

# Princípios de Telecomunicações

PRT60806

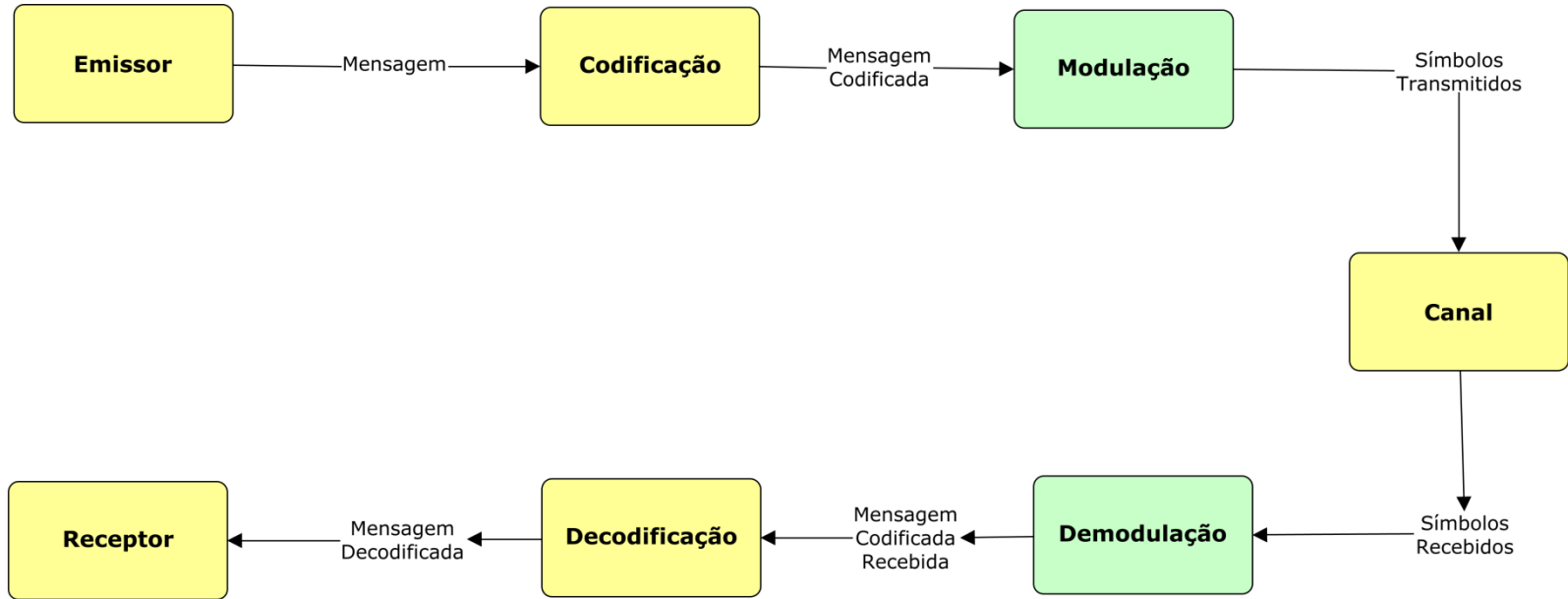
Aula 19: Modulação por Código de Pulso (PCM)

Professor: Bruno Fontana da Silva

2014



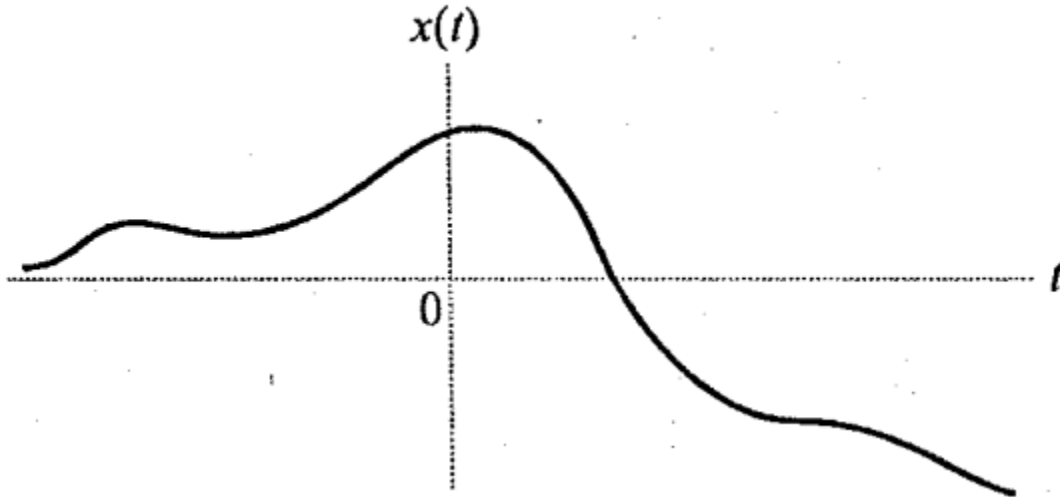
# Bloco de Comunicação Genérico



**Emissor – sinais analógicos x sinais digitais**

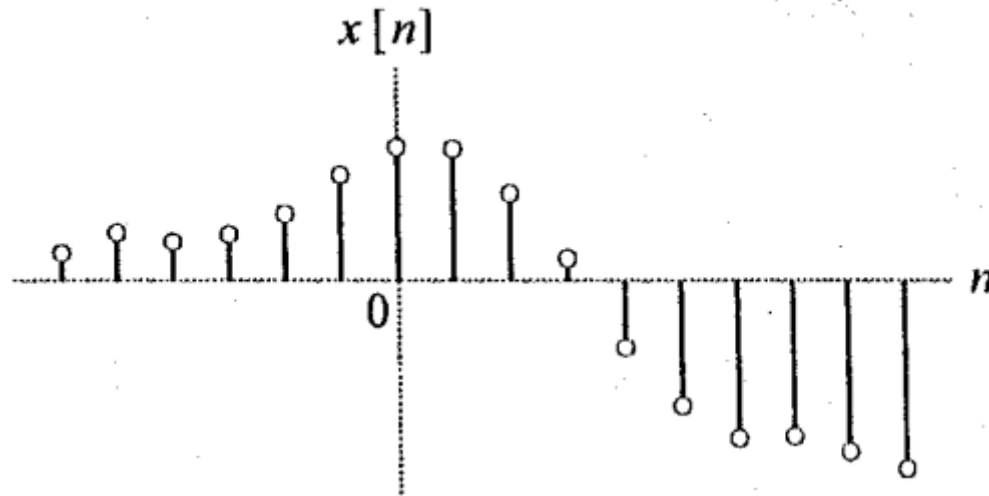
# Sinais Contínuos

- Possuem um valor definido a qualquer instante de tempo (**sinais de tempo contínuo**).



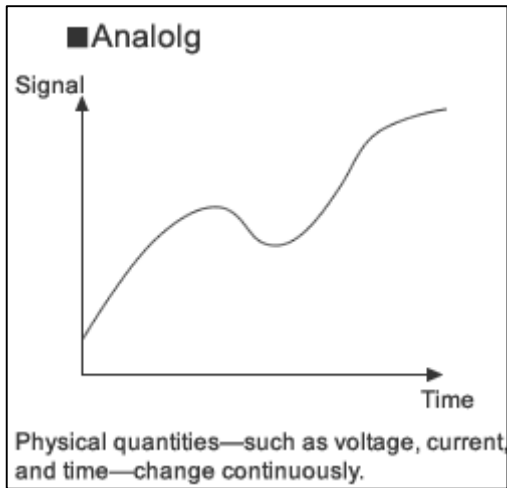
# Sinais Discretos

- Possuem valores definidos apenas em alguns instantes de tempo (**sinais de tempo discreto**).



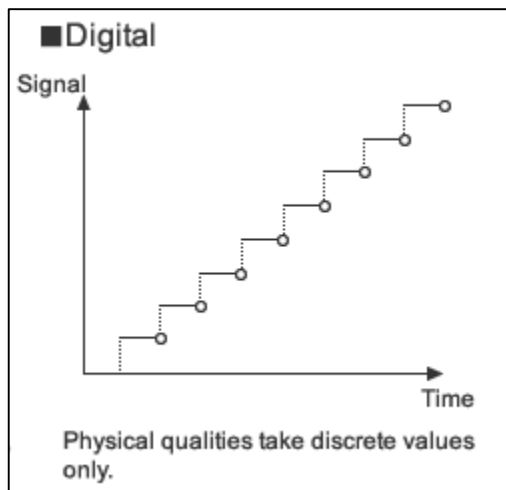
# Sinais Analógicos

Seus valores variam por uma faixa contínua de possibilidades  
**(sinais de amplitude contínua).**



# Sinais Digitais

Possui um número limitado, finito, de possíveis valores  
**(sinais de amplitude discreta).**



# Classificação dos Sinais

(amplitude)

Digital

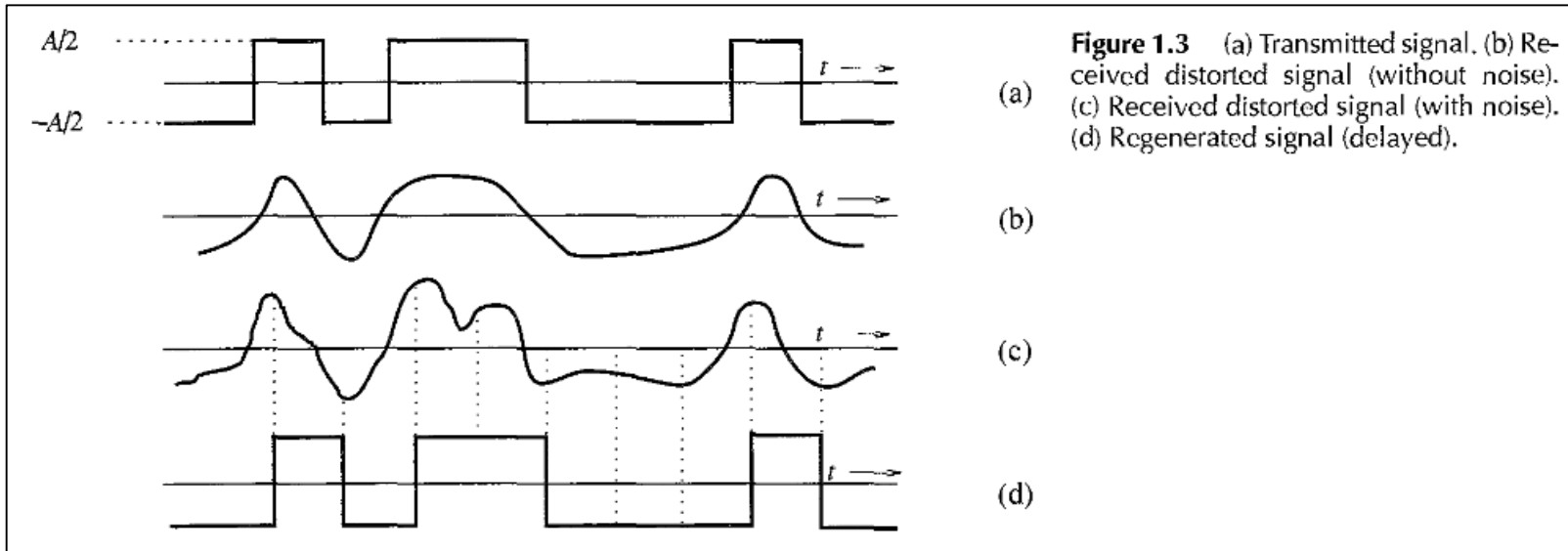
Analógico

(tempo)



# Vantagens no uso de sinais digitais

1. O sinal digital é mais resiliente ao ruído (dentro de certos limites) em relação ao sinal analógico.





# Vantagens no uso de sinais digitais

2. O uso de estações repetidoras permite a reconstrução de sinais digitais, regenerando sua forma de onda e transmitindo novos pulsos livres de ruído.

Sinais analógicos, ao serem contaminados com ruído, não podem ser simplesmente amplificados e sua reconstrução é mais complexa.

# Vantagens no uso de sinais digitais

3. Implementação digital em hardware é flexível e permite o uso de microprocessadores, multiplexadores digitais, circuitos integrados de larga escala, etc.
4. Sinais digitais podem ser codificados para atingirem taxas de erro tão pequenas quanto desejável, alta fidelidade e segurança.

# Vantagens no uso de sinais digitais

5. Comunicação digital é mais eficiente que a analógica no balanço da troca entre razão sinal-ruído e banda ocupada.
6. Armazenamento digital é relativamente simples e barato, permitindo fácil busca e acesso remoto.
7. Reprodução de sinais digitais é altamente fidedigna e não se deteriora com o tempo.
8. Custo x performance: decaindo, aumentando a cada 2/3 anos.

Princípio da conversão analógico/digital

**PCM:**

**CODIFICAÇÃO POR MODULAÇÃO DE PULSO**

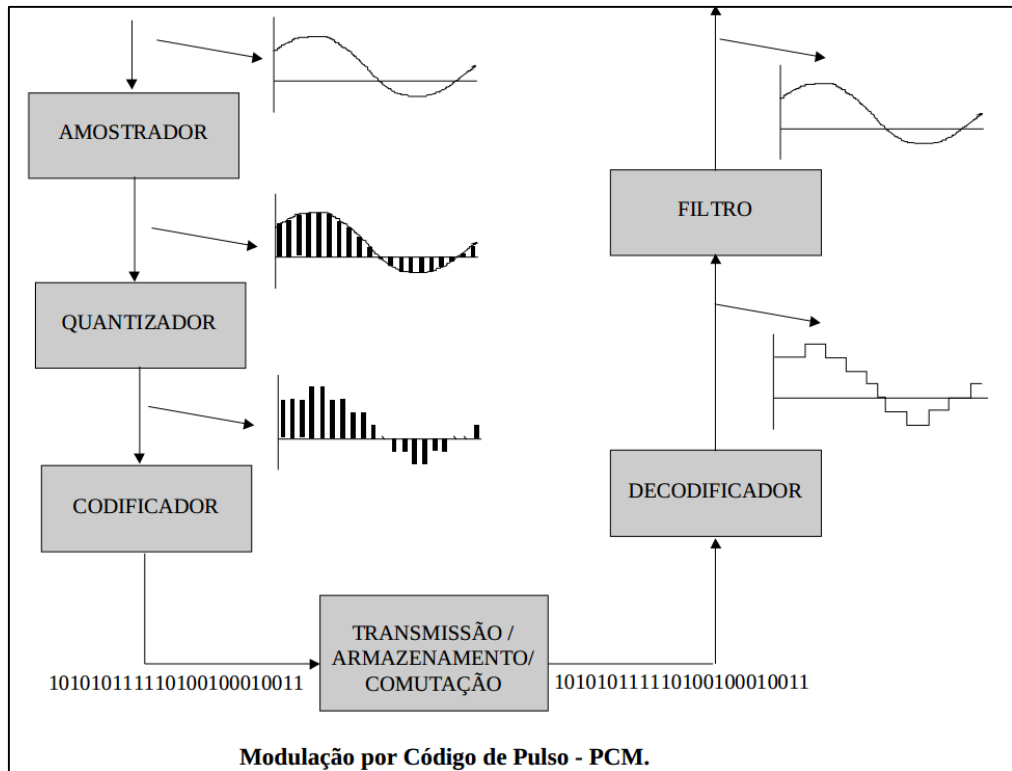


# Conversão Analógico – Digital (A/D)

Muitos sinais são obtidos em sua **natureza analógica** (sinais de voz, sinais de áudio de instrumentos, intensidade de luz para fotografias, etc.).

Por diversos motivos (comunicação, transmissão, armazenamento) encontra-se a necessidade de **converter sinais analógicos** para o **domínio digital**, a fim de utilizá-los em sistemas digitais.

# Conversão Analógico – Digital (A/D) e Digital – Analógico (D/A)



Etapas de conversão A/D e D/A na modulação por código de pulso.

No conversor A/D, há 3 etapas:

- 1) Amostragem
- 2) Quantização
- 3) Codificação

# 1) Amostragem ou Discretização

A **amostragem** ou discretização (**sampling**) consiste em obter um valor do sinal em diferentes instantes de tempo.

Em geral a amostragem é linear com uma **frequência de amostragem** (ou período de amostragem) **fixa** ( $T_s = \frac{1}{f_s}$ ).

Para que a reconstrução do sinal seja possível, a frequência de amostragem deve ser **no mínimo o dobro da banda do sinal**. Para sinais banda base, isso significa o dobro da maior frequência presente no espectro.

## 2) Quantização

O sinal amostrado deve ser limitado em amplitude

de  $A_{\min}$  até  $A_{\max}$  ( $v_{pp} = A_{\max} - A_{\min}$ ).

Essa faixa de amplitudes deve ser dividida em  $L$  intervalos uniformemente espaçados, cuja largura será  $\Delta v = \frac{v_{pp}}{L}$ .

O **centro dos intervalos** é o **valor quantizado** do sinal.



## 2) Quantização

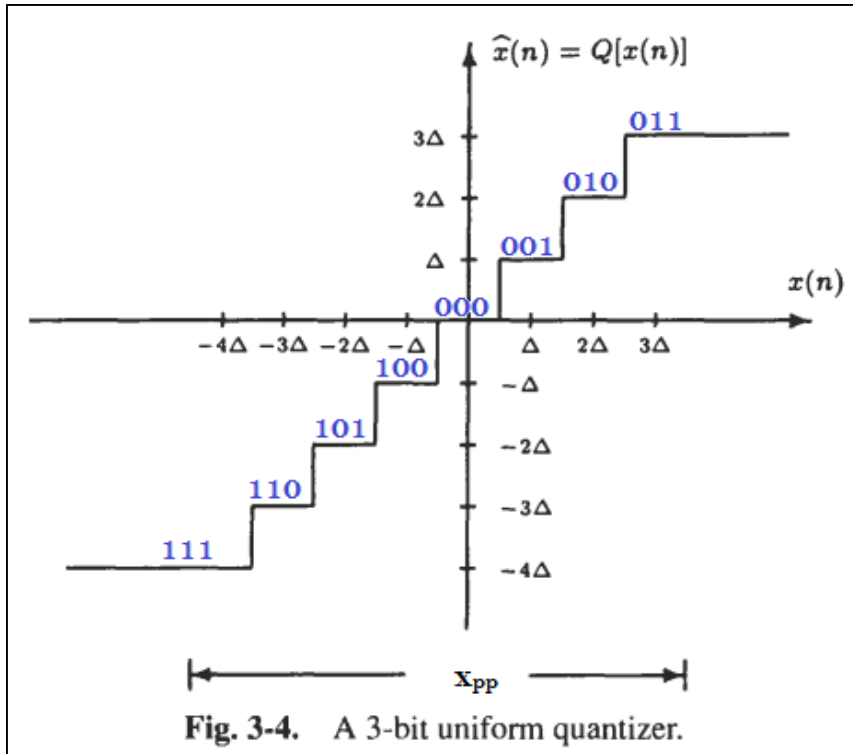


Fig. 3-4. A 3-bit uniform quantizer.

Exemplo de quantizador de  $n = 3$  bits  
com  $L = 8$  níveis de quantização.

O valor binário  $(000)_2$  foi atribuído à amplitude zero, valor central de um dos intervalos de quantização. Portanto, a faixa do sinal considerado irá variar de  $-4\Delta v$  até  $3\Delta v$ .

Exemplos:

Valores do sinal amostrado no intervalo  $\left(-\frac{\Delta v}{2}, +\frac{\Delta v}{2}\right)$  são quantizados em  $0 \rightarrow (000)_2$ .

Valores no intervalo  $\left(+\frac{\Delta v}{2}, +\frac{3\Delta v}{2}\right)$  são quantizados em  $\Delta v \rightarrow (001)_2$ .

Valores no intervalo  $\left(-\frac{3\Delta v}{2}, -\frac{\Delta v}{2}\right)$  são quantizados em  $-\Delta v \rightarrow (100)_2$ .

# Ruído de Quantização Linear

**Potência do sinal:**  $S_o = V_{rms}^2$

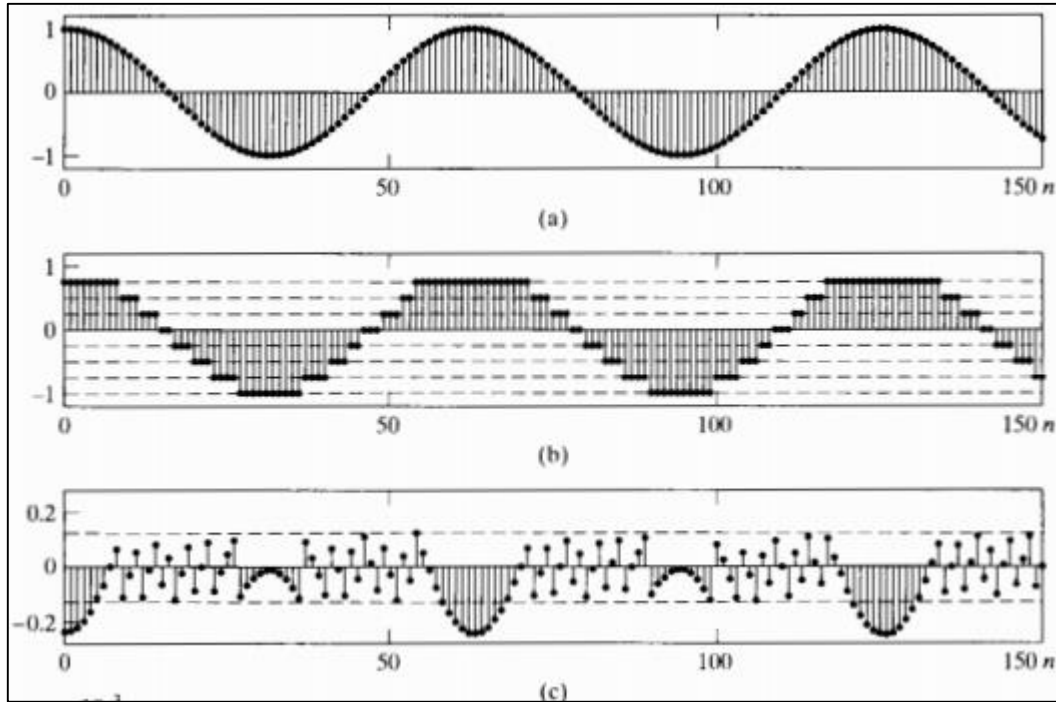
**Potência do ruído de quantização** (erro médio quadrático de quantização):

$$N_q = \frac{1}{12} \left( \frac{v_{pp}}{L} \right)^2$$

**Razão sinal-para-ruído de quantização** ( $SNR_q$ ):

$$SNR_q = \frac{S_o}{N_q} = 12L^2 \left( \frac{V_{rms}}{V_{pp}} \right)^2$$

# Efeito da Quantização e Erro de Quantização



(a) Sinal amostrado sem quantização.

(b) Sinal quantizado com 3 bits ( $L = 8$  níveis de quantização).

(c) Erro de quantização (3 bits)

### 3) Codificador Binário

Cada valor quantizado deve ser transformado numa sequência de bits distinta. Uma sequência de  $n$  bits pode ser arranjada em  $2^n$  padrões distintos. Portanto, a quantidade de níveis de quantização é dada pela relação:

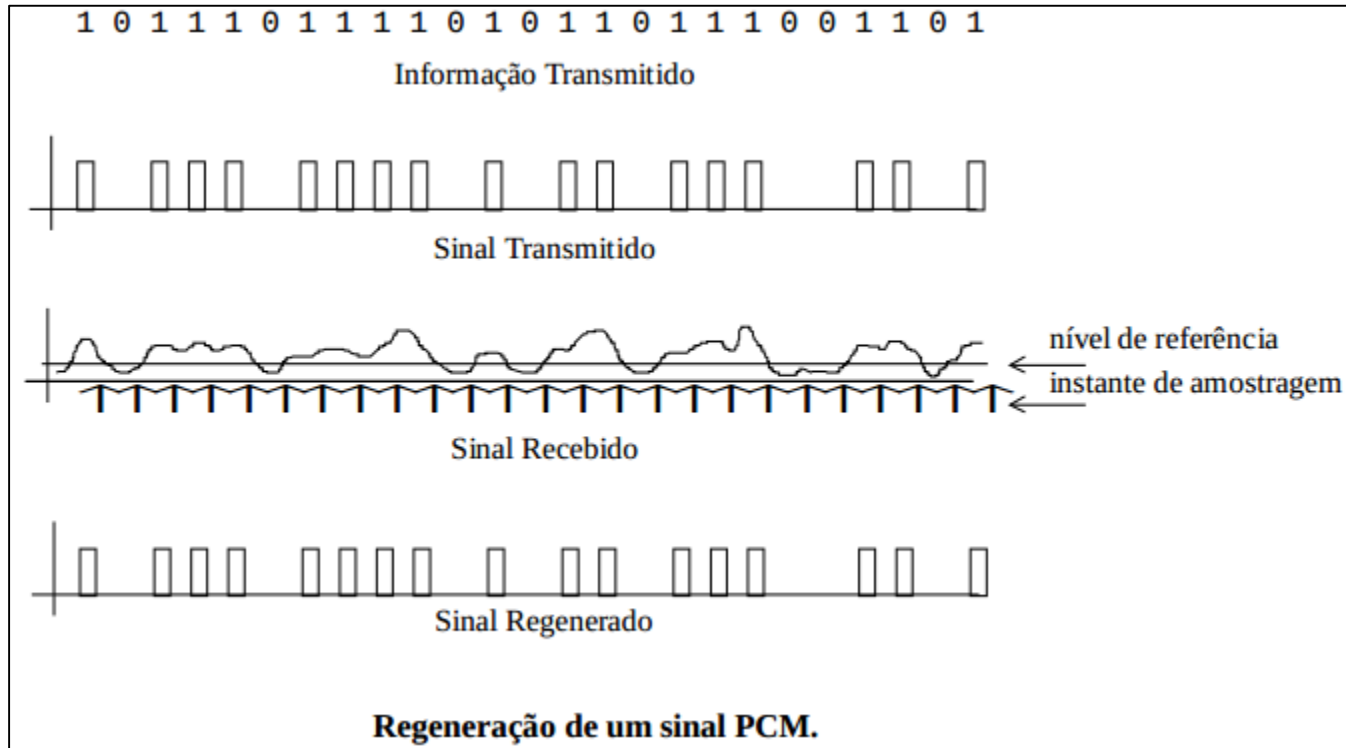
$$L = 2^n$$

Consequentemente, o número de bits necessário para  $L$  níveis é:

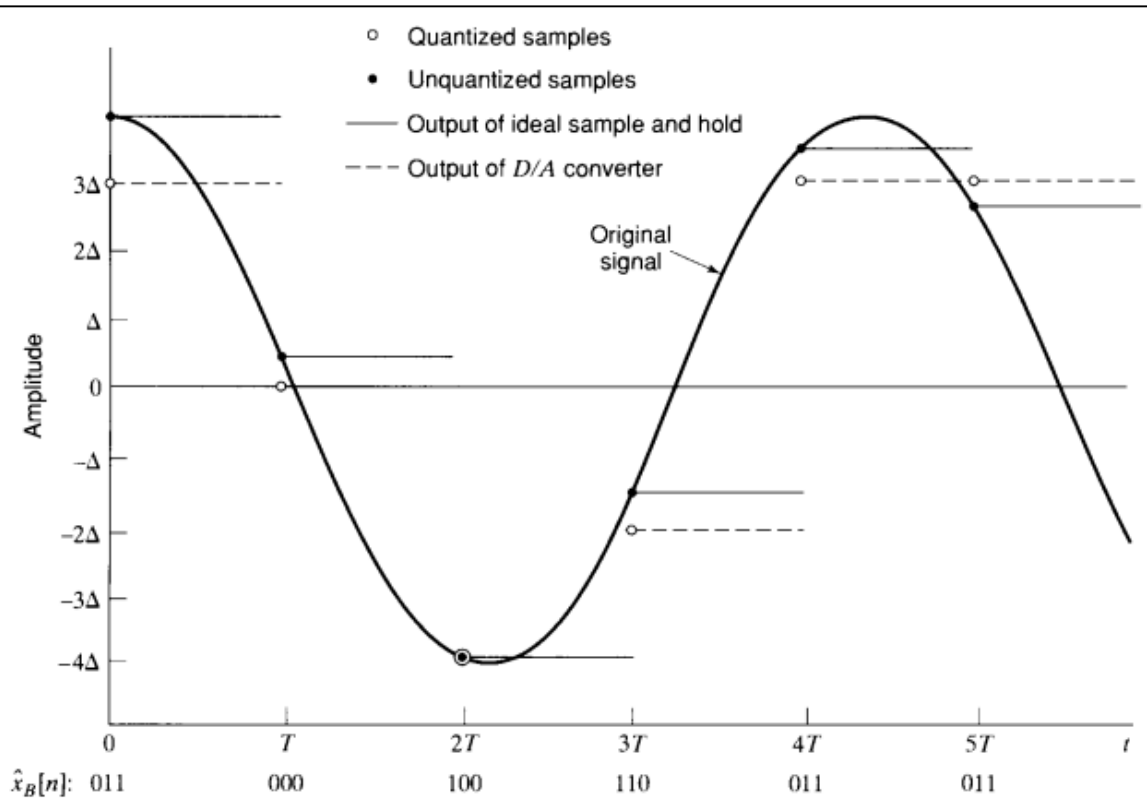
$$n = \log_2(L)$$

$$\log_2(L) = \frac{\log(L)}{\log(2)} \cong \frac{10}{3} \log_{10}(L)$$

### 3) Codificador Binário



# Ilustração Geral da PCM



**Figure 4.49** Sampling, quantization, coding, and D/A conversion with a 3-bit quantizer.

# Banda do sinal codificado

O sinal analógico que está sendo convertido possui uma banda de  $B$  Hz. Devido ao teorema da amostragem, é necessário um mínimo de  $2B$  amostras por segundo.

Cada amostra possui  $n$  bits codificados, portanto a taxa do sinal codificado em bits por segundo (bps) é de  $n2B$  bps.

Como conclusão, a largura de banda do canal para transmitir um sinal codificado por PCM deve ser  $B_{canal} = nB$ .