

Curso: Engenharia de Computação

Sistemas de Comunicações Móveis

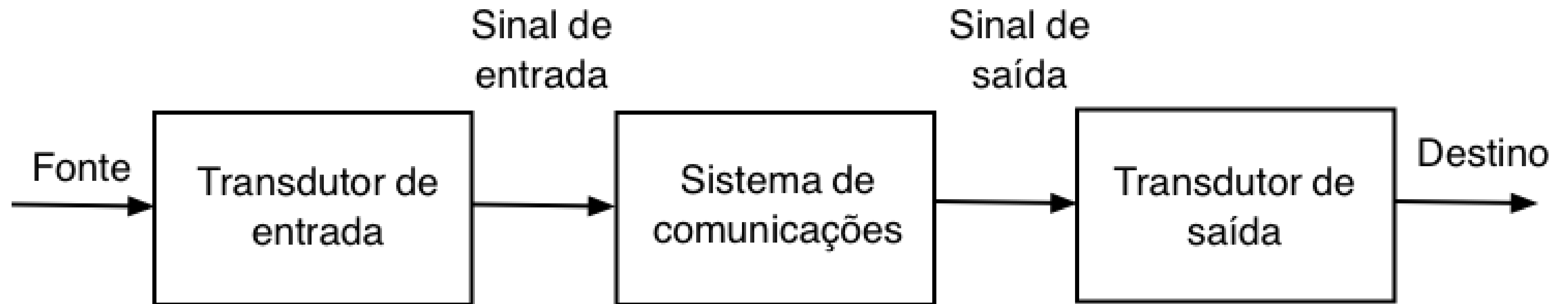
Prof. Clayton J A Silva, MSc
clayton.silva@professores.ibmec.edu.br



Informações e mensagens

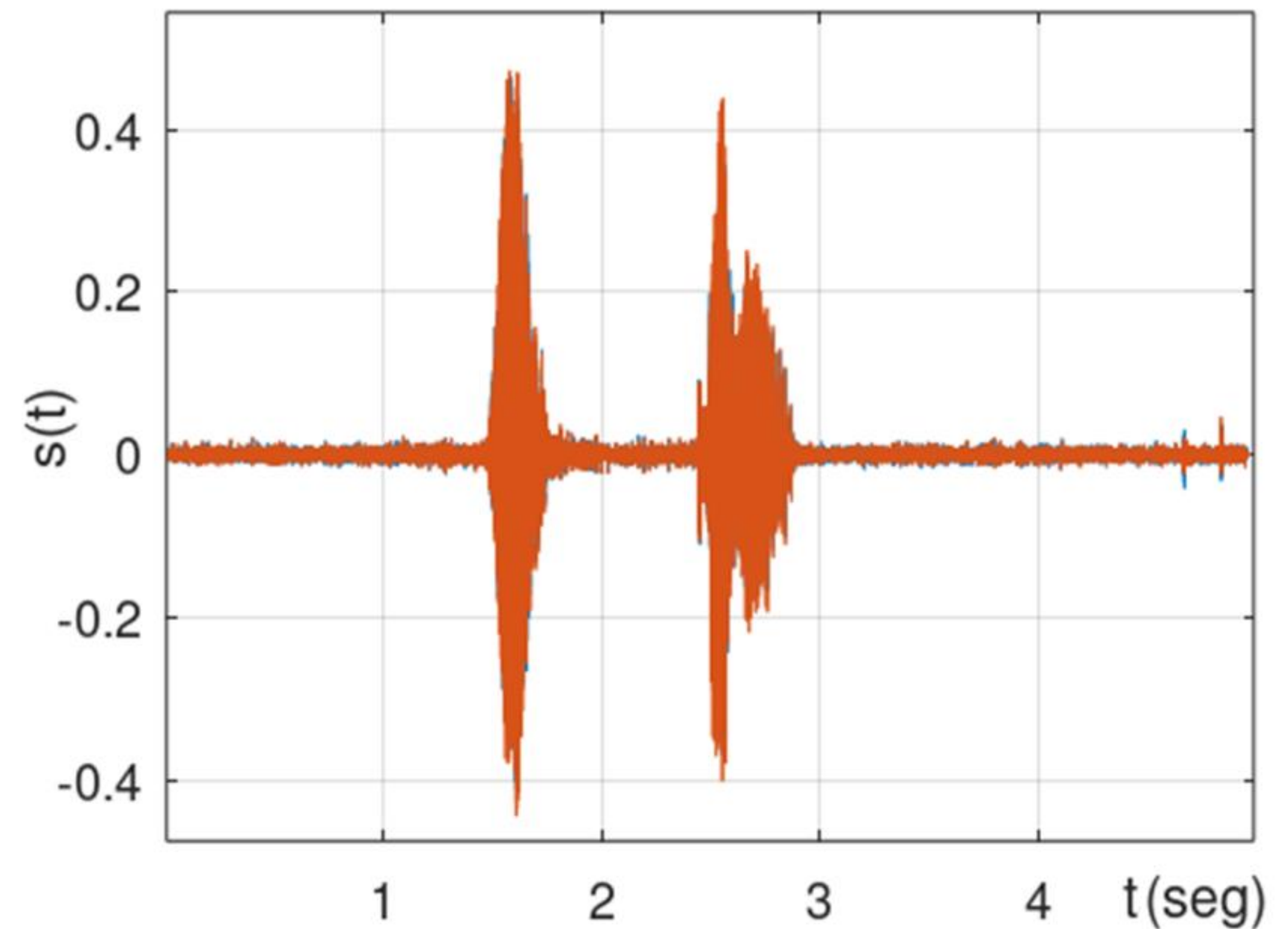
- Mensagem: manifestação física da informação, produzida por uma fonte
- **Objetivo** do sistema de comunicações: reproduzir no destino de forma aceitável uma réplica da mensagem gerada pela fonte
- Transdutores e sinais elétricos

Transdutores e sinais elétricos



Sinal de entrada

- A fonte gera mensagens que têm a forma de **funções contínuas de tempo** ou **fluxos de símbolos discretos**.
- Um exemplo de mensagem contínua é a forma de onda que caracteriza a **voz**. Para enviar o sinal de voz através do sistema de comunicação digital, o sinal deve ser **discretizado** no tempo e suas amostras devem ser **quantizadas**.



Sinais de interesse para comunicações: espectro sonoro

Espectro sonoro^[1]

Espectro sonoro ^[1]													
Espectros	Silêncio	Infrassom	Som audível						Ultrassom				Hiper-som ^[2]
			Subgrave	Grave	Médias baixas	Médios	Médias altas	Agudo					
Frequência	0	0.001 Hz - 20Hz	20Hz	23Hz	250Hz	640Hz	2,5KHz	20.000 Hz	30.000 Hz	10 ⁵ Hz	10 ⁶ Hz	10 ⁸ Hz	10 ⁹ Hz
Descrição	Ausência de som		faixa da audição humana (perspetivável ao ouvido humano)						frequência típica do sonar	limite da audição de morcegos e golfinhos	frequência típica de ultrassons para fins médicos		

Sinais analógicos de interesse para comunicações: espectro do sinal de voz

- Os limites típicos do sinal de voz no domínio da frequência situam-se na **faixa entre 10 Hz e 3400 Hz**.
- O espectro não é limitado, pois existem componentes que se estendem além desses limites, porém com **menor intensidade**.
- Tipicamente, a **maior energia** do sinal de voz situa-se na **faixa entre 500 Hz e 800 Hz**.
- Para **aplicações em telefonia**, a frequência de amostragem adotada internacionalmente é de $f_A = 8 \text{ kHz}$

Sinais analógicos de interesse para comunicações: sinal de vídeo analógico

- O sinal de vídeo é gerado a partir da **leitura sequencial de um quadro**, da esquerda para a direita, de cima para baixo, de acordo com a **intensidade luminosa de pontos (*pixels*)**
- O sinal resultante é um sinal que varia no tempo cujas características espectrais dependem do:
 - **número de *pixels* e**
 - **da velocidade da varredura** com que se monta a matriz dos *pixels* para a formação da imagem – normalmente definida pelas linhas do quadro

Uma revisão sobre o conceito de sinais

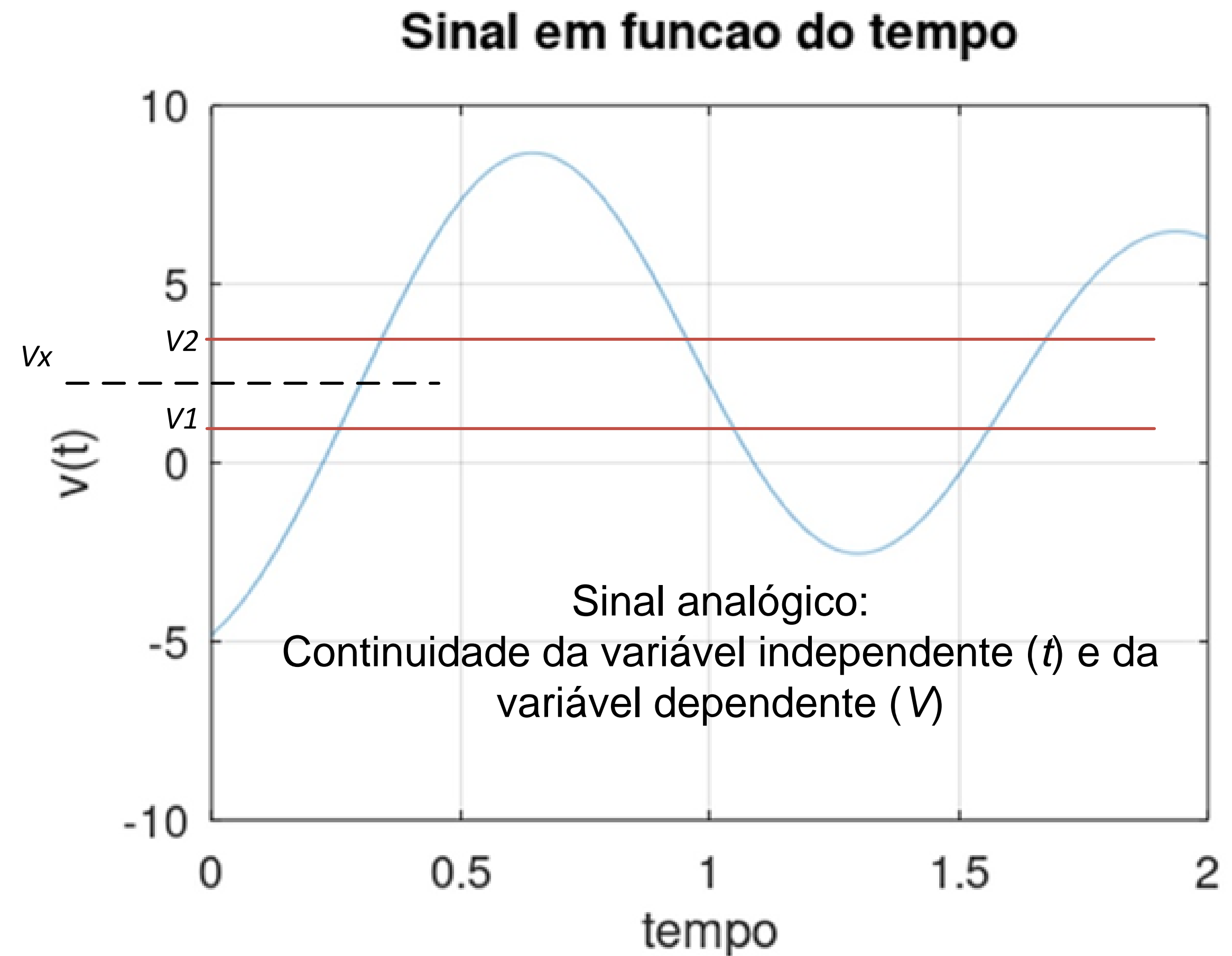
Domínios de representação do sinal

- 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

Sinais analógicos

O sinal elétrico (x) – 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**

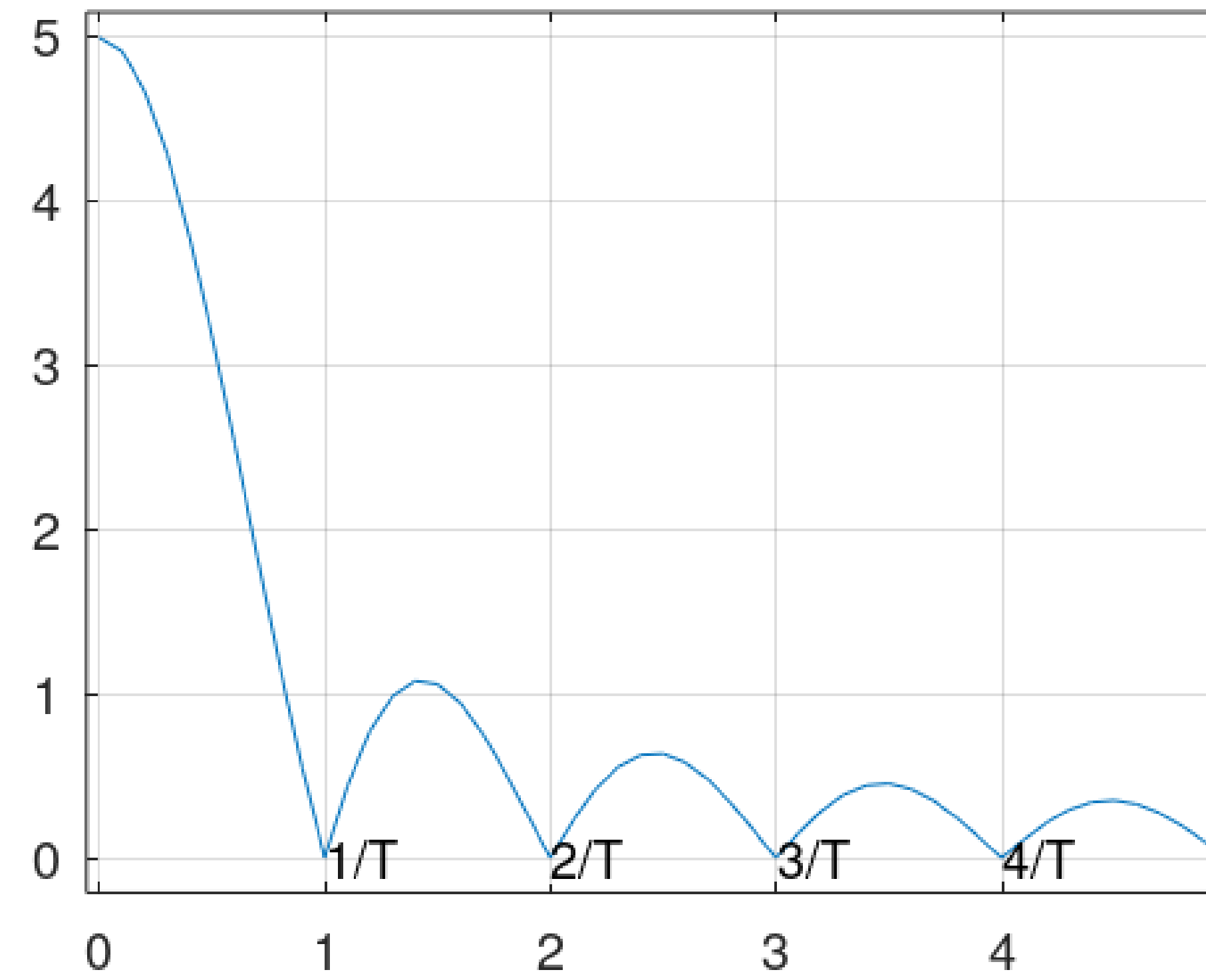
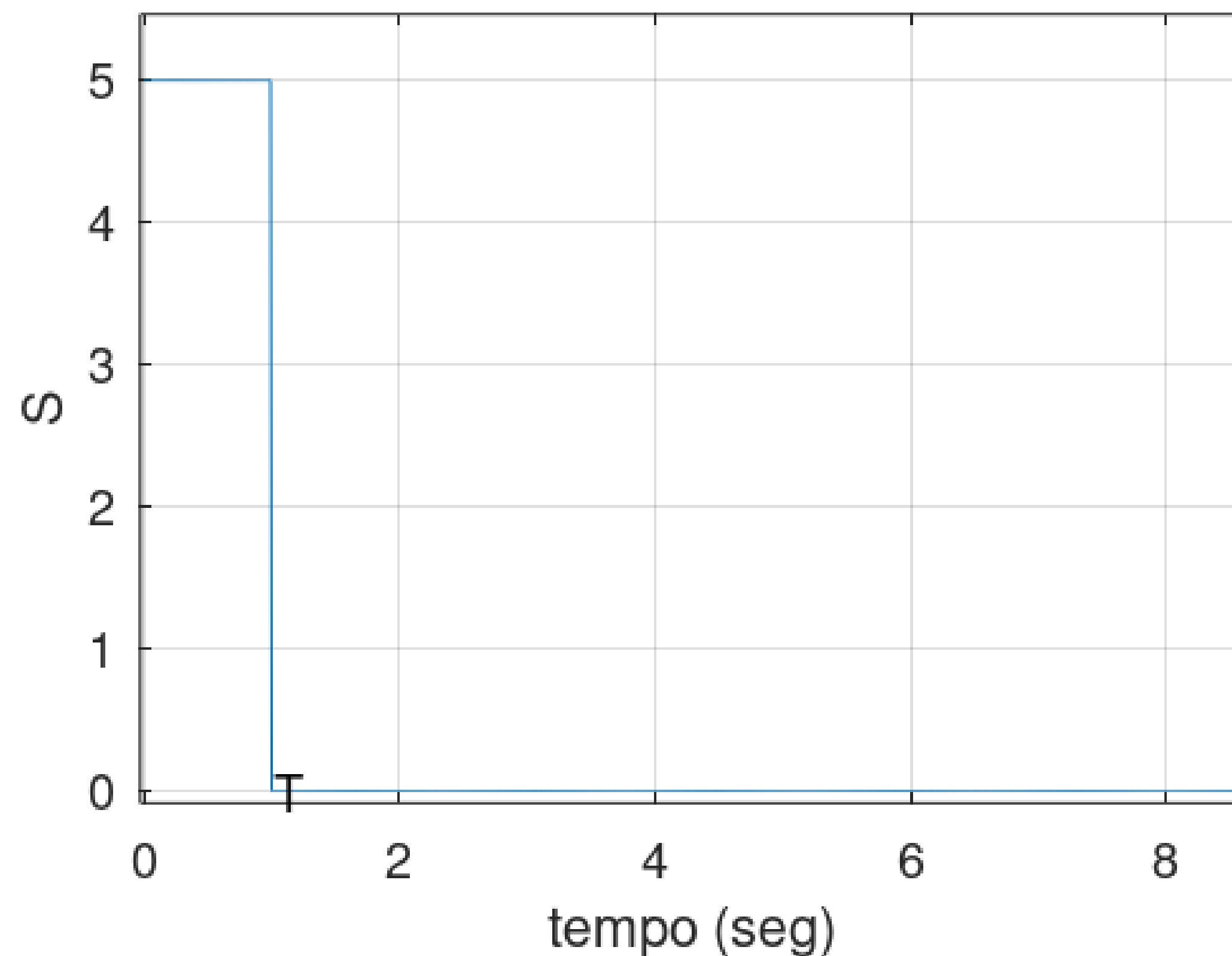
$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi f t} dt$$

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

Espectro de frequências

Exemplo: Transformada de Fourier de um sinal definido como pulso retangular

Pulso retangular



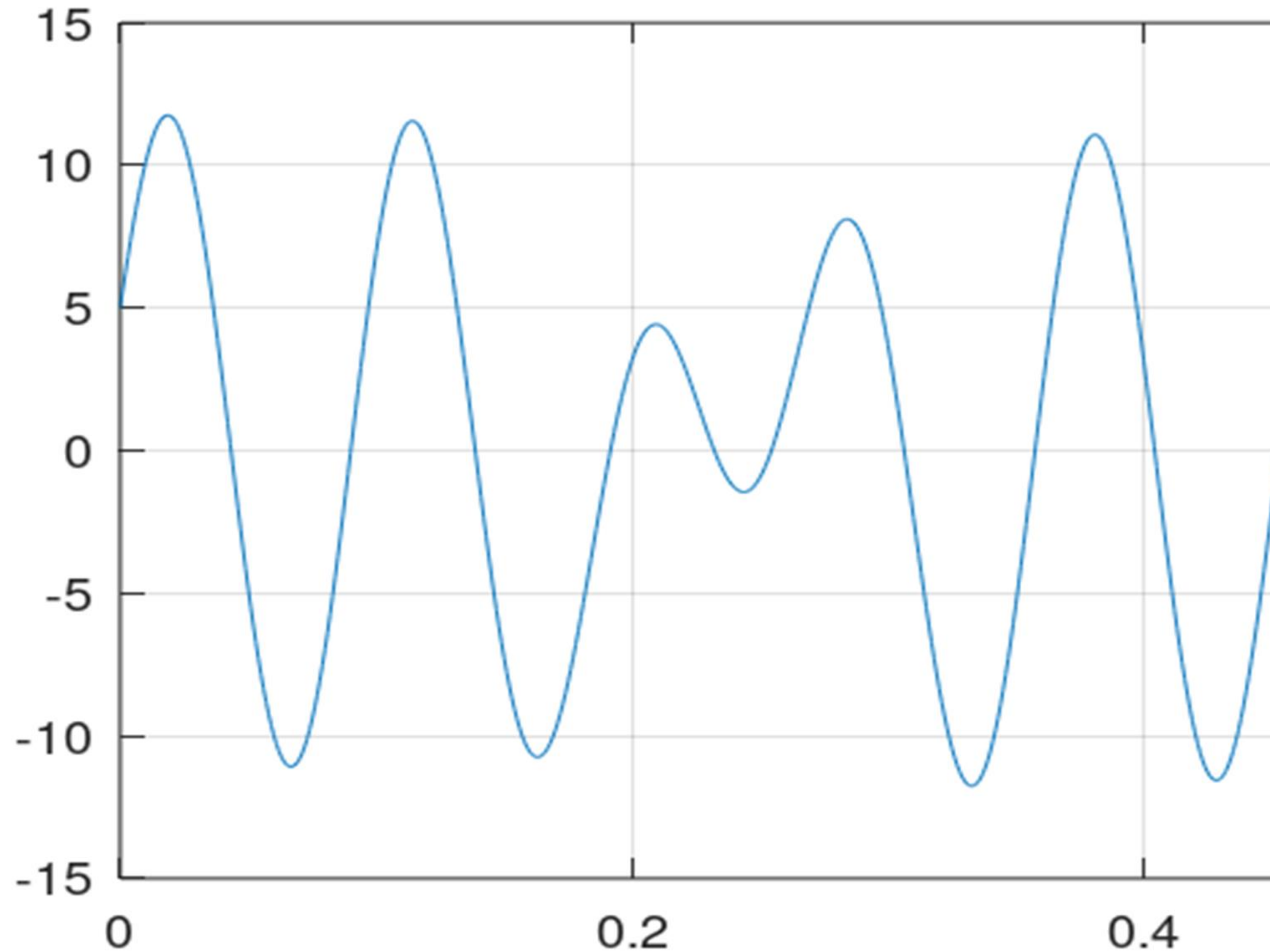
Sistemas analógicos e digitais

Os sistemas de comunicações podem ser **analógicos** ou **digitais** – o sinal de entrada pode ser analógico ou digital. O projeto do transmissor e do receptor depende do tipo do sinal analógico ou digital de entrada.

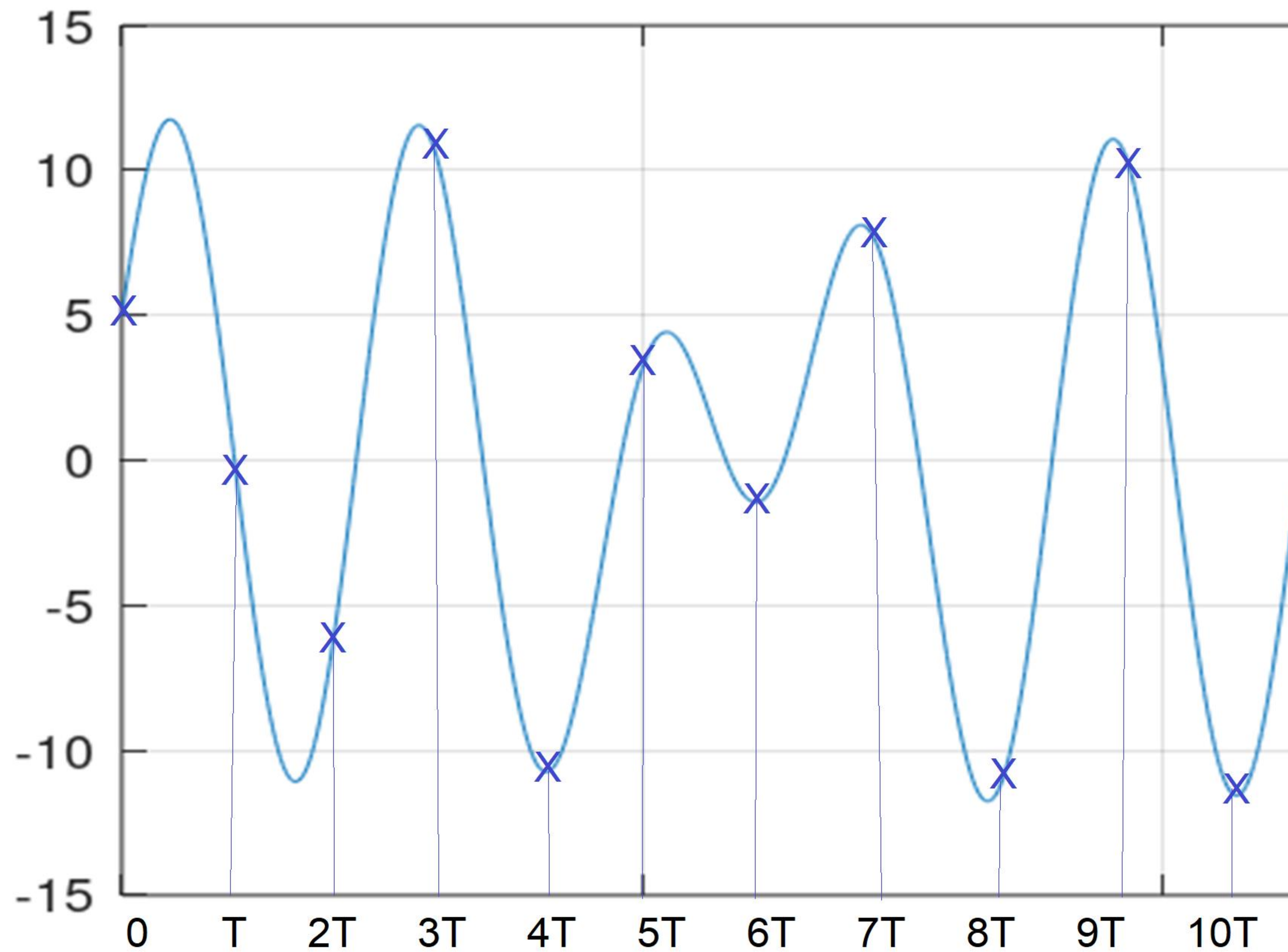
Conversão analógico- digital (AD)

O problema da digitalização

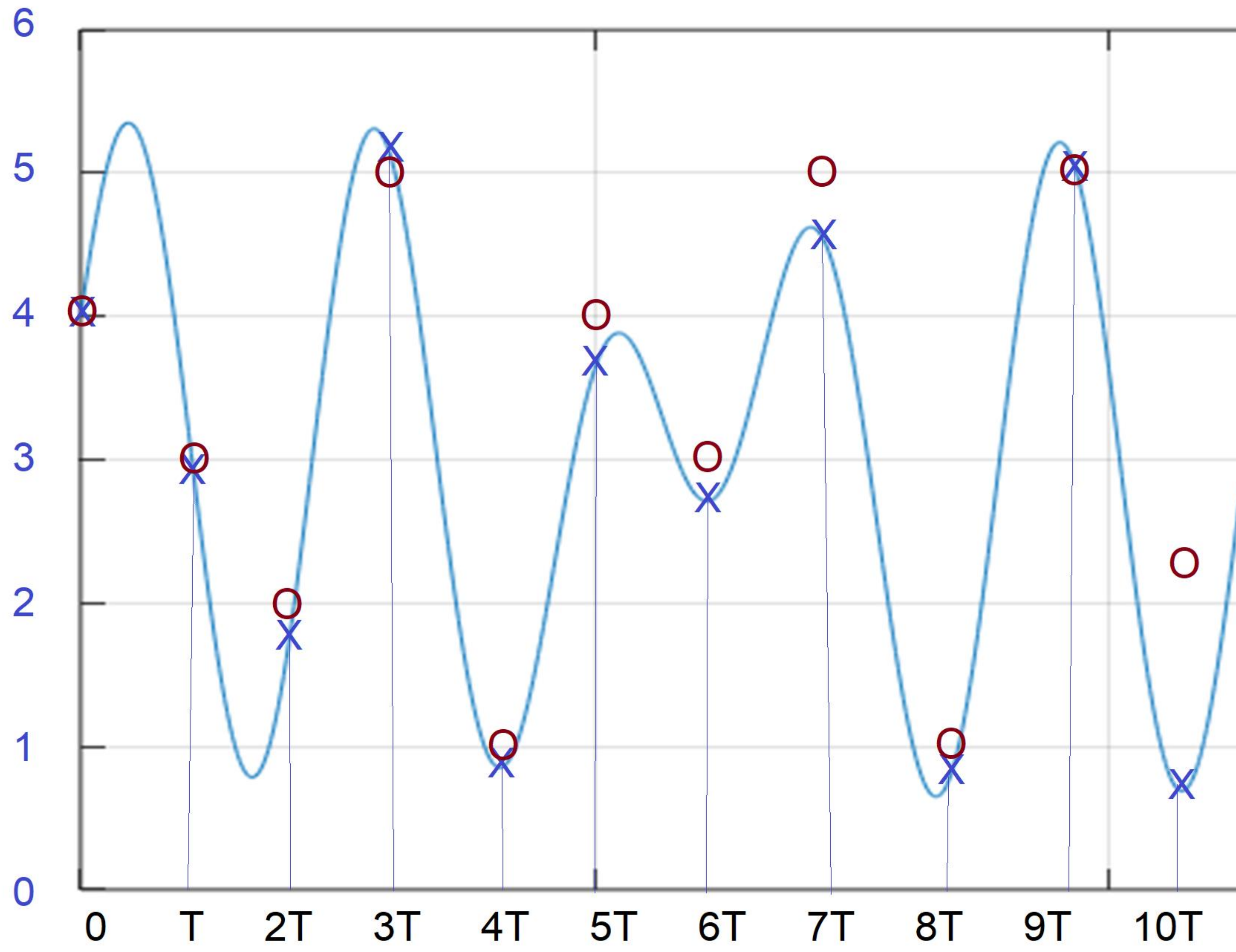
Conversão analógico- digital (A/D)



Conversão analógico- digital (A/D)

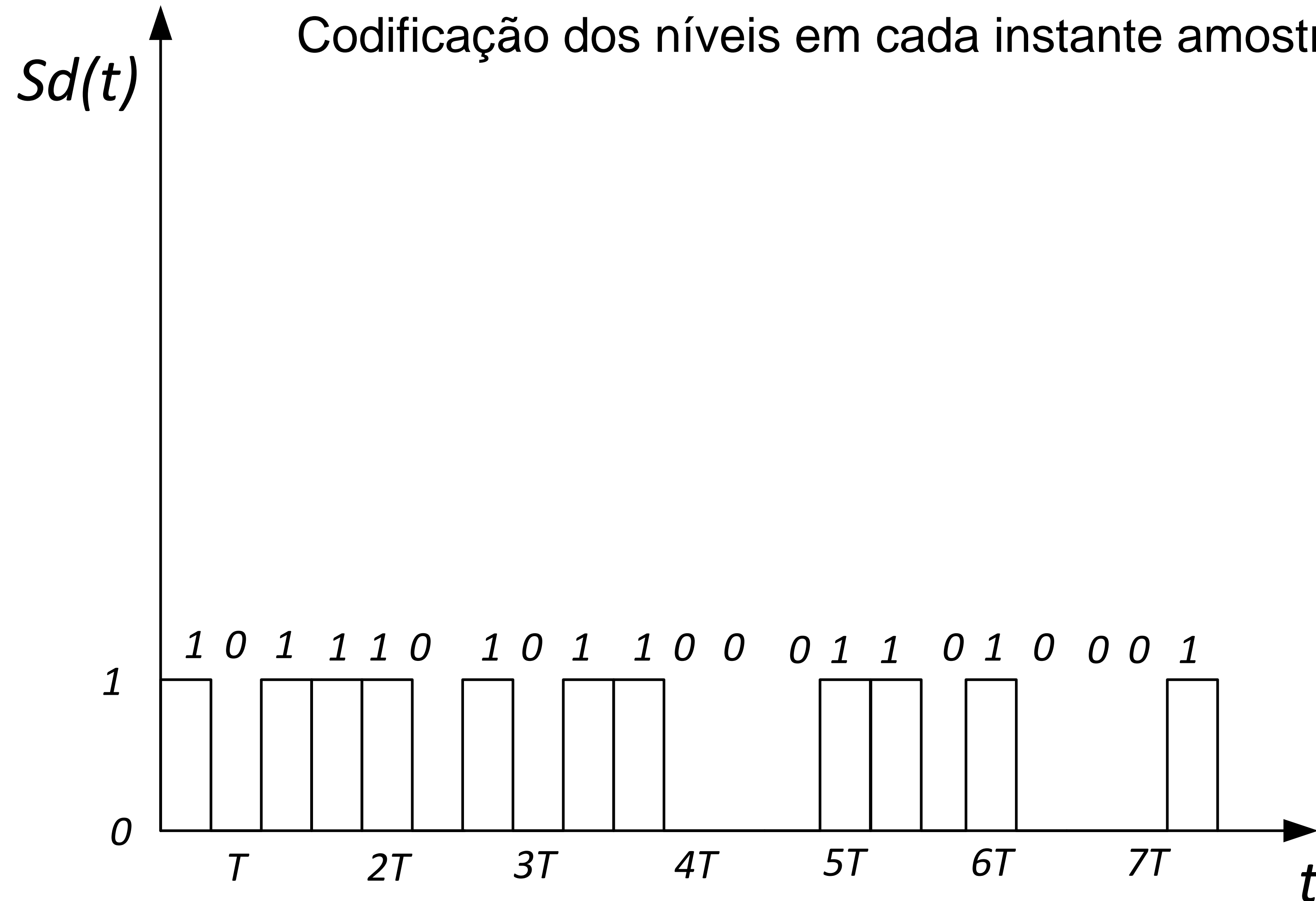


Conversão analógico-digital (A/D)



Sinal digital

Codificação dos níveis em cada instante amostrado

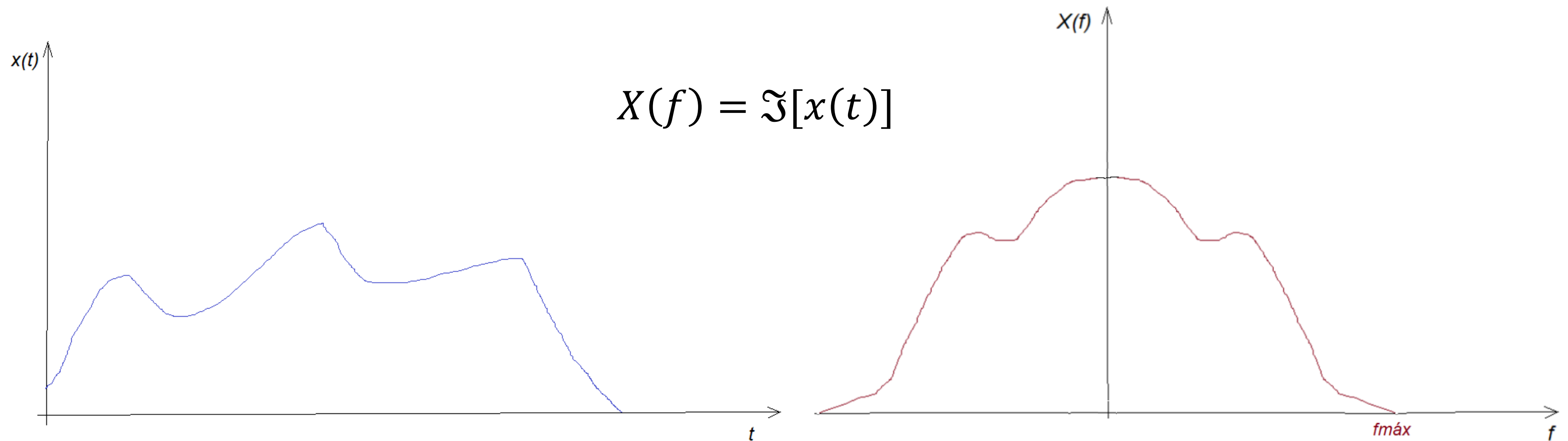


Formalizando o teorema da amostragem

- 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

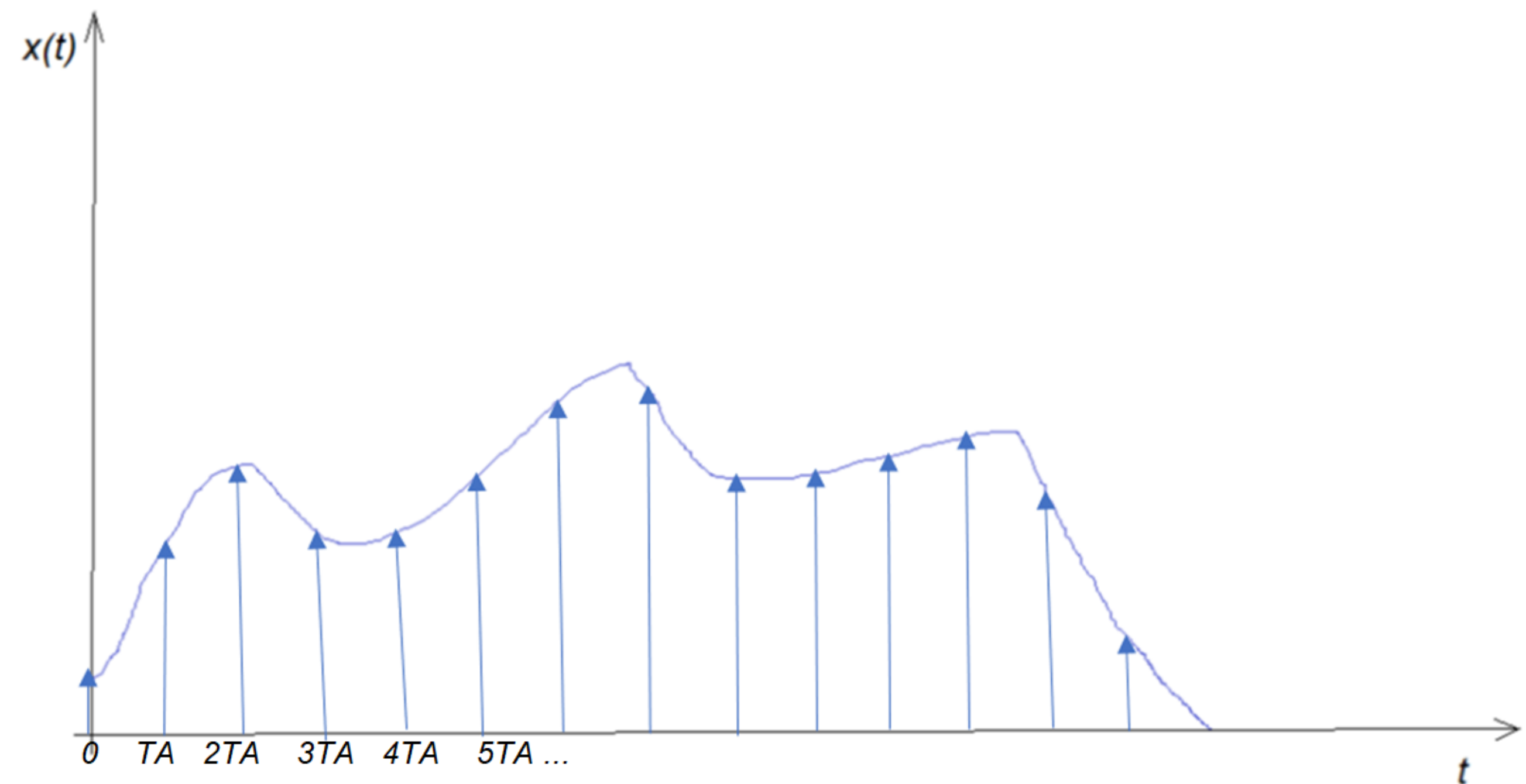
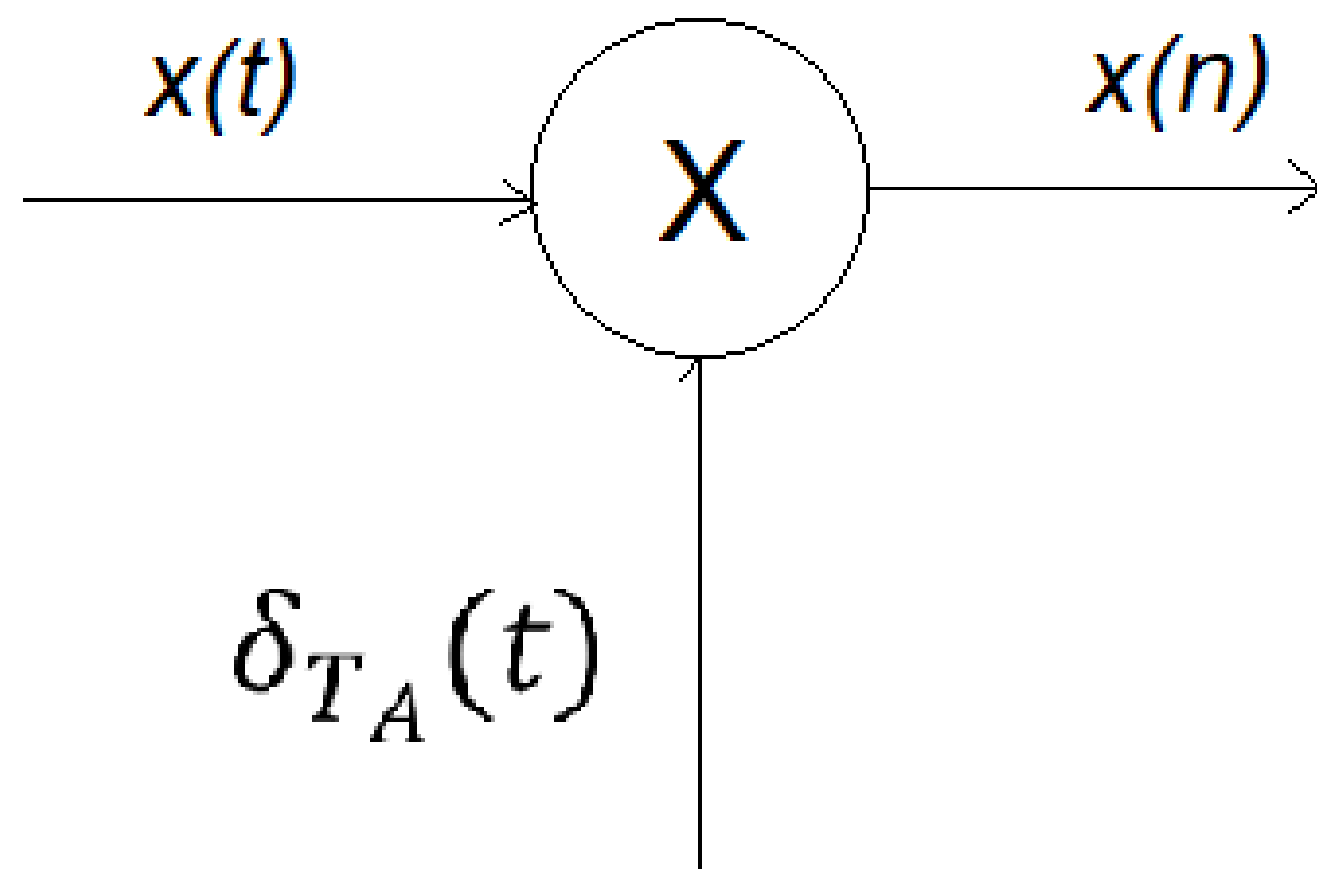
$$f_A > 2f_{máx}$$

O sinal analógico e seu comportamento espectral

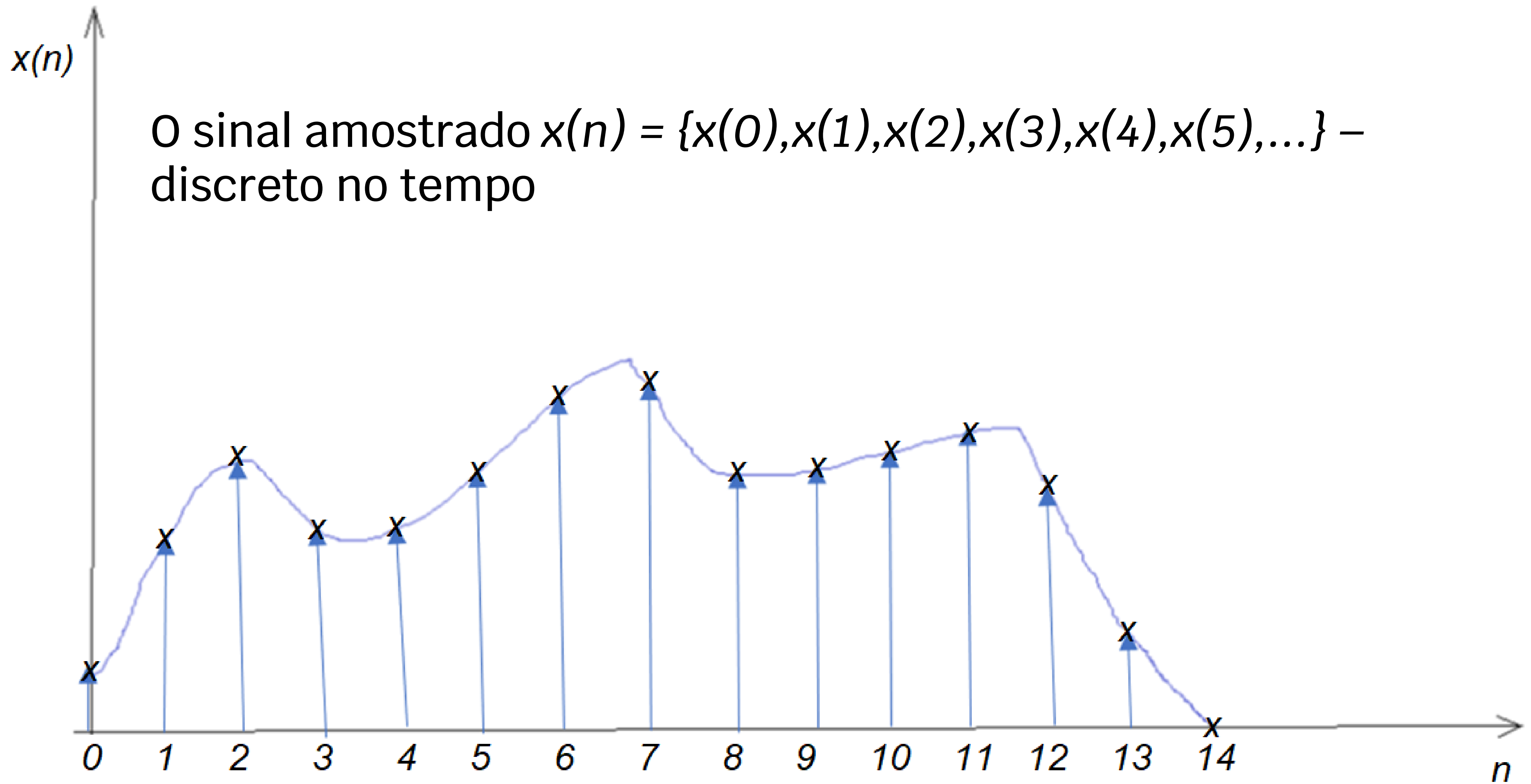


A amostragem

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 $x(t) \cdot \delta_{T_A}(t)$

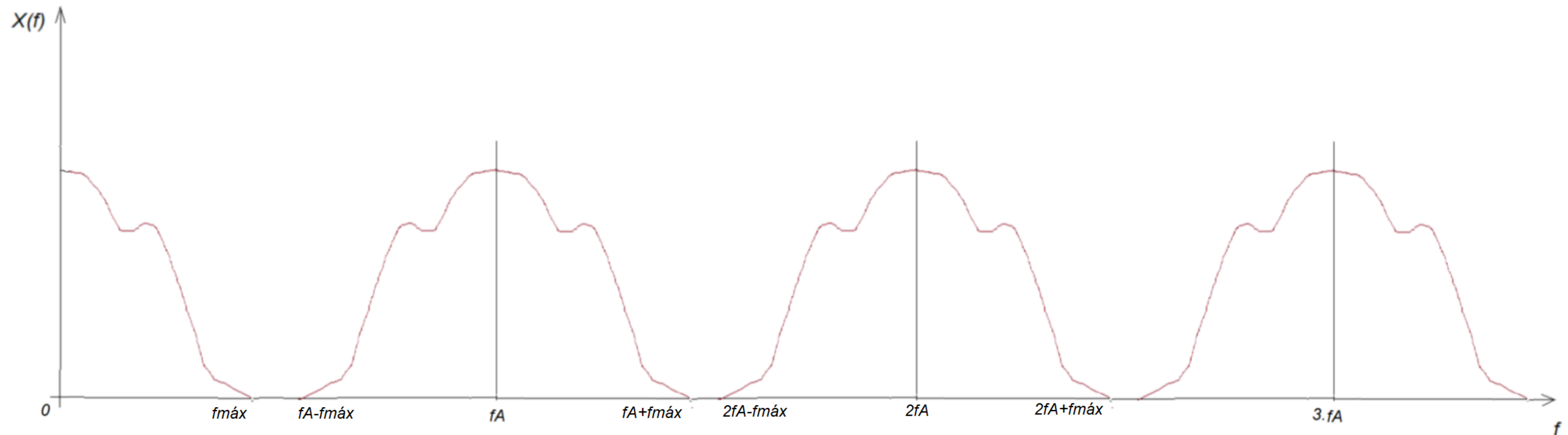


O sinal amostrado $x(n) = \{x(0), x(1), x(2), x(3), x(4), x(5), \dots\}$ – discreto no tempo



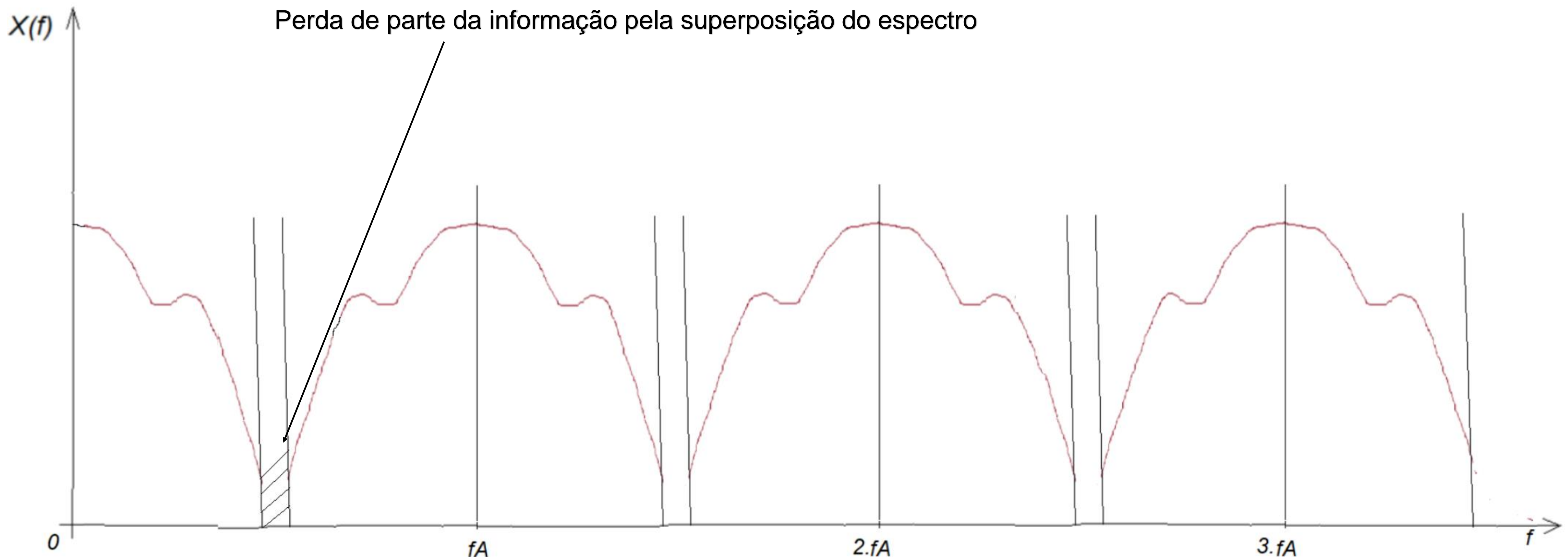
Espectro do sinal amostrado

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

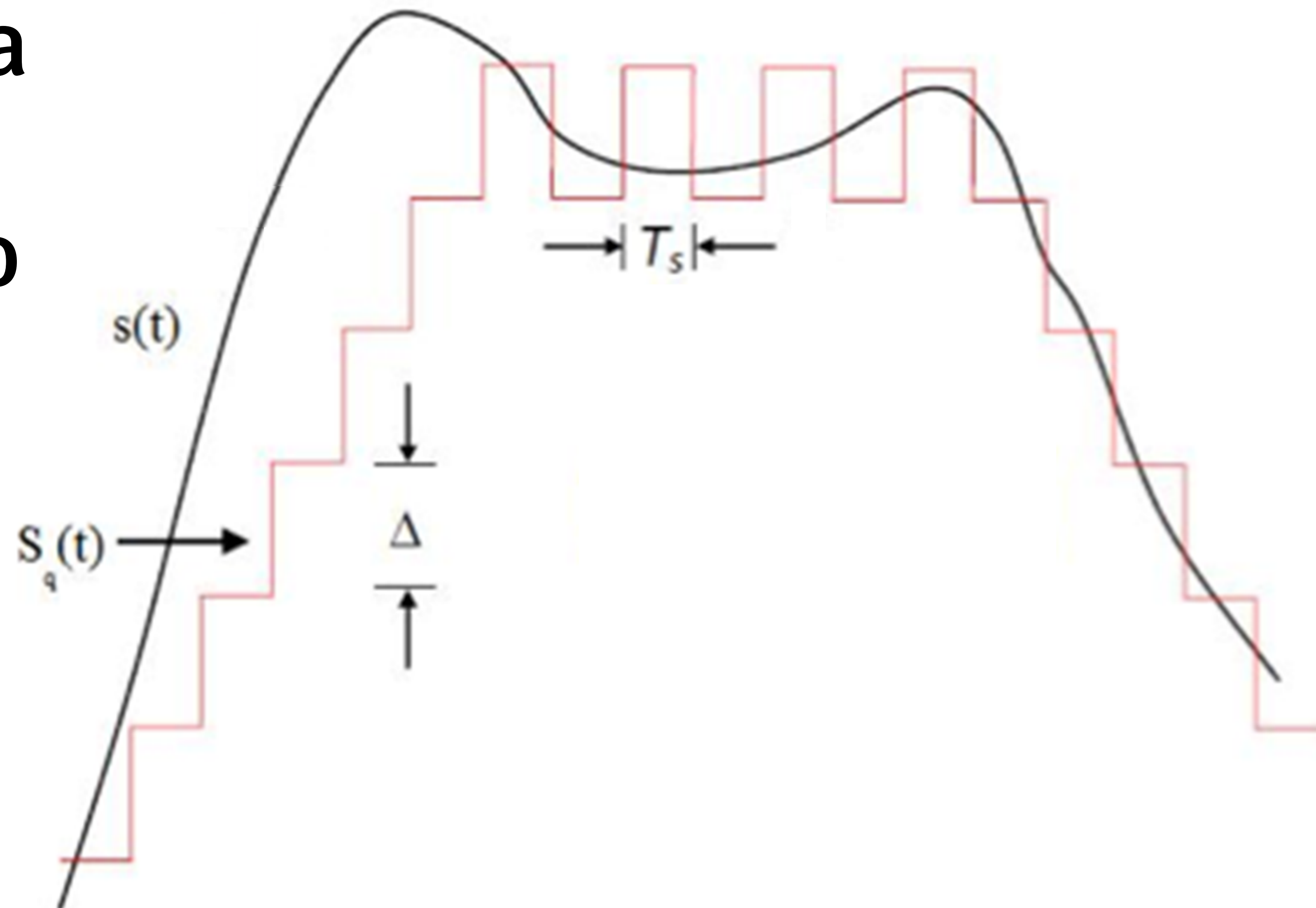


Aliasing

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



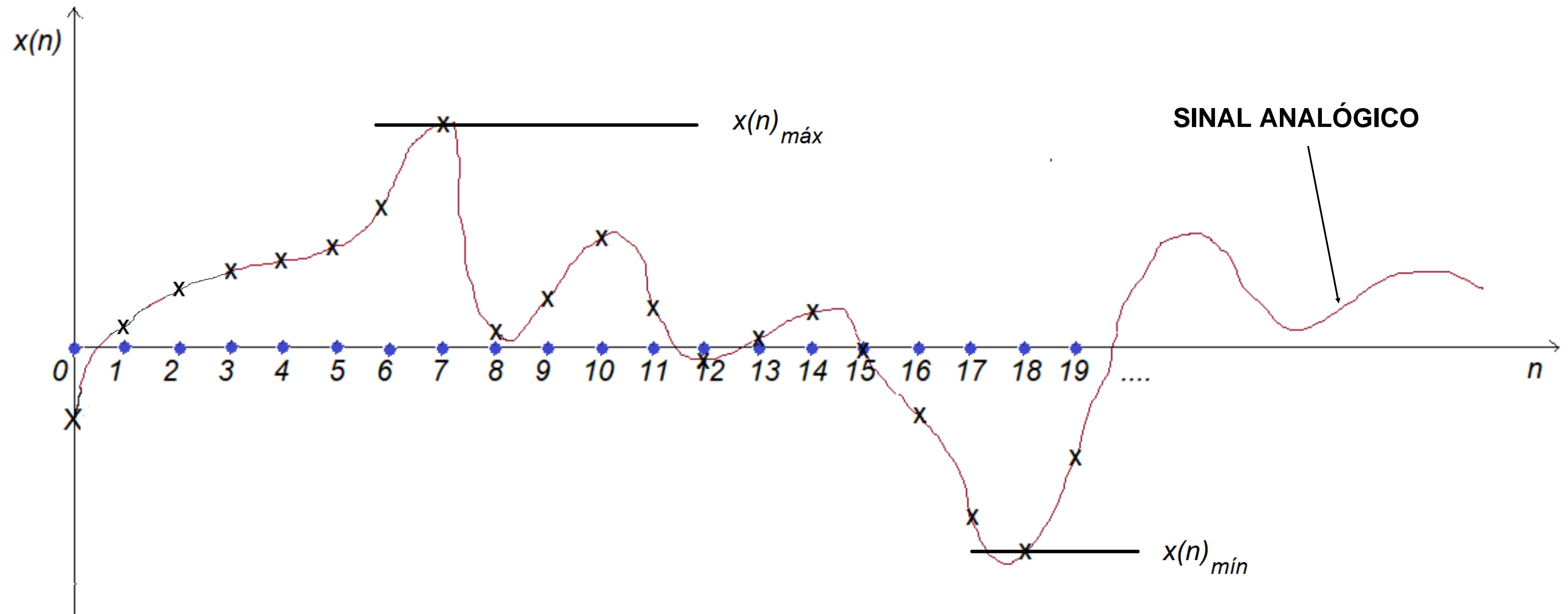
O problema da digitalização: a quantização escalar



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 (Δ) 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

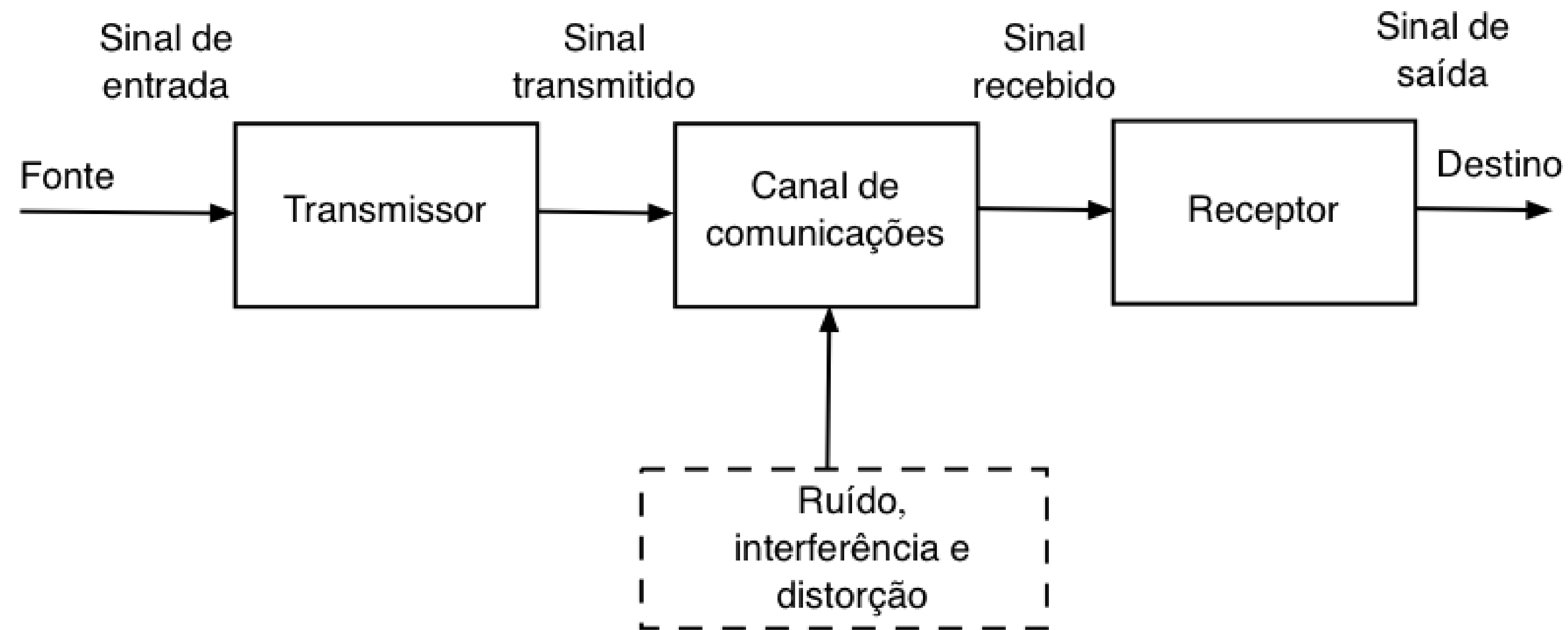
- O ruído ou erro de quantização consiste na diferença entre o sinal de entrada no quantizador e o sinal na saída $d(n) = x(n) - q[x(n)]$, onde $q(x)$ representa a função de quantização.
- A razão sinal/ruído de quantização, em dB, é dada por $SQNR = 10 \log \frac{\sum_n x^2(n)}{\sum_n d^2(n)}$

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^(*): (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.

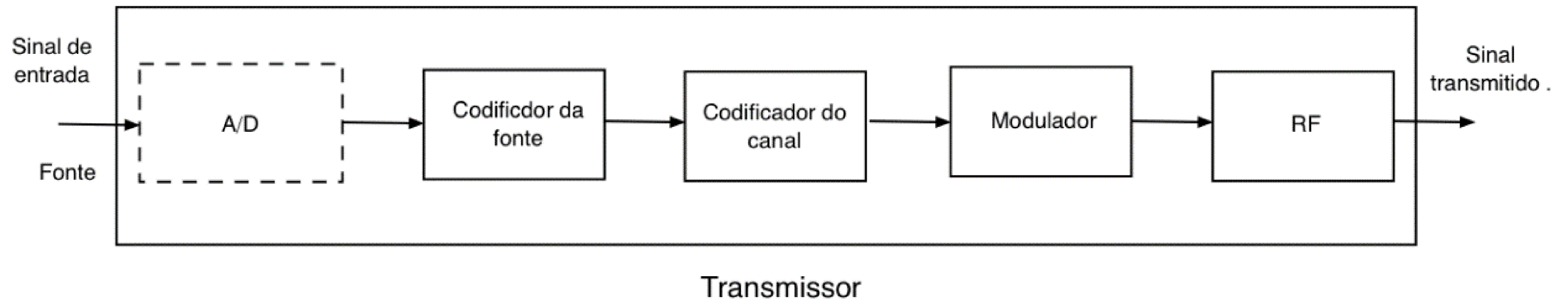
Limitações fundamentais

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

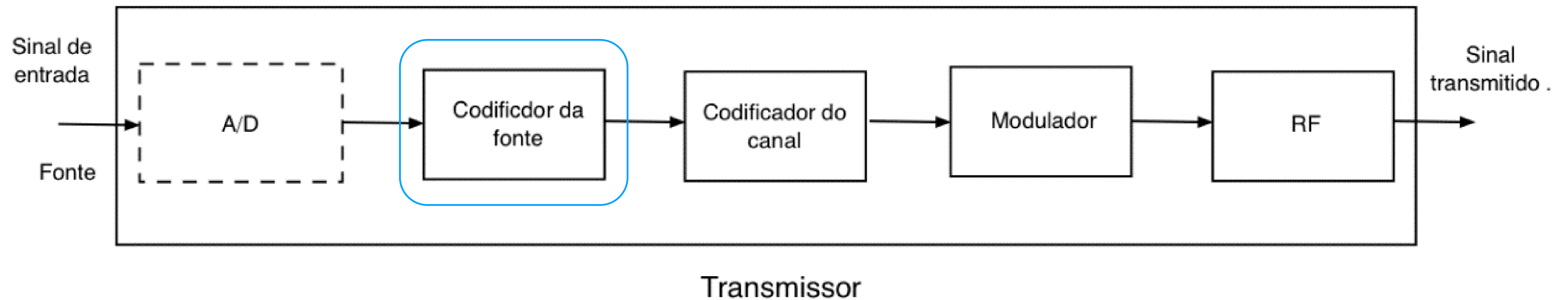
$$C = B \cdot \log\left(1 + \frac{S}{N}\right)$$

Modelo do transmissor

Transmissor



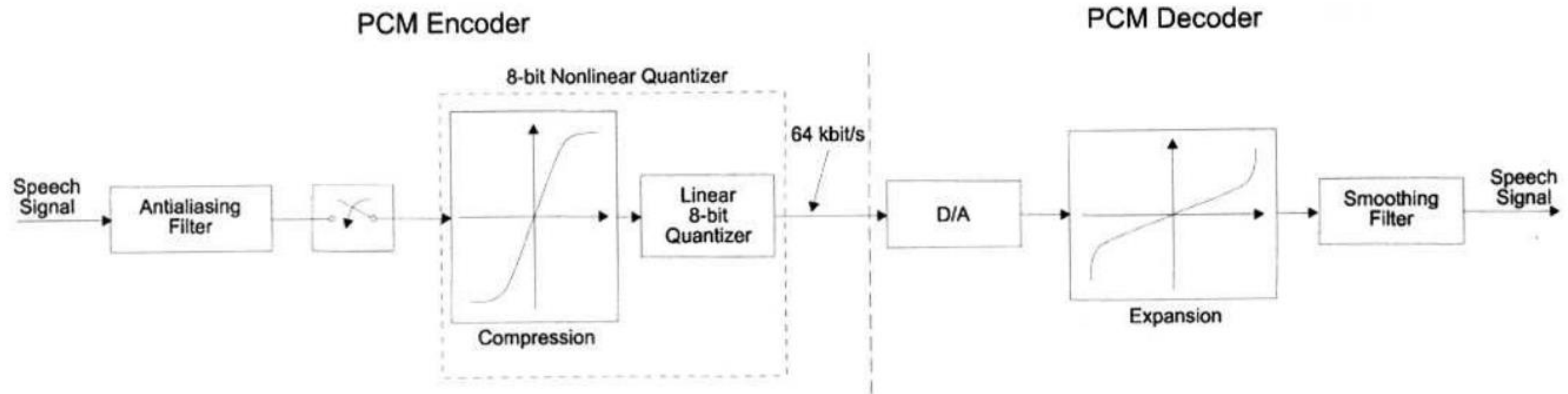
Transmissor



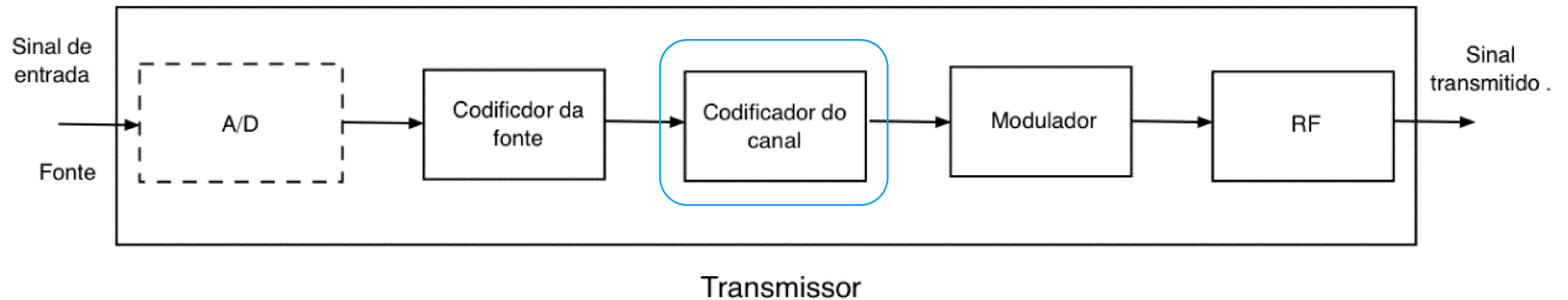
Codificador da fonte

- 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)*



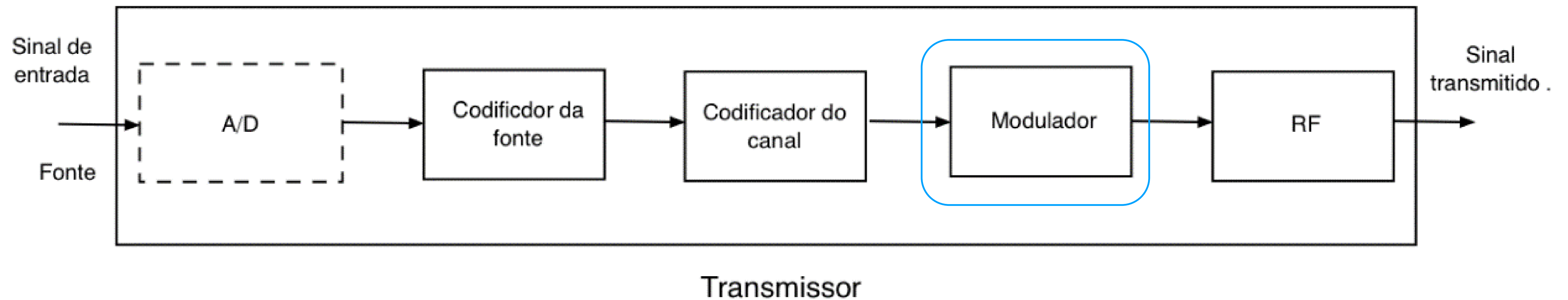
Transmissor



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**.

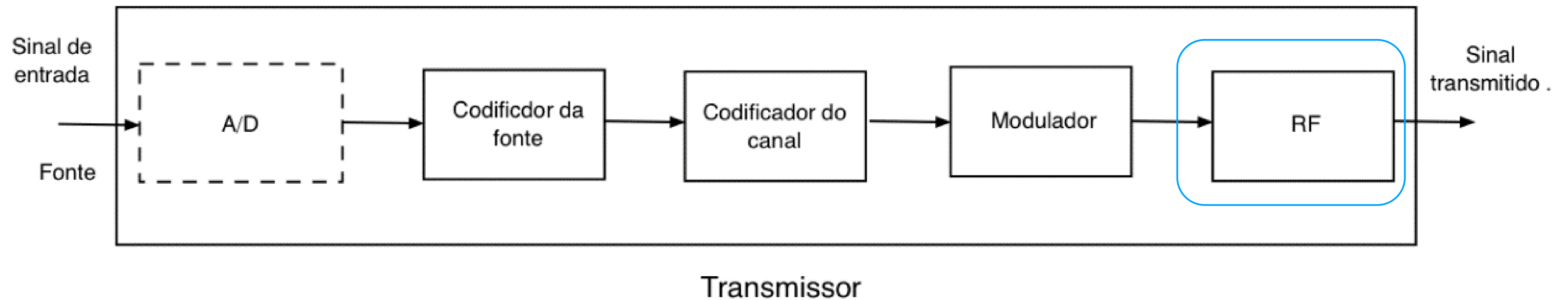
Modulação

- 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**