

Instituto Federal de Santa Catarina
Curso Técnico em Telecomunicações
PRT- Princípios de Telecomunicações

MODULAÇÃO POR CÓDIGO DE PULSO PCM

Prof. Deise Monquelate Arndt

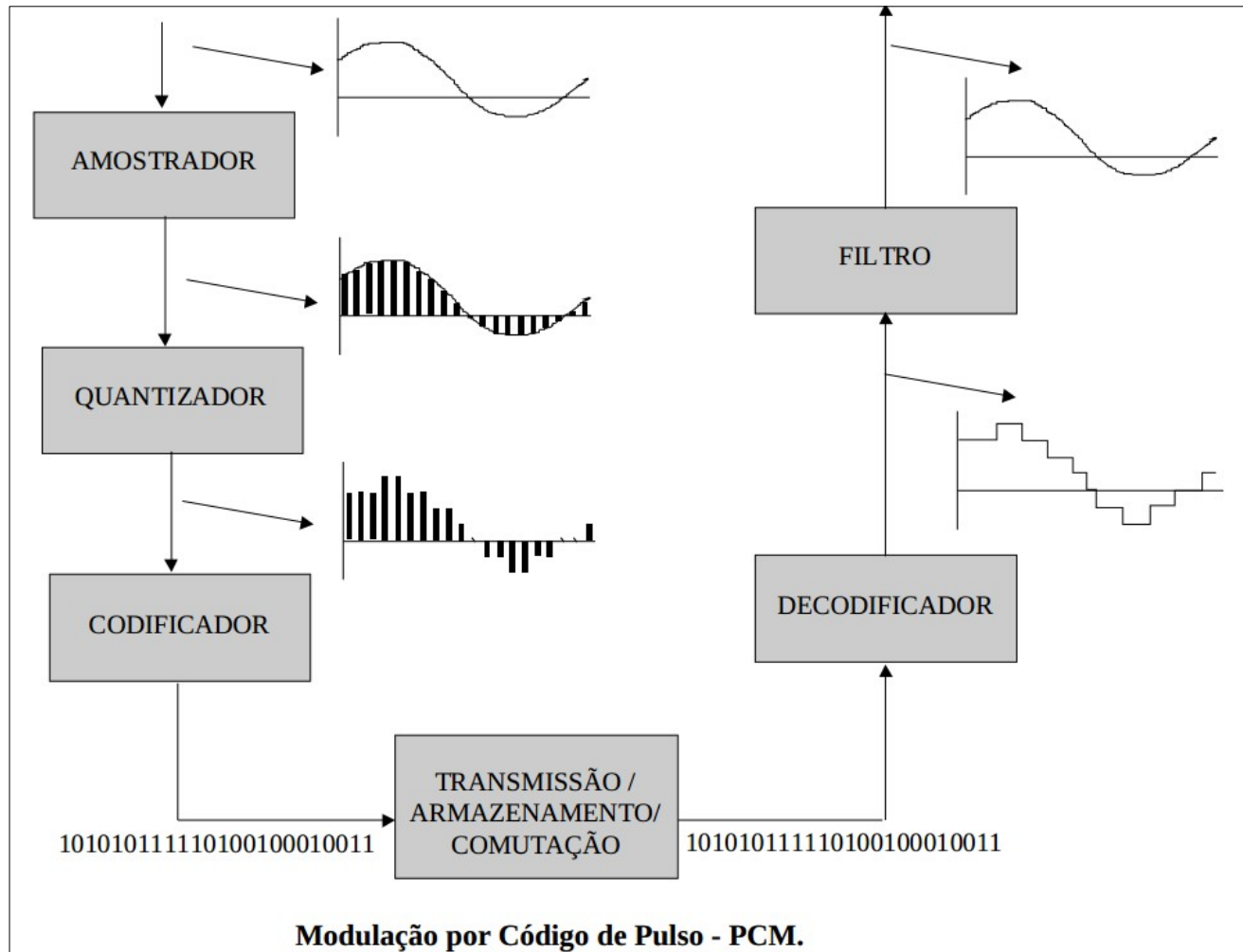
Fontes: Princípios de Sistemas de Telecomunicações,
Prof. Saul Caetano e Prof. Marcos Moecke

São José, fevereiro de 2016

Modulação por Código de Pulso - P

- Grande parte dos sinais utilizados nas telecomunicações são de natureza analógica, como por exemplo, os sinais de voz, sinais de áudio de instrumentos, entre outros;
- Para a realização do processamento digital (transmissão, armazenamento) destes sinais, é necessária a conversão para o formato digital.
- A técnica mais difundida para a realização da conversão analógico/digital é chamada **Modulação por Código de Pulso**, PCM (*“Pulse Code Modulation”*)

SISTEMA PCM



Etapas de conversão A/D e D/A no sistema PCM.

No conversor A/D, há 3 etapas:

- Amostragem
- Quantização
- Codificação

Etapa 1: Amostragem dos sinais

- Na etapa de amostragem, o sinal analógico é medido em intervalos regulares de tempo;
- A amostragem é equivalente a modulação do sinal de informação pelo sinal de amostragem (trem de pulsos);
- De maneira geral, o processo de amostragem é linear com uma frequência e um intervalo de amostragem fixo. ($T_s = 1/F_s$);

Etapa 1: Amostragem dos sinais

- Para que o processo de amostragem seja eficiente o valor da frequência de amostragem deve ser no mínimo o dobro da largura de banda do sinal, é o chamado **Teorema de Amostragem ou Teorema de Nyquist**. $f_a > 2f_{\text{sinal}}$
 - Para sinais em banda base isto significa o dobro da maior frequência presente no espectro do sinal.
- Na prática o sinal analógico é filtrado antes do processo de amostragem. O filtro possui uma frequência de corte pouco abaixo de **$f_c < f_a/2$** ;
 - Exemplo: No sistema telefônico a voz tem sua frequência limitada em $f_{\text{sinal}} = 3400$ Hz. A taxa de Nyquist necessária é de 6800 Hz. A taxa de amostragem padronizada pela ITU-T é de 8000 Hz, resultando em uma banda de guarda de 1200 Hz, permitindo a realização da filtragem através de filtros menos complexos.

Amostragem dos sinais

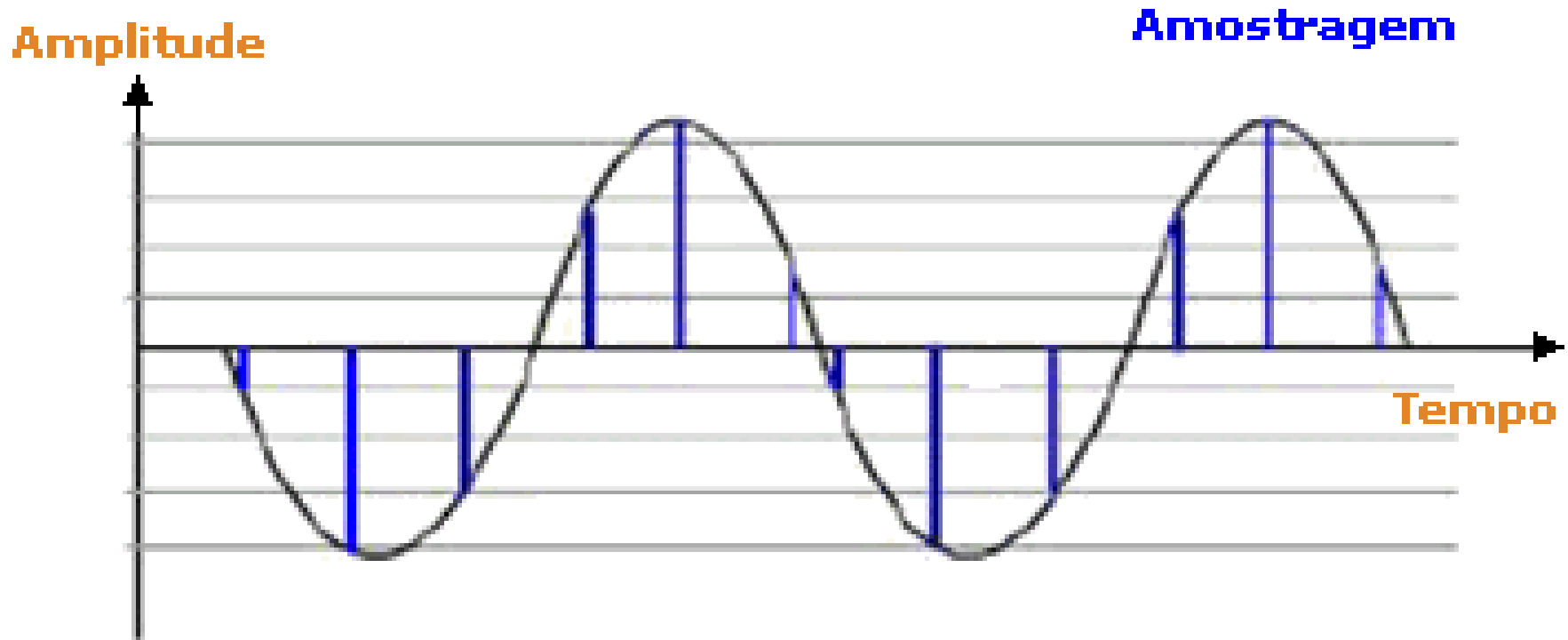


Figura : Sinal sendo amostrado.
Fonte: *Dígito*.

Etapa 2: Quantização dos Sinais

- Na etapa de quantização as amostras do sinal de informação são arredondadas para o níveis de tensão (níveis de quantização) preestabelecidos.
- Temos dois tipos de quantização:
 - Quantização uniforme;
 - Quantização não uniforme;
- Este arredondamento ocasiona o chamado **erro de quantização ou ruído de quantização**, que pode ser minimizado quando aumentamos o número de níveis de quantização.

Quantização Uniforme

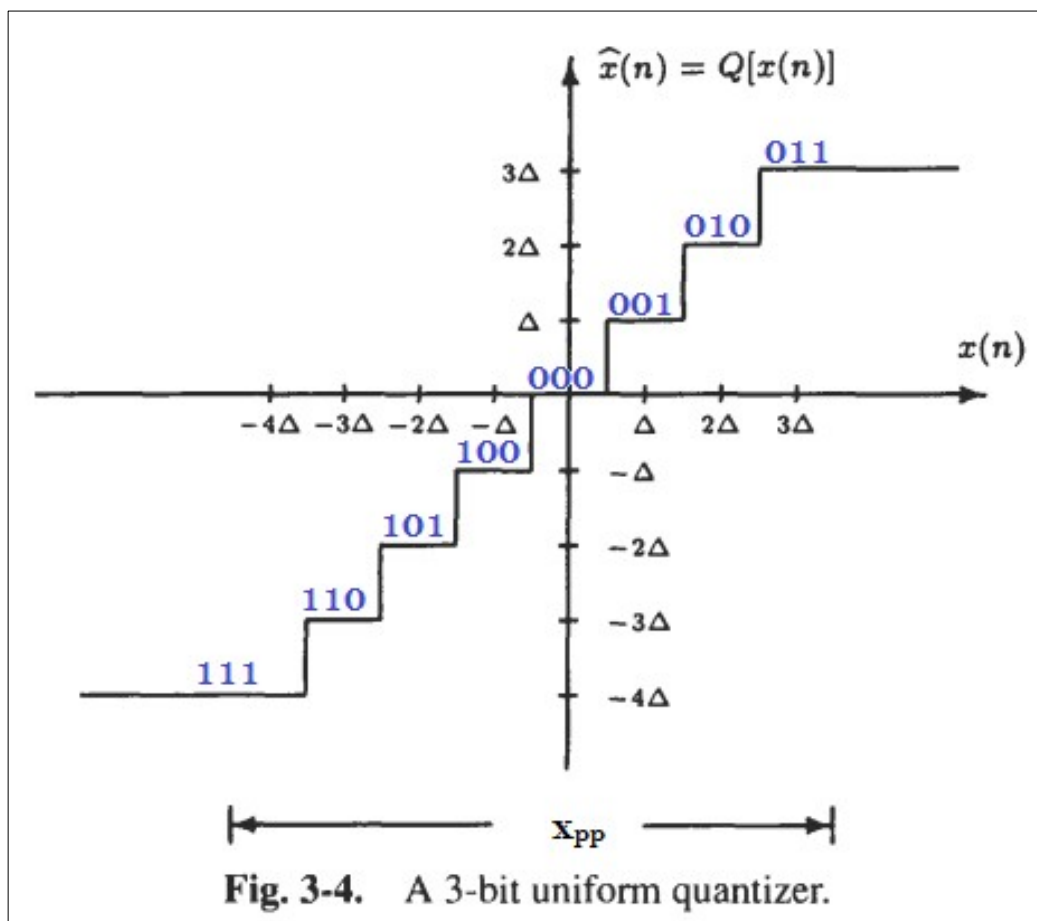
- Na quantização uniforme o sinal amostrado deve ser limitado em amplitude, assim :
- $V_{pp} = \text{Amplitude Máxima} - \text{Amplitude Mínima}$
 - Essa faixa de amplitudes é dividida em L intervalos, uniformemente espaçados, cuja largura será:

$$\Delta_v = \frac{V_{pp}}{L}$$

Onde L = número de níveis de quantização
 Δ_v = valor do passo de quantização

Etapa 2: Quantização dos Sinais

- 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 $-\Delta v \rightarrow (100)_2$.

Erro ou Ruído de Quantização

➤ Potência do Sinal:

$$S_o = V_{RMS}^2$$

➤ Potência do erro de quantização:

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

➤ Razão sinal - erro de quantização:

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

Erro ou Ruído de Quantização

- A relação Sinal Ruído de Pico PSNR em dB é dada por:

$$P_{SNR} = 10 \log \frac{P_{sinal}}{P_{ruído}}$$

- Podemos determinar a quantidade de “n” bits na quantização dada por:

$$n = \frac{P_{SNR} + FD - 1,76}{6,02}$$

- Onde FD (Faixa dinâmica) é a relação entre a máxima e a mínima amplitude do sinal.

Erro ou Ruído de Quantização

➤ Exemplo:

No sistema telefônico a PSNR necessária para uma boa inteligibilidade é de 35 dB, a faixa dinâmica é de 40 dB. Assim, precisaremos de 13 bits para a codificação do sinal, resultando em 8192 intervalos de quantização. Se a amplitude máxima do sinal é de $\pm 1 V_p$ teremos um passo de quantização de 244uV.

$$\Delta_v = \frac{V_{pp}}{\text{níveis de quantização}} = \frac{2}{8192} = 244 \text{ us}$$

Quantização não uniforme

- Utiliza um passo variável, menor para as baixas amplitudes e maior para as amplitudes maiores;
- Assim, é possível manter a mesma SNR economizando bits na codificação;
- A quantização não uniforme é utilizada na codificação de voz, principalmente nos sistemas telefônicos;
- A técnica consiste na compressão do sinal digital no transmissor e revertida no receptor através da expansão do sinal. O processo permite comprimir para 8 bits uma informação que na quantização uniforme utilizaria 13 bits com a mesma qualidade;
- A compressão e expansão é realizada através de tabelas;
- No sistema telefônico ela é chamada de **Lei A**.

Etapa 3: Codificador Binário

- Cada valor quantizado deve ser convertido em uma sequência de bits.
- A quantidade de níveis de quantização é dada por:

$$L = 2^n$$

Onde “n” é o número de bits necessário para L níveis de Quantização. Desta forma:

$$n = \log_2(L)$$

Lembrando que:

$$\log_2(L) = \frac{\log(L)}{\log(2)}$$

Largura de Banda do sinal Codificado

- O sinal analógico à ser convertido possui uma largura de banda de B Hz. Devido ao teorema de amostragem é necessário, no mínimo $2B$ Hz amostras por segundo.
- Cada amostra é representada por “ n ” bits codificados assim, a taxa do sinal codificado em bps (bits por segundo) é de $2Bn$ bps.
- Desta forma, a largura de banda do canal para transmitir um sinal codificado PCM deve ser : $B = nB$.

Taxa de transmissão

➤ Exemplo:

1. Um sinal de voz é amostrado com frequência de amostragem de $f_a = 8\text{KHz}$. Se o sinal é codificado com $n = 8$ bits, qual a taxa de transmissão?

$$\text{Taxa} = f_a \times n \text{ bits} = 8000 \times 8 = 64\text{kbps}$$

1. Utilizando 8 bits para a codificação do sinal, quantos níveis de quantização teremos?

$$\text{Níveis de quantização} = 2^8 = 256$$