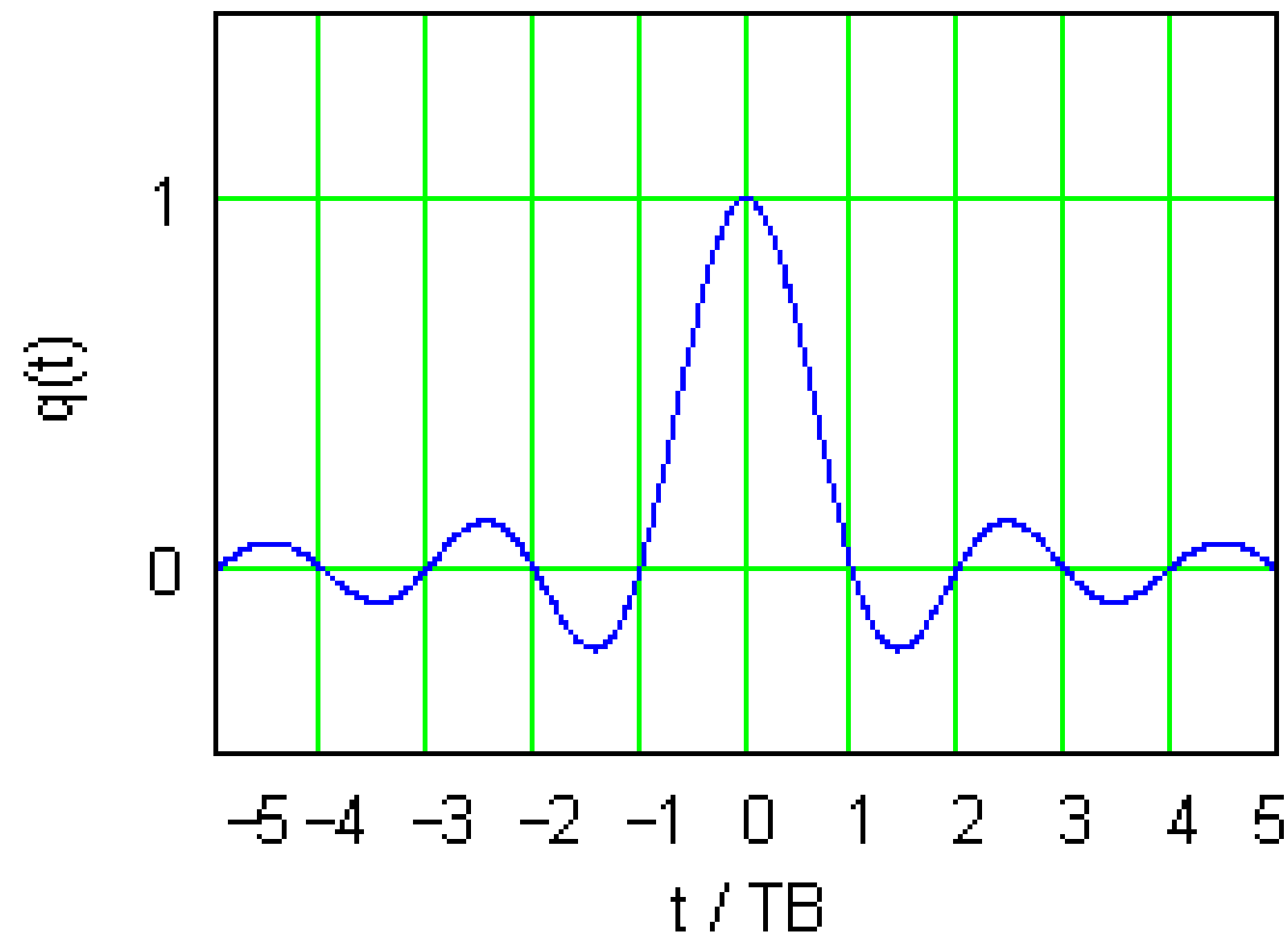
, onde  $\omega = 2\pi f$  é a frequência angular



# espectro de frequências

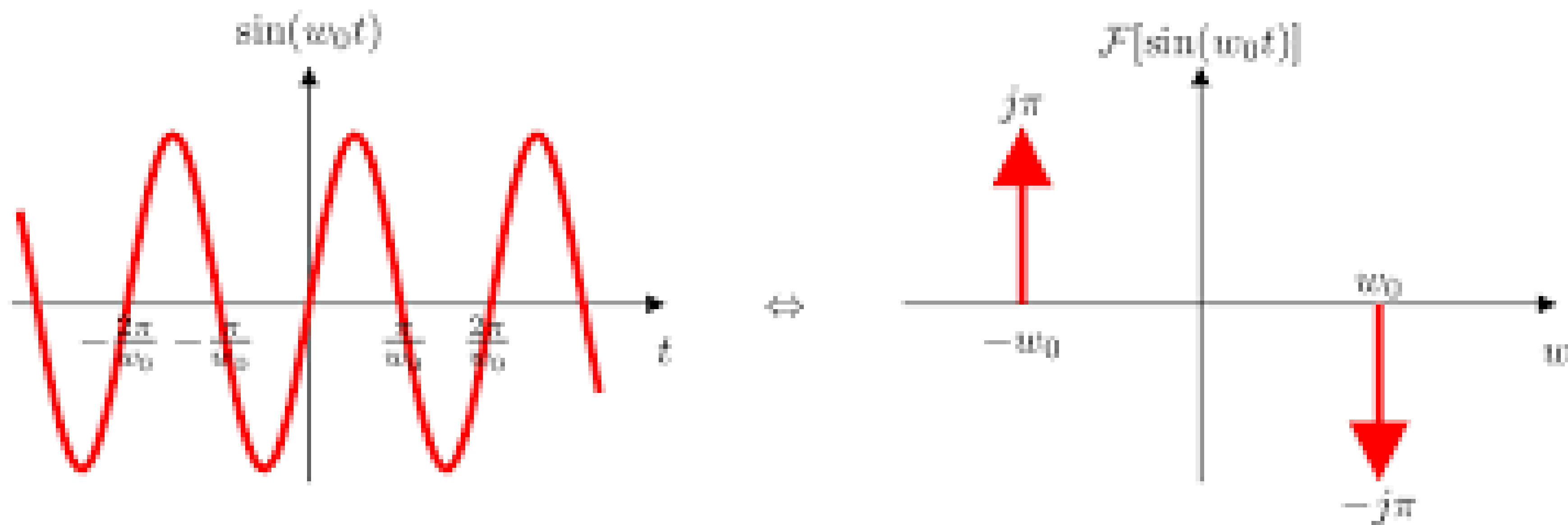
Exemplo: pulso retangular

$$\alpha = 0$$



# espectro de frequências

Exemplo: seno

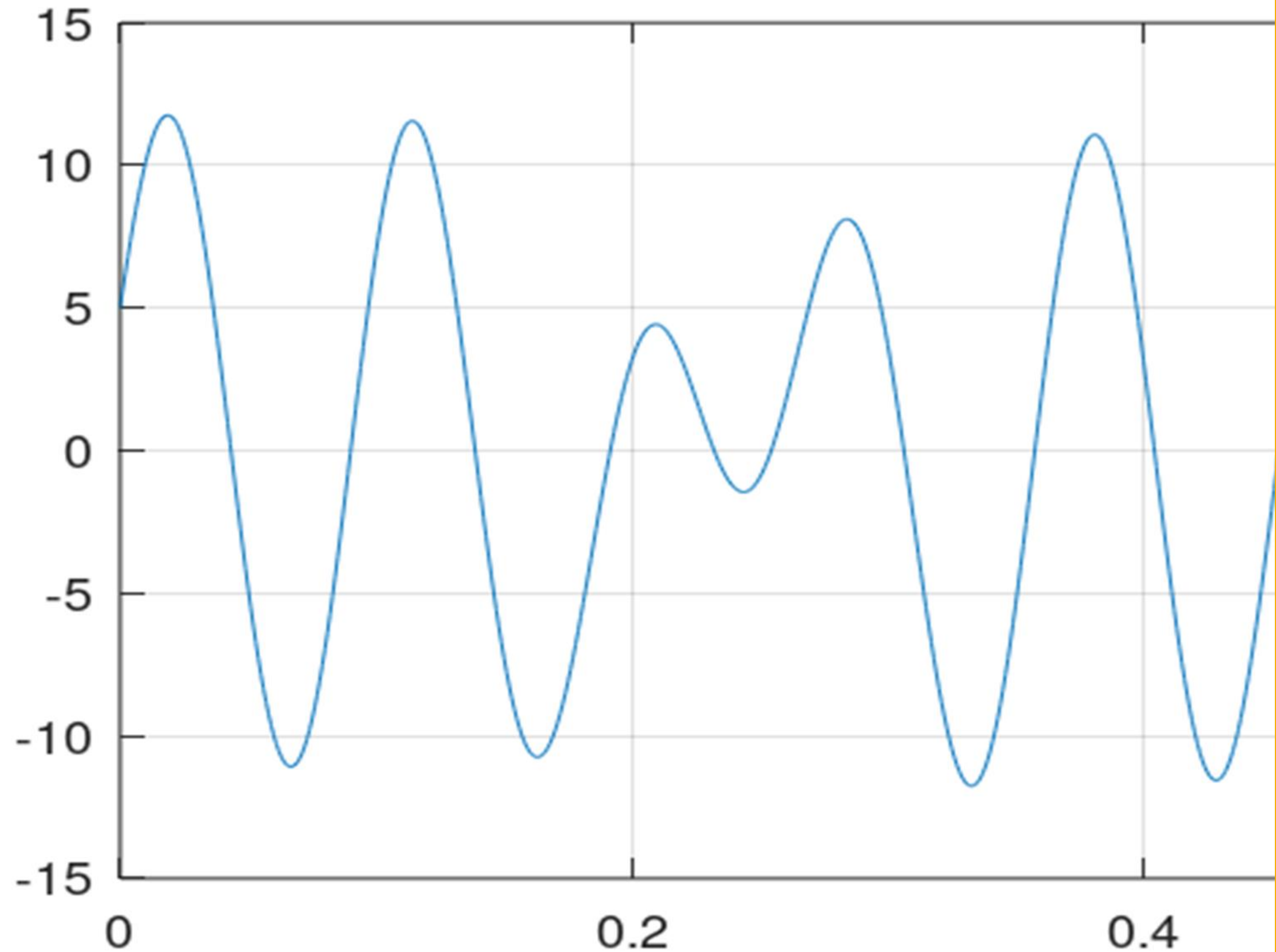




# Conversão analógico- digital (AD)

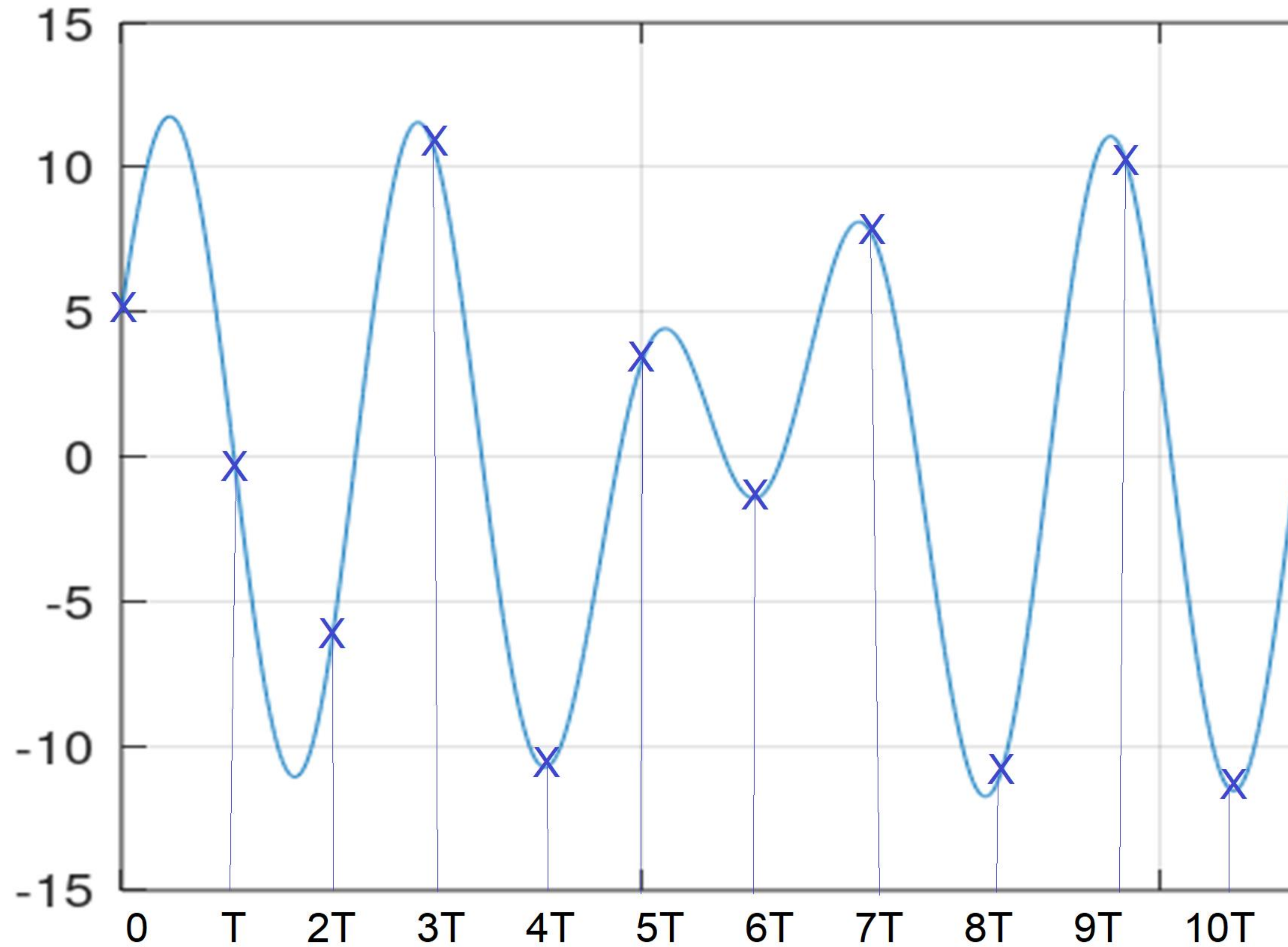
O problema da digitalização

# Conversão analógico- digital (A/D)



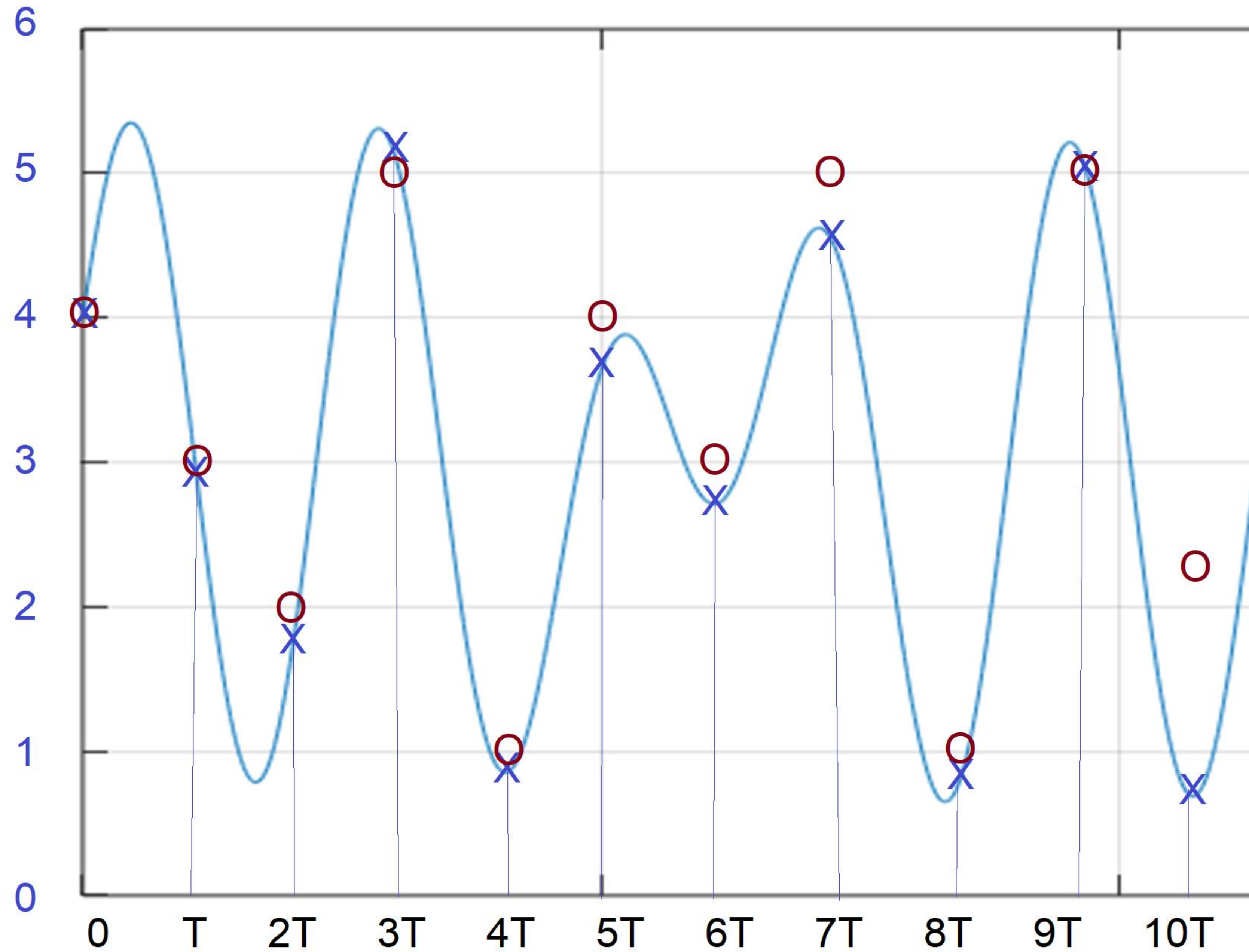


# Conversão analógico- digital (A/D)



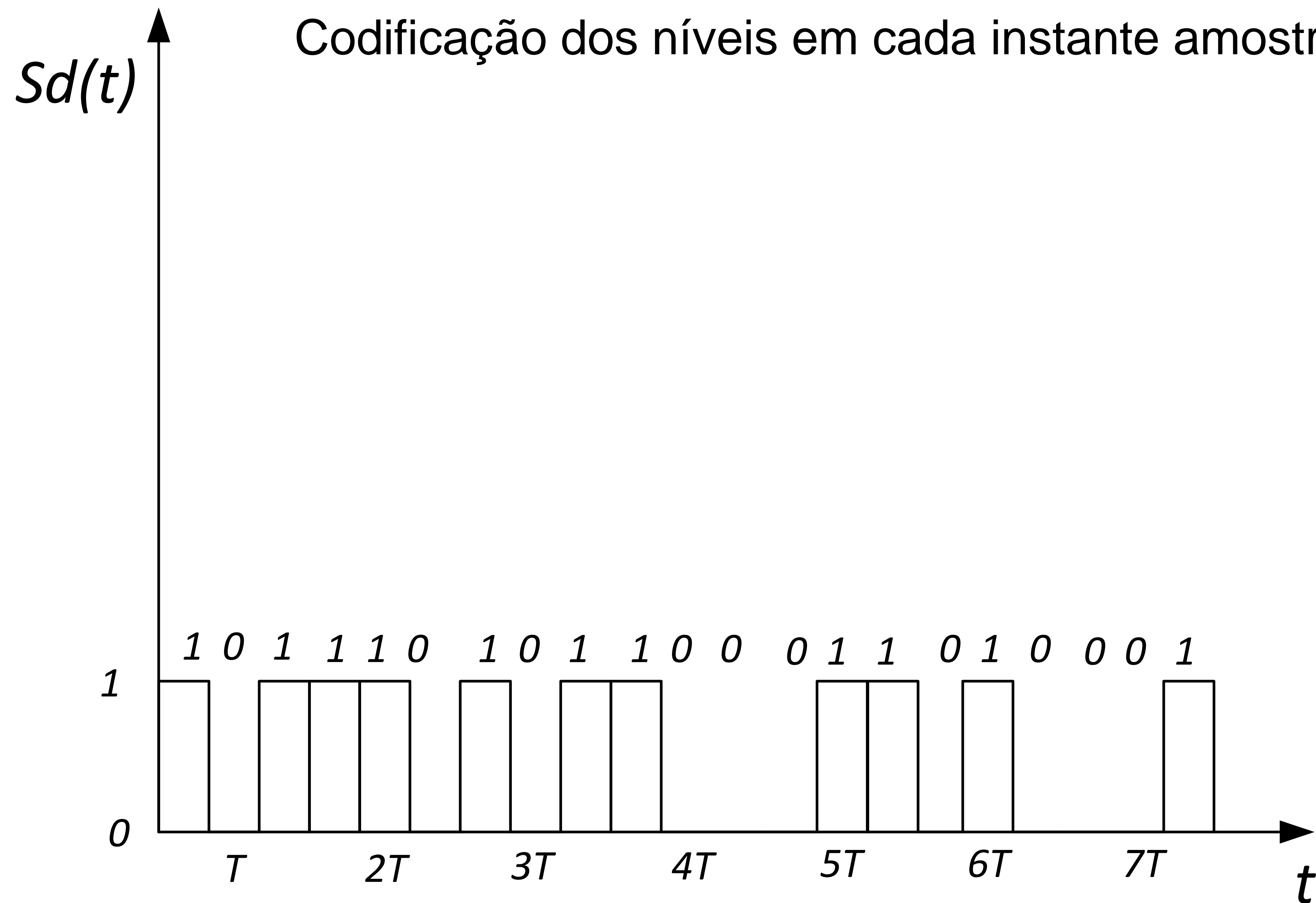


# Conversão analógico-digital (A/D)



# Sinal digital

Codificação dos níveis em cada instante amostrado



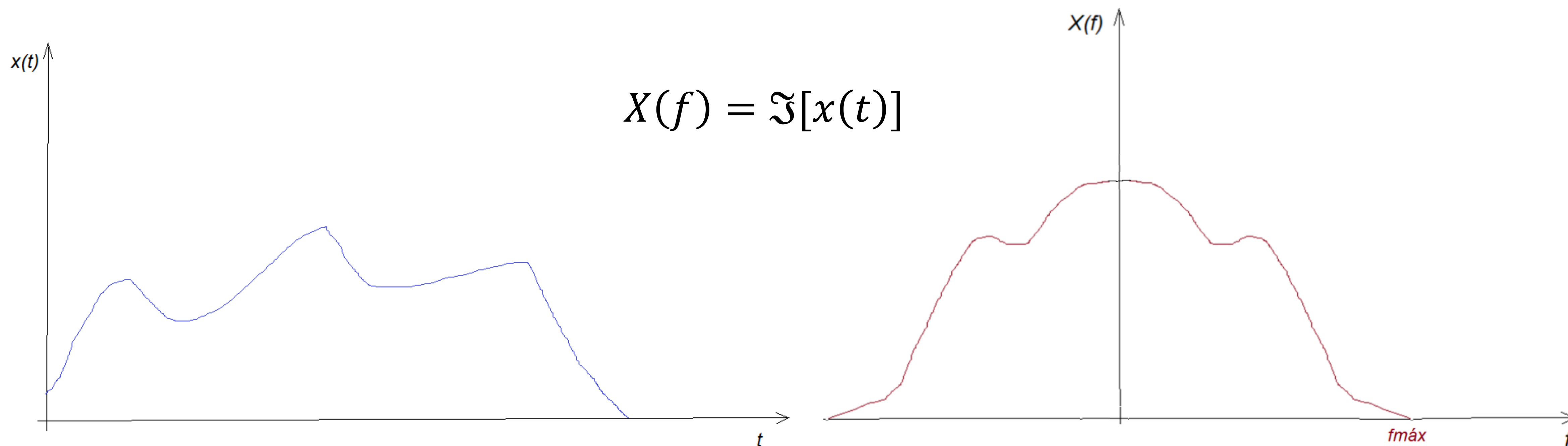


# Formalizando o teorema da amostragem

- Se o sinal for contínuo no tempo, precisará ser discretizado.
- A taxa de amostragem deve ser suficiente para que possa ser reconstruído.
- **Teorema de *Nyquist*:** um sinal  $x(t)$  limitado por uma frequência  $f_{máx}$  pode ser reconstruído sem erro a partir das suas amostras se for amostrado a uma taxa  $f_A$  tal que

$$f_A > 2f_{máx}$$

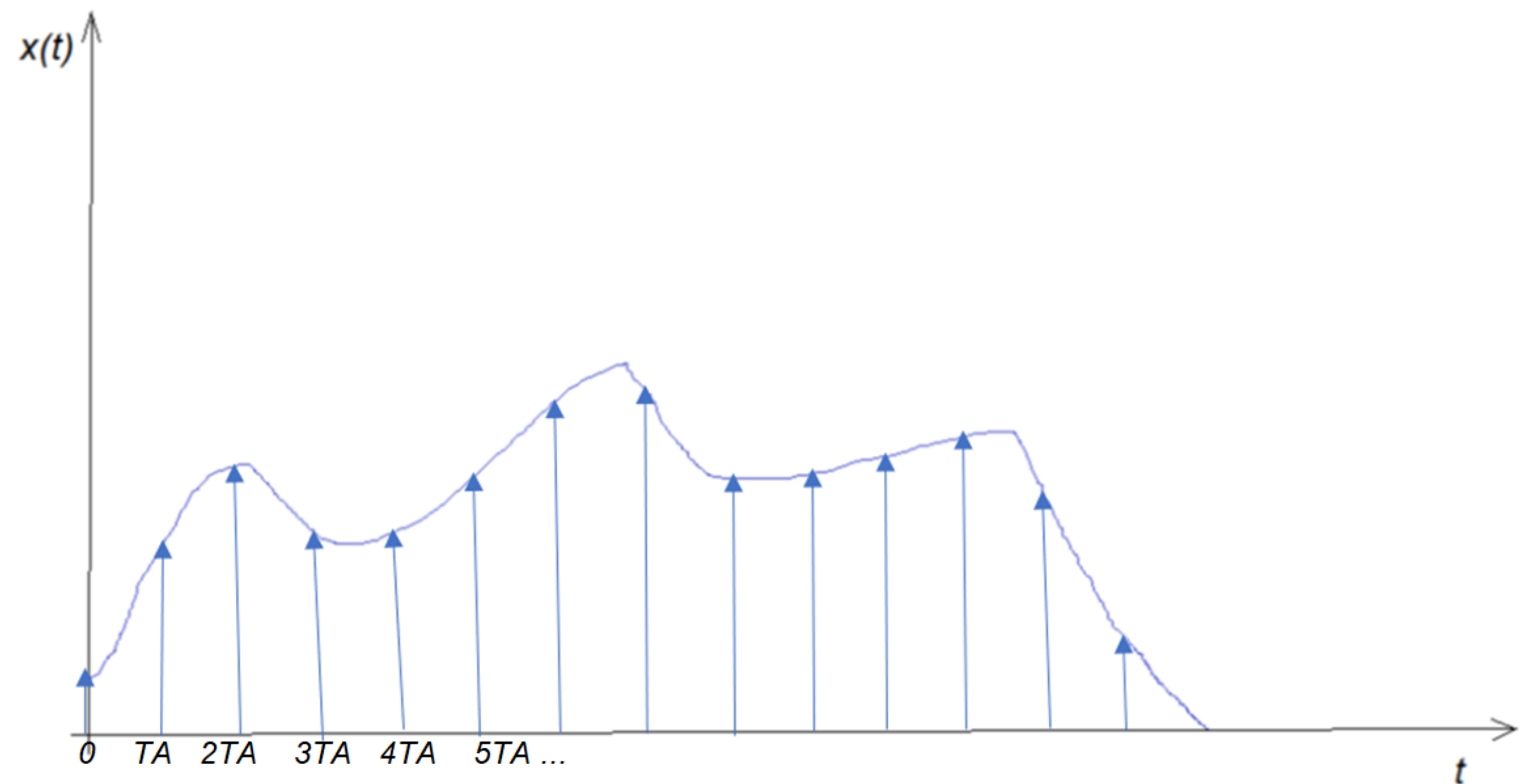
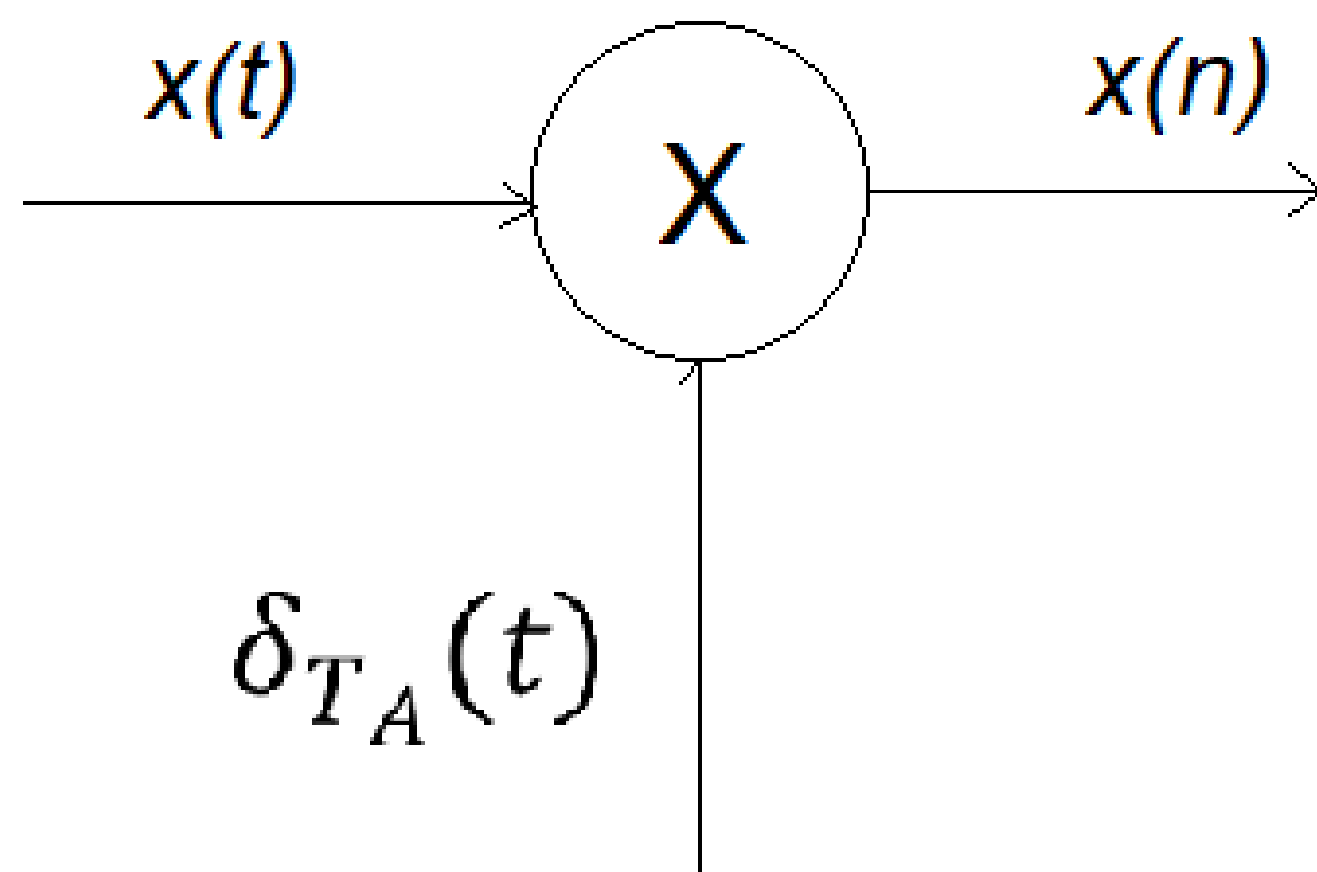
# O sinal analógico e seu comportamento espectral



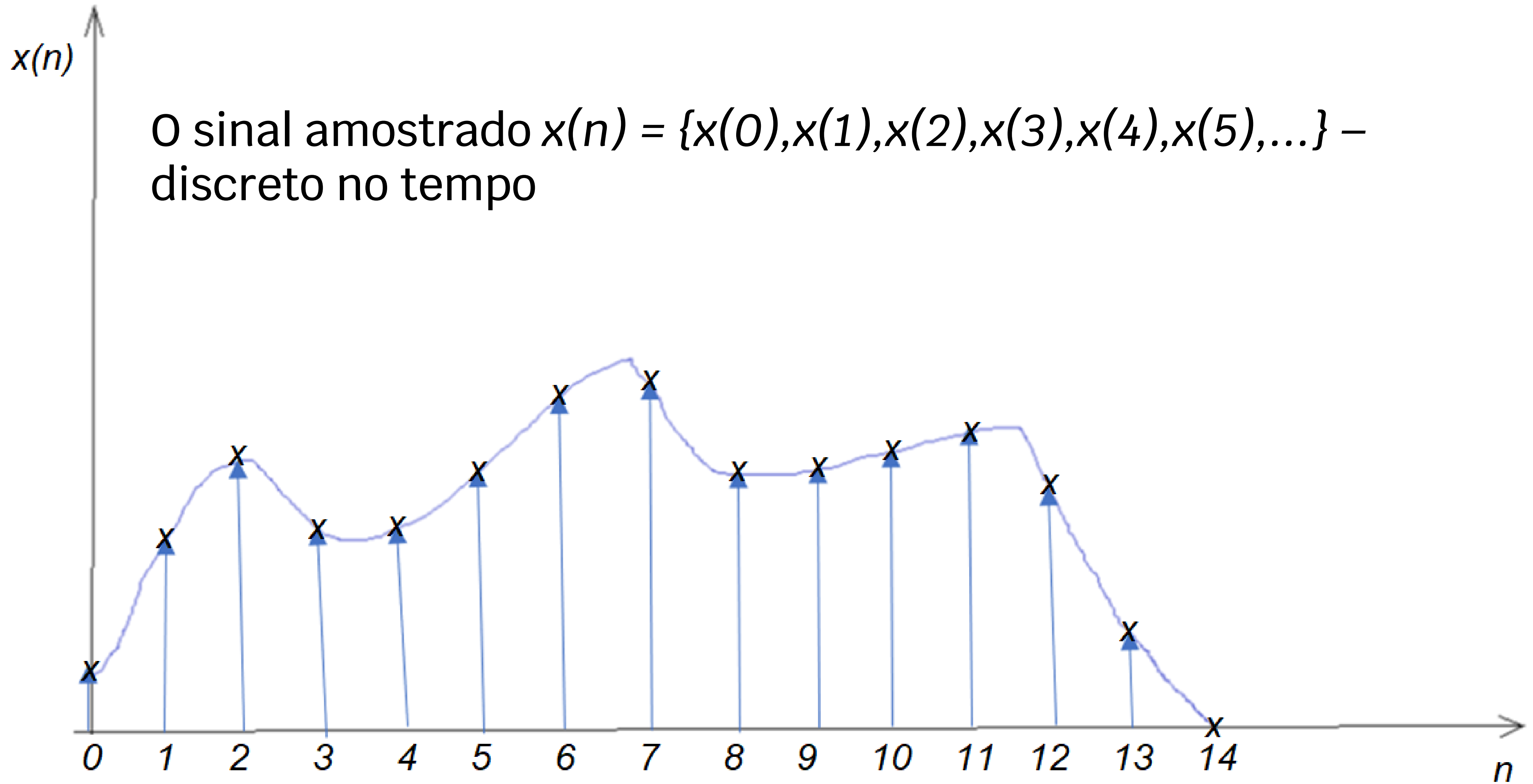


# A amostragem

Para amostrar o sinal pode-se multiplicá-lo por um sinal  $\delta_{T_A}(t)$  – onde  $\delta(t)$  representa delta de Dirac ou função impulso, ou seja, **um trem de impulsos**, o que resultaria em  $x(t) \cdot \delta_{T_A}(t)$



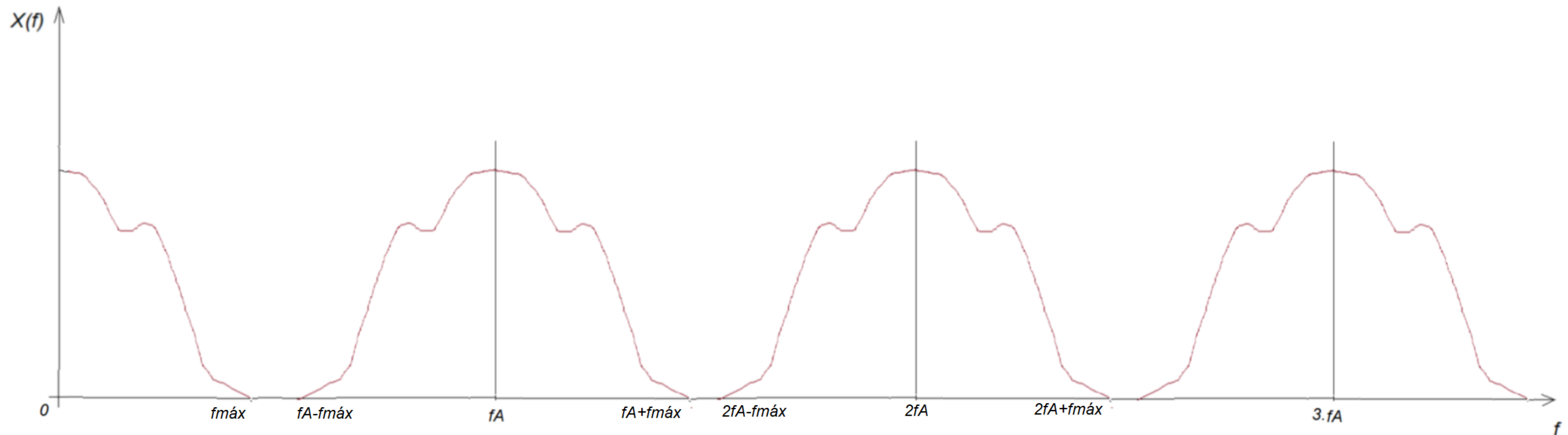
O sinal amostrado  $x(n) = \{x(0), x(1), x(2), x(3), x(4), x(5), \dots\}$  – discreto no tempo





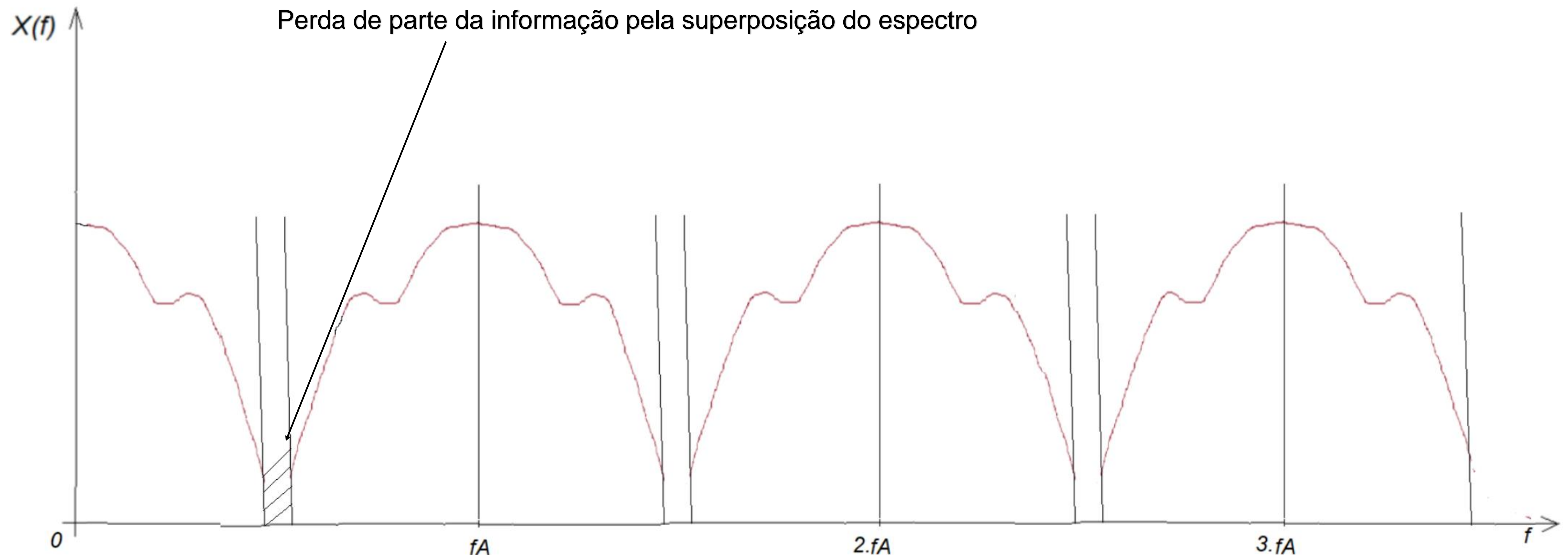
# Espectro do sinal amostrado

Pode-se demonstrar matematicamente que o sinal resultante da amostragem teria um **comportamento espectral** de



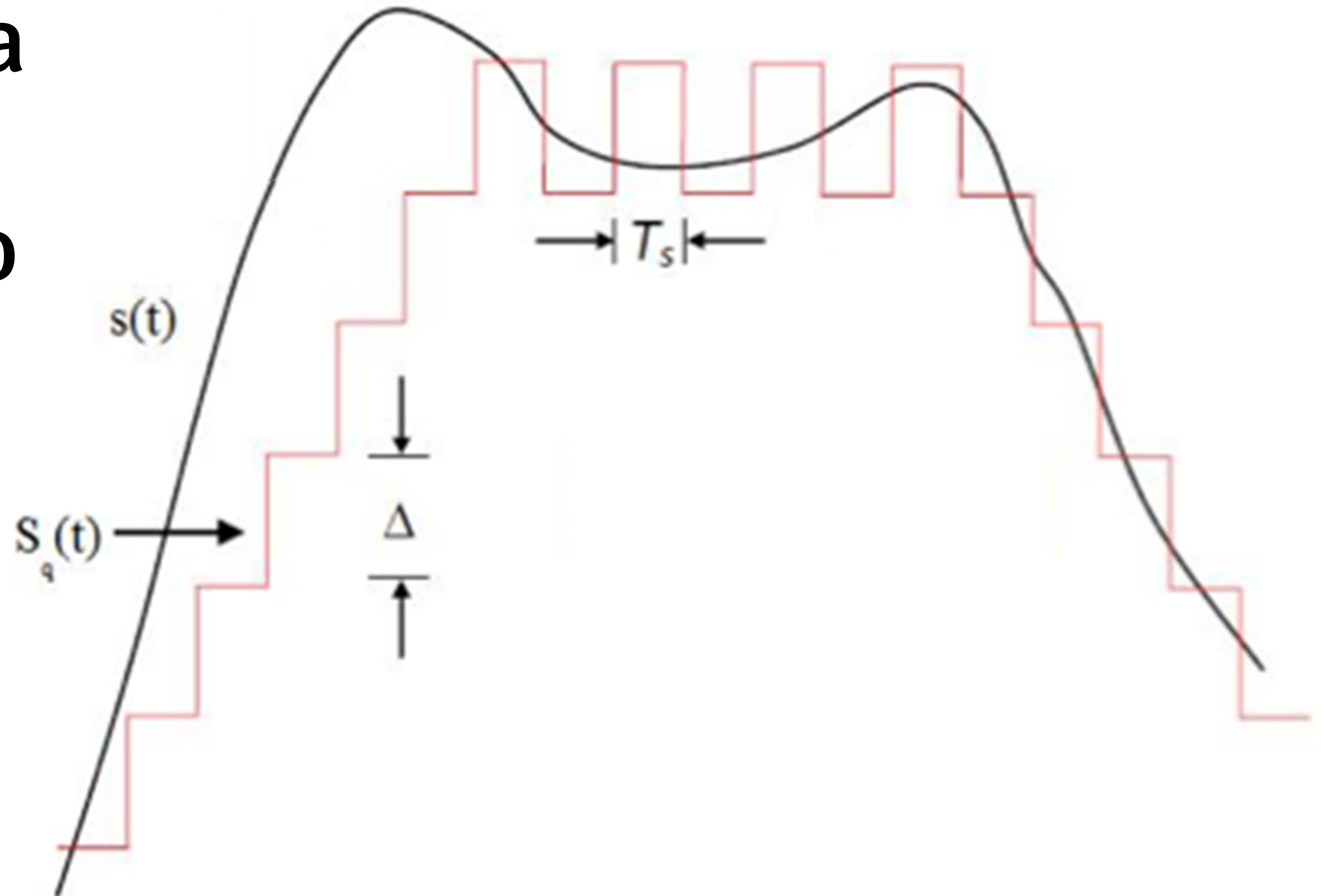
# Aliasing

Uma frequência de amostragem que não respeita a taxa de Nyquist pode levar a perda de informação do sinal amostrado





# O problema da digitalização: a quantização escalar

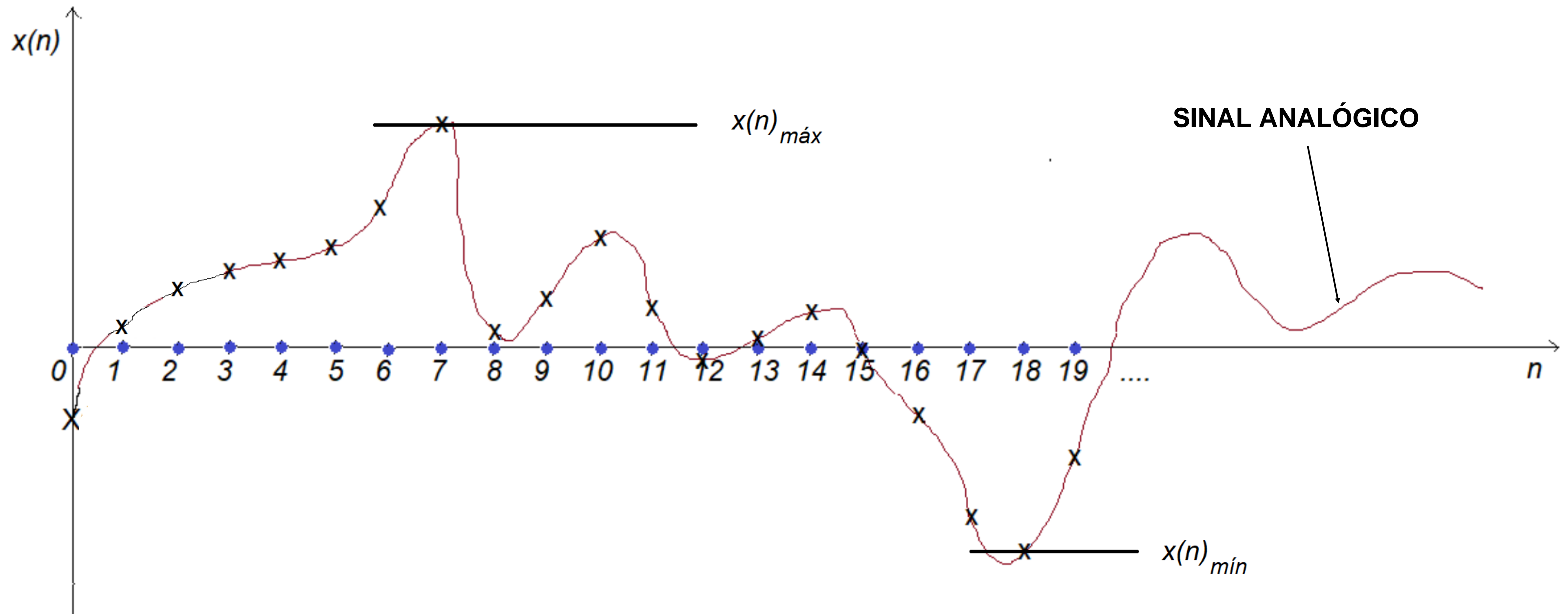


# A função de quantização

- A função de quantização,  $q(x)$ , é o valor para o qual o sinal amostrado,  $x(n)$ , será aproximado.
- O sinal amostrado  $x(n)$ , possui um valor pico-a-pico do sinal que pode ser calculado por  $x_{pp} = x(n)_{máx} - x(n)_{mín}$
- Considerando que sejam usados  $L$  níveis de quantização, o degrau de quantização ( $\Delta$ ) é definido por  $\Delta = \frac{x_{pp}}{L-1}$
- A função  $q(x)$  aproxima  $x(n)$  a um dos possíveis níveis.



# A função de quantização



# A função de quantização

- O ruído ou erro de quantização consiste na diferença entre o sinal de entrada no quantizador e o sinal na saída  $d(n) = x(n) - q[x(n)]$ , onde  $q(x)$  representa a função de quantização.
- A razão sinal/ruído de quantização, em dB, é dada por  $SQNR = 10 \log \frac{\sum_n x^2(n)}{\sum_n d^2(n)}$



# A função de quantização

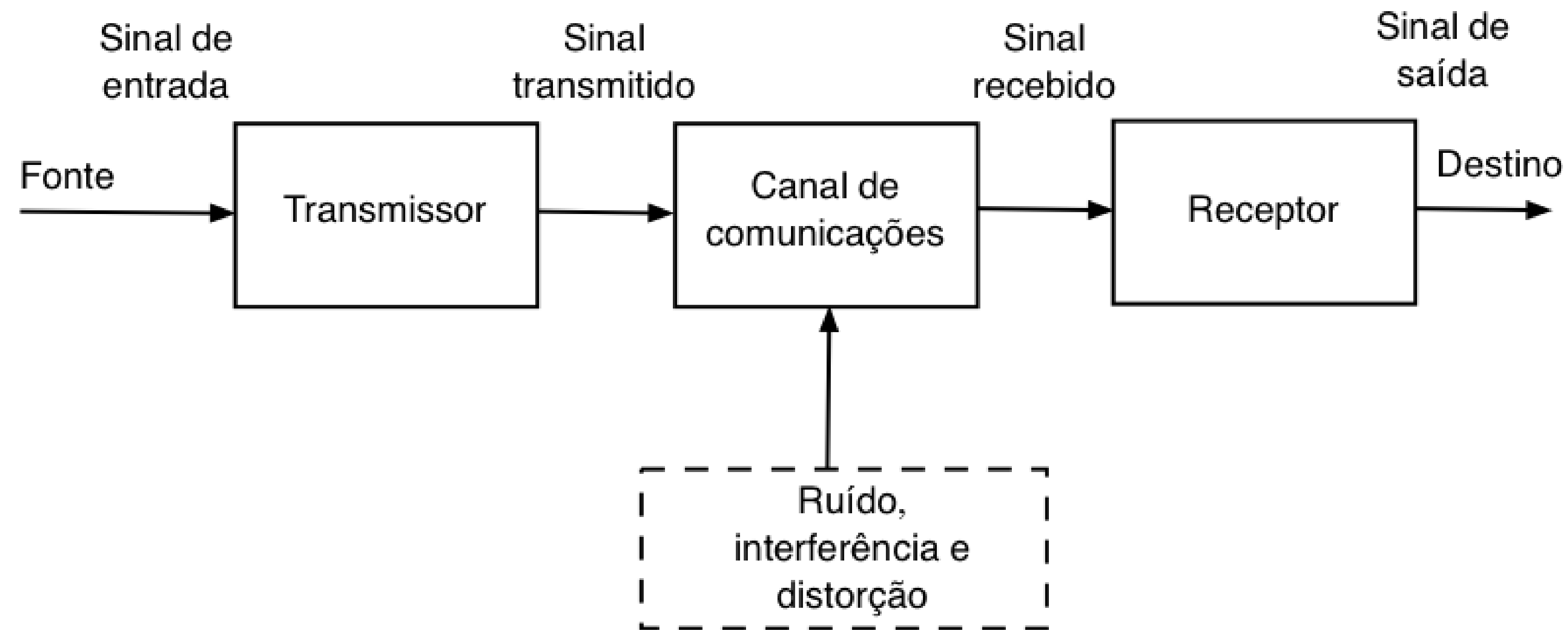
- Existem vários algoritmos para implementar a quantização buscando a eficiência do processo, considerando, por exemplo, a minimização do erro de ruído de quantização
- Alguns são recomendados pela ITU-T (União Internacional de Telecomunicações)

# Modelo do sistema de comunicações

---



# Modelo do Sistema de Comunicações



# Elementos

- **Transmissor:** processa o sinal de entrada para produzir o sinal transmitido, que deve ser **condicionado** para o canal de comunicações
- **Canal de comunicações:** meio elétrico que estabelece a ponte entre a **fonte** e o **destino**. Pode ser um par trançado, cabo coaxial ou o **espaço aéreo** – comunicações móveis
- **Efeitos indesejados** que modificam o sinal<sup>(\*)</sup>: (i) **atenuação** ; (ii) **distorção**; (iii) **interferência** e (iv) **ruído**.  
  
(\*) Embora a contaminação possa ocorrer em qualquer ponto, a convenção padrão é modelar esses efeitos no canal de comunicações.
- **Receptor:** opera sobre o sinal recebido, em preparação para entregar o sinal ao transdutor de saída.

# Efeitos indesejados sobre o sinal transmitido

- **Atenuação:** redução da potência do sinal.
- **Distorção:** perturbação causada pela **resposta imperfeita** do sistema em relação ao sinal desejado.
- **Interferência:** **contaminação** por sinais externos provocada por fontes humanas – outros transmissores, linhas de potência e maquinaria etc. Interferência quase sempre ocorre em **sistemas de radiocomunicações** – ou seja, que utilizam a transmissão pelo espaço.
- **Ruídos:** sinais elétricos **aleatórios e imprevisíveis** produzidos por processos naturais internos e externos ao sistema. O ruído constitui uma **limitação fundamental** do sistema.



# Resposta do canal

- A função de transferência ou resposta do canal,  $H(f)$ , reflete as características do canal e se relaciona com o sinal transmitido  $X(f)$  por

$$H(f) = \frac{Y(f)}{X(f)}$$

, onde  $Y(f)$  representa o sinal recebido.

- No domínio do tempo,  $y(t) = x(t) * h(t)$ , onde o operador  $*$  representa a operação chamada de **convolução**,  $h(t)$  representa a resposta do canal.

# Resposta do canal

- A relação entre os sinais de transmitido e recebido  $Y(f)/X(f)$  permite interpretar a função de transferência como o **ganho** ( $G$ ) do sinal proporcionado pelo canal.
- O ganho pode ser analisado em valores absolutos em **decibéis (dB)**, dado por

$$H_{dB} = G_{dB} = 10 \log[H(f) \cdot H^*(f)]$$

# Limitações fundamentais

- As limitações fundamentais são **inerentes ao sinal** que transporta a mensagem e **ao canal** de comunicações.
- **Largura de banda:** limitação do canal para acomodar as variações do sinal transmitido com tempo, ou seja, acomodar o espectro do sinal. O canal de comunicações possui uma **largura de banda limitada  $B$** , que limita a variação do sinal.
- **Ruído:** O movimento aleatório das cargas elétricas gera uma corrente ou tensão aleatórias, chamadas de **ruído térmico**. A medida do ruído em relação à informação é definida pela **razão sinal ruído  $S/N$** . A  $S/N$  muitas vezes é estabelecida também em decibéis.



# Limitações fundamentais

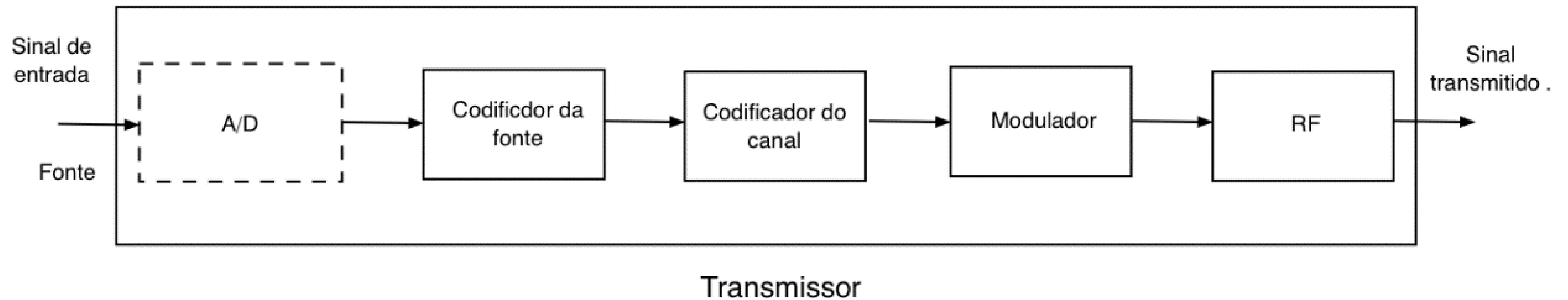
- A taxa de transmissão da informação não pode exceder a capacidade do canal,  $C$ , dada por

$$C = B \cdot \log\left(1 + \frac{S}{N}\right)$$

# Modelo do transmissor

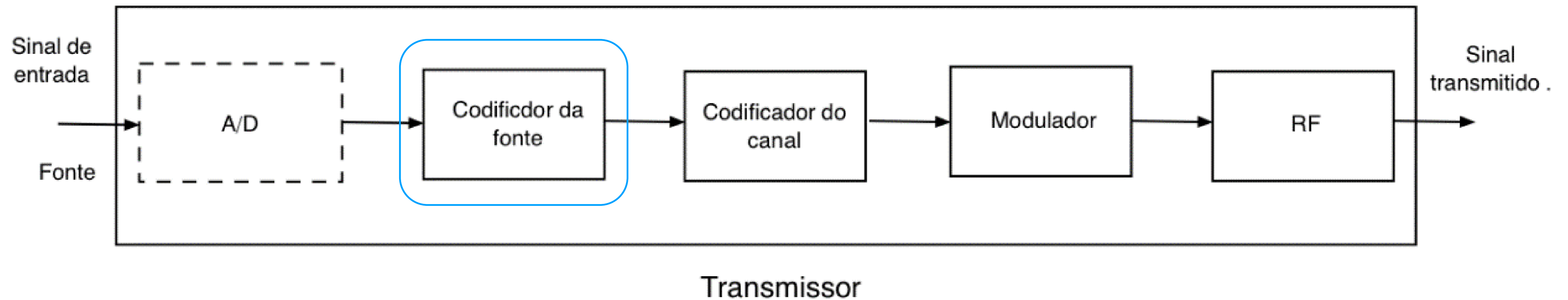
---

# Transmissor





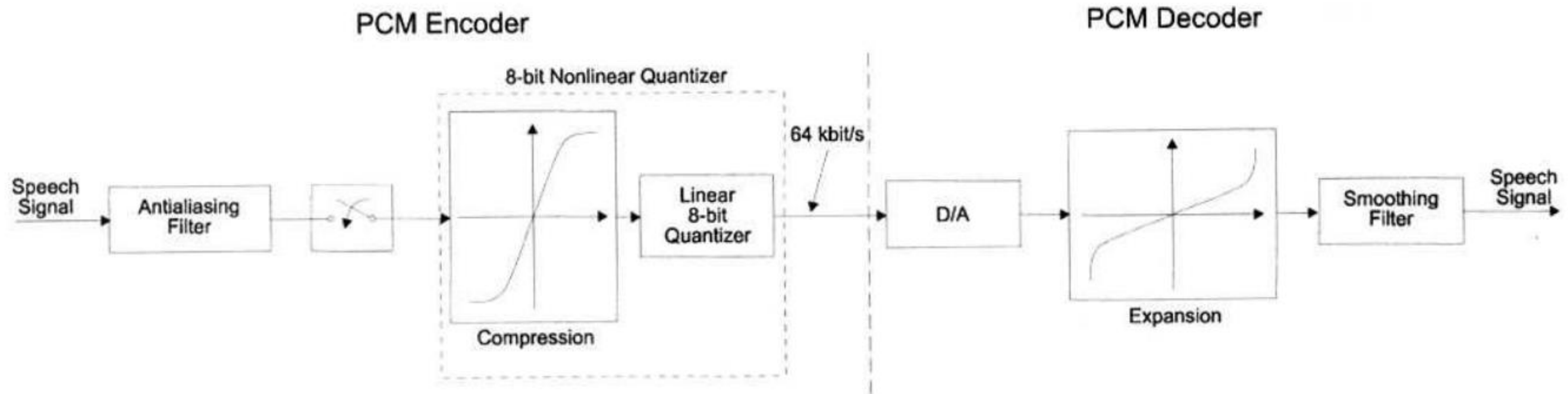
# Transmissor



# Codificador da fonte

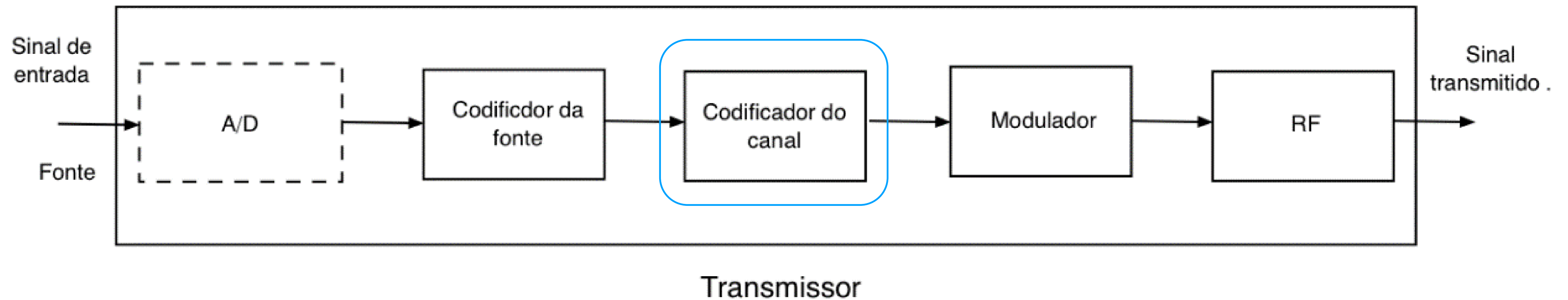
- Para a transmissão ser eficiente e confiável o transmissor precisa ainda realizar operações de **codificação do canal, codificador da fonte e modulação**.
- A **codificação da fonte** é uma operação de processamento de símbolos para melhorar a comunicação quando a informação é digital ou pode ser aproximada na forma de símbolos discretos. Transforma uma mensagem digital em uma nova sequência de símbolos.

# Codificador de fonte – exemplo: *PCM (Pulse Code Modulation)*





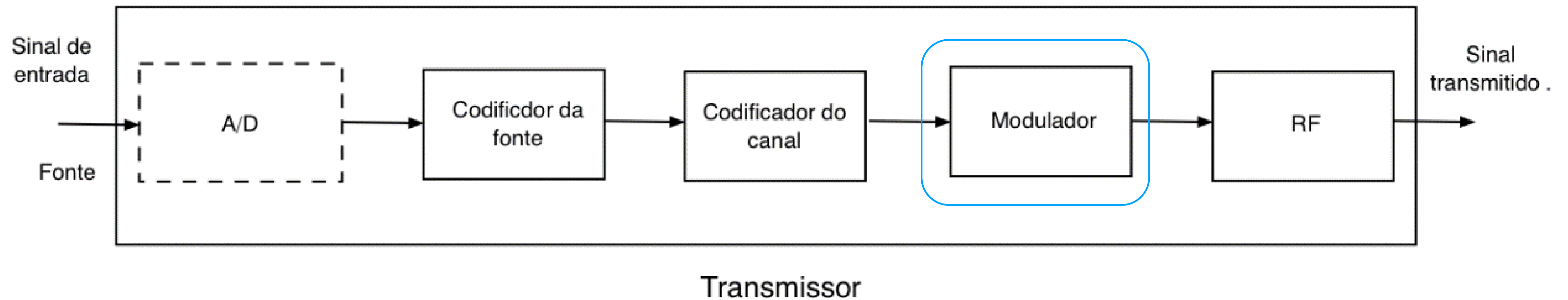
# Transmissor



# Codificador de canal

- A codificação de canal é o processo através do qual o transmissor adiciona **redundância controlada** à informação de modo a permitir a **detecção** e a **correção** de erros.
- Dependendo do número de bits adicionados, os códigos de canal podem permitir a correção de erros na transmissão ou somente a detecção dos erros ocorridos.
- Existem duas grandes famílias de códigos detetores e corretores de erros: os **códigos de bloco** e os **convolucionais**.

# 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.
- As características espectrais do sinal modulado devem **minimizar a distorção dos sinais transmitidos por usuários na vizinhança do espectro**. Devem também **garantir o maior número possível de usuários na faixa de frequência atribuída**.

# Modulação

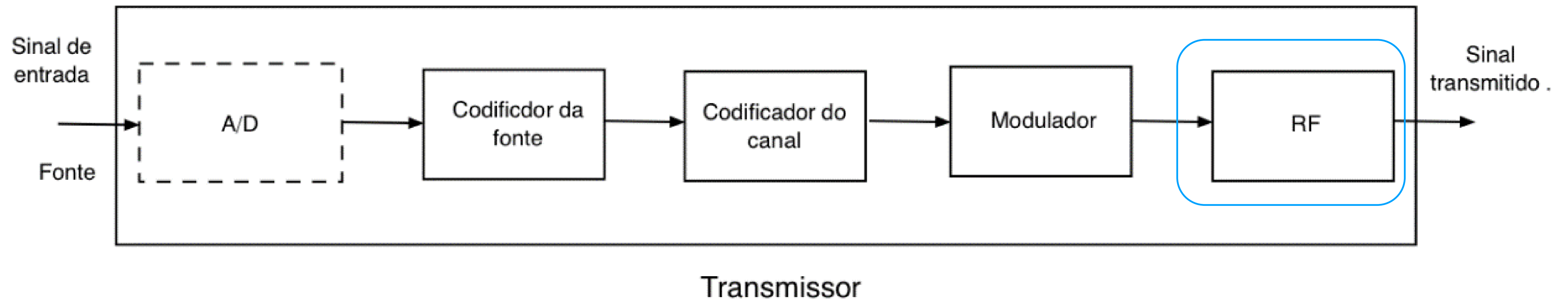
- Existem vários benefícios para a comunicação quando o transmissor modula a mensagem: (1) assegurar a transmissão eficiente; (2) superar as limitações de hardware; (3) reduzir ruído e interferência; (4) definir a frequência; (5) multiplexação de sinais.
- Assegurar transmissão eficiente: a transmissão depende de antenas cujas **dimensões** precisam ter pelo menos **1/10 do comprimento de onda do sinal**. O comprimento de onda é definido pela **relação  $\lambda = c/f$** , onde  $c$  é a velocidade da luz no vácuo (300.000 km/seg) e  $f$  é a frequência de transmissão.

# Modulação

- Superar as limitações de hardware: a modulação permite que o projetista posicione o sinal em uma frequência que evita as limitações de hardware. Uma questão particular se refere à largura de **banda fracional**, definida como a **banda absoluta do sinal** dividida pelo **centro da frequência**,  $\Delta f = B/f_c$ .
- Os custos e as complicações de implementação são minimizados se a **banda fracional** é colocada entre 1 a 10%.



# Transmissor



# RF

- O módulo de RF opera na faixa de frequências de radiocomunicações e **amplifica** o sinal de rádio ao nível requerido.
- A largura de banda do sinal depende da modulação selecionada e o **método de acesso múltiplo aplicado**.
- Em sistemas de comunicação móvel, o transmissor emite o sinal para o espaço usando a antena. As características da transmissão dependem fortemente das **antenas (transmissão e recepção)**, em particular de sua **diretividade e ganho**. Os parâmetros das antenas determinam o **alcance** do sistema e seu **desempenho**.



IBMEC.BR

 /IBMEC

 IBMEC

 @IBMEC\_OFICIAL

 @IBMEC

 **ibmec**