

Instituto Superior de Transportes e Comunicações

DTIC (Departamento de Tecnologia da Informação e Comunicação)

Disciplina:

Sistemas de Comunicação II.

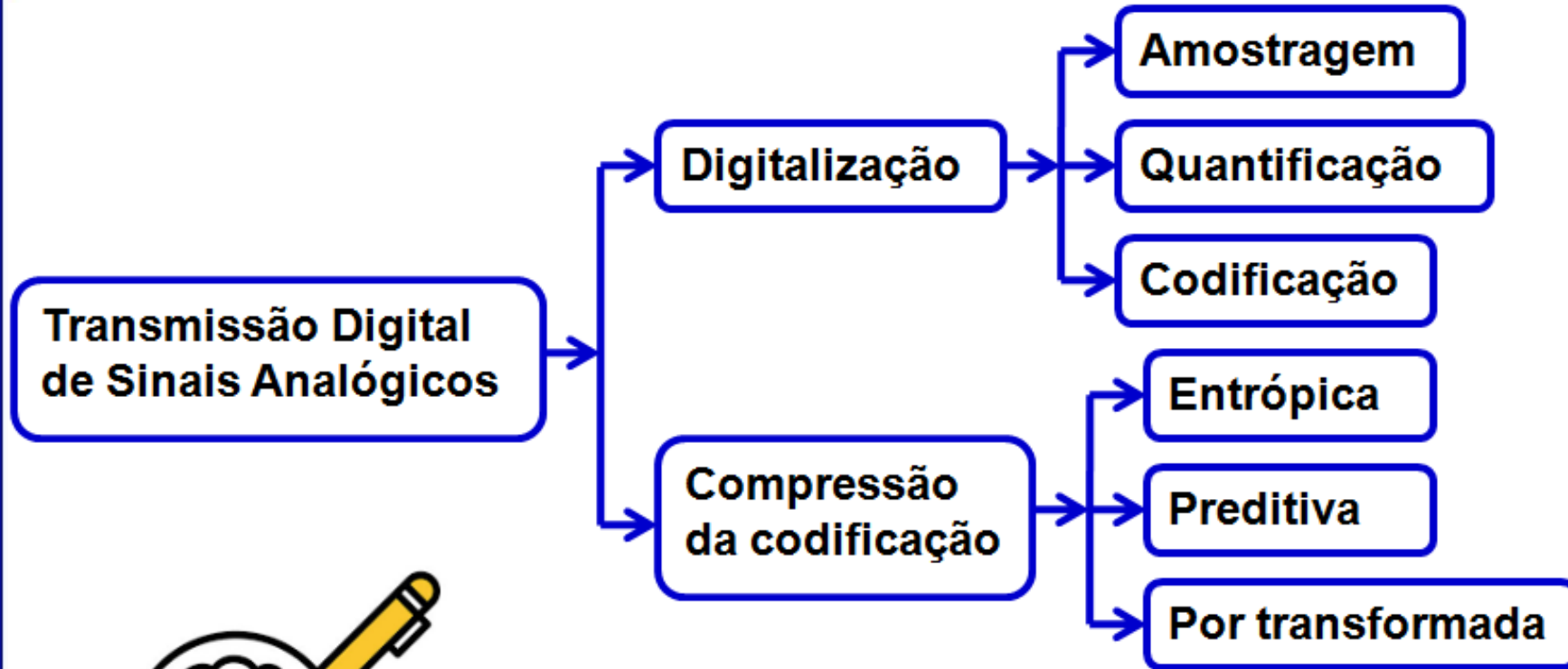
**Sistemas de
comunicação II**

**Introdução aos Sistemas de Com
Digital: Estructura e função**

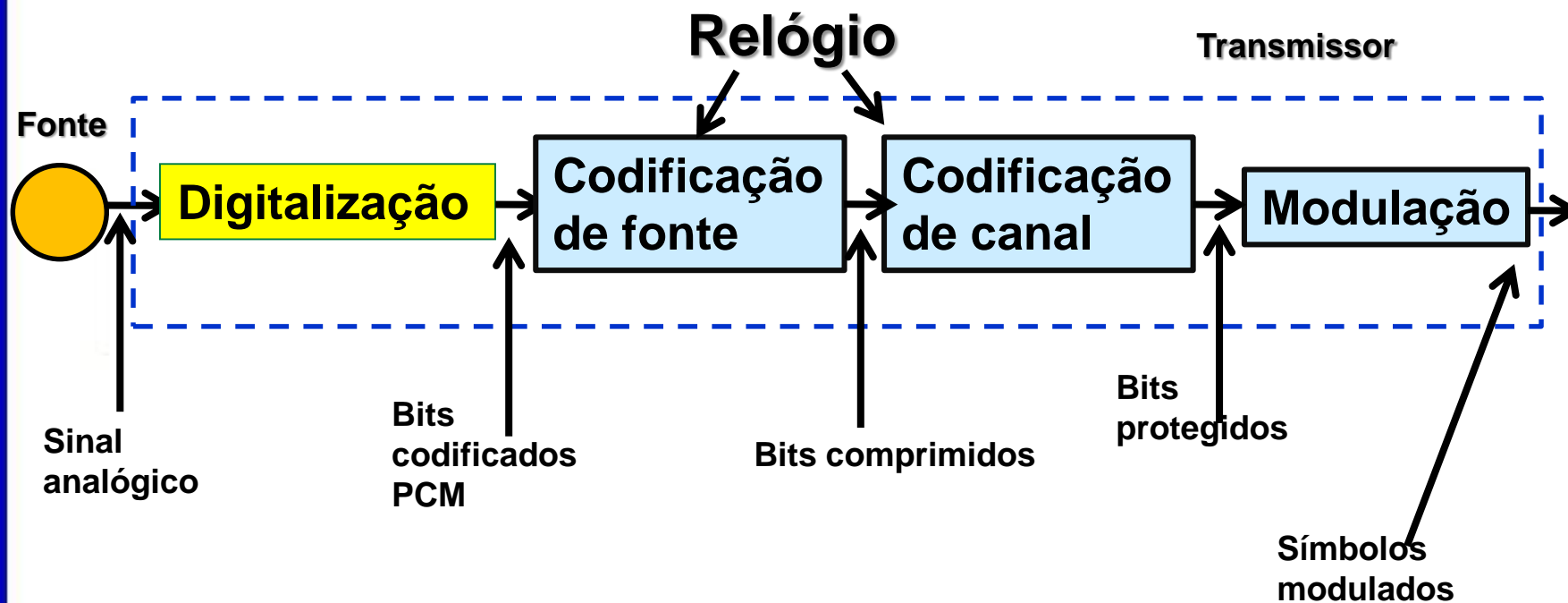
**Transmissão Digital de sinais
analógicos**

Transmissão Digital de sinais digitais

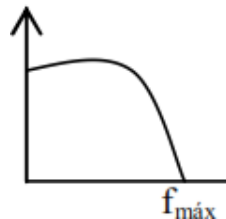
**Transmissão Analógica de sinais
digitais**



A cadeia típica digital

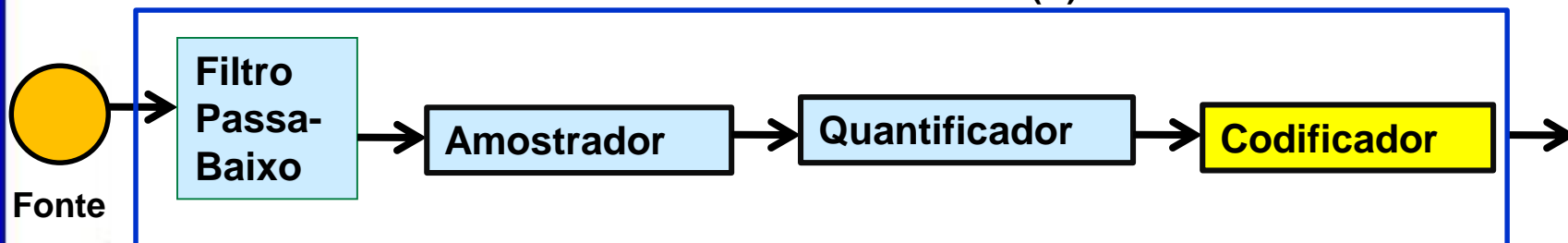
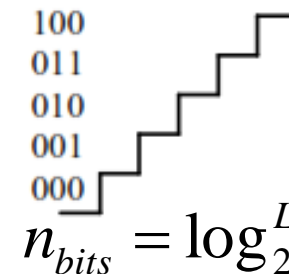
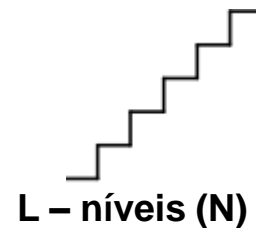


Digitalização PCM



$$f_{\text{sampling}} \geq 2 f_{\max}$$

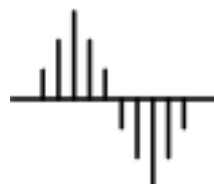
$$f_{\text{sampling}} \geq 2W$$



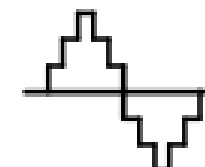
Sinal contínuo
no tempo



Sinal limitado
em banda



Sinal discreto
no tempo



$$L = \frac{A_{\max} - (-A_{\min})}{\Delta q}$$

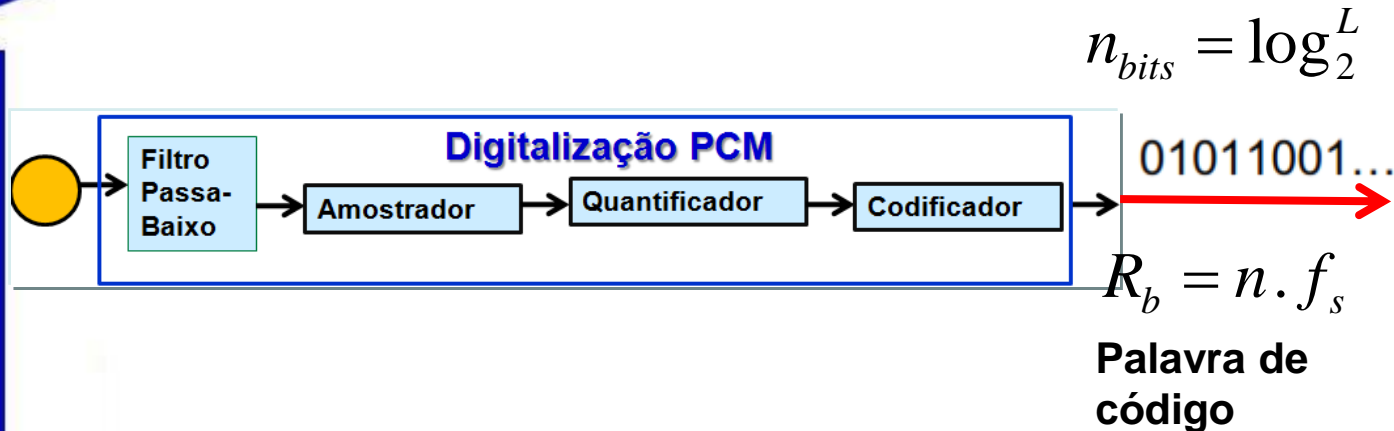
Sinal discreto
no tempo e na
amplitude

01011001...

$$R_b = n \cdot f_s$$

Palavra de
código

Com o processo de Amostragem e Quantização a nossa disposição, estamos prontos para descrever a **Modulação por Codificação de Pulso (PCM)**, que é a forma mais básica de modulação.



Transmissão rápida (Compressão)

Codificação de Fonte

Princípios

Bits comprimidos

1

A redução do número de bits necessário para armazenar ou transmitir a informação

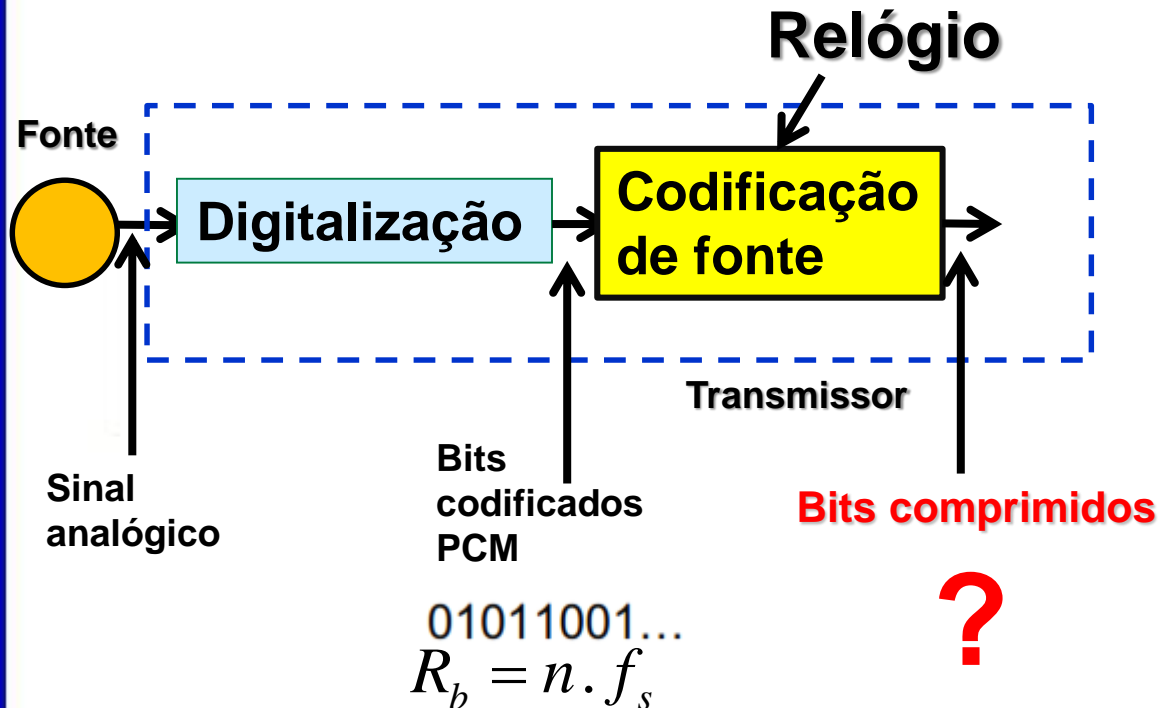
Reduzir os requerimentos de espaço e tempo de transmissão

2

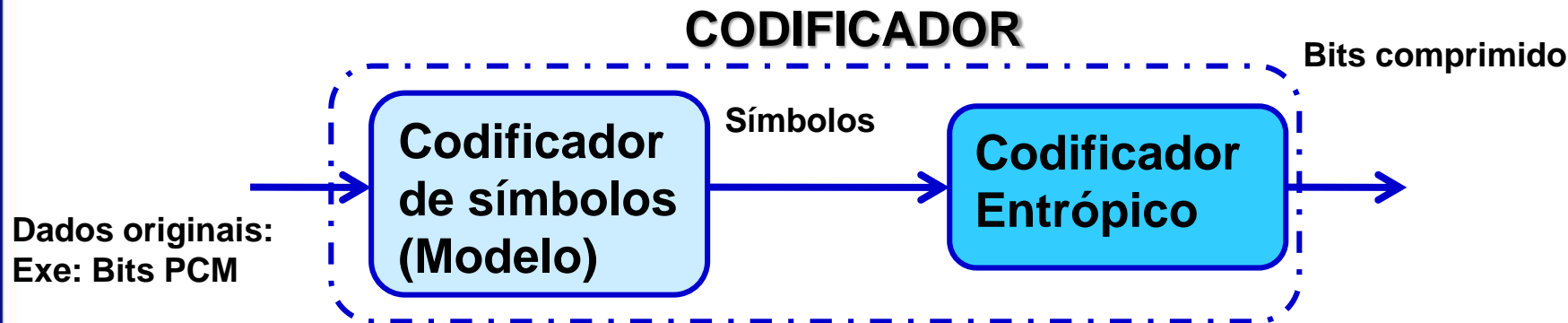
Eliminação da redundância presente na sequência de bits original.

O comprimento da concatenação de todos os códigos de saída será menor que o comprimento da sequência inicial.

A cadeia típica digital



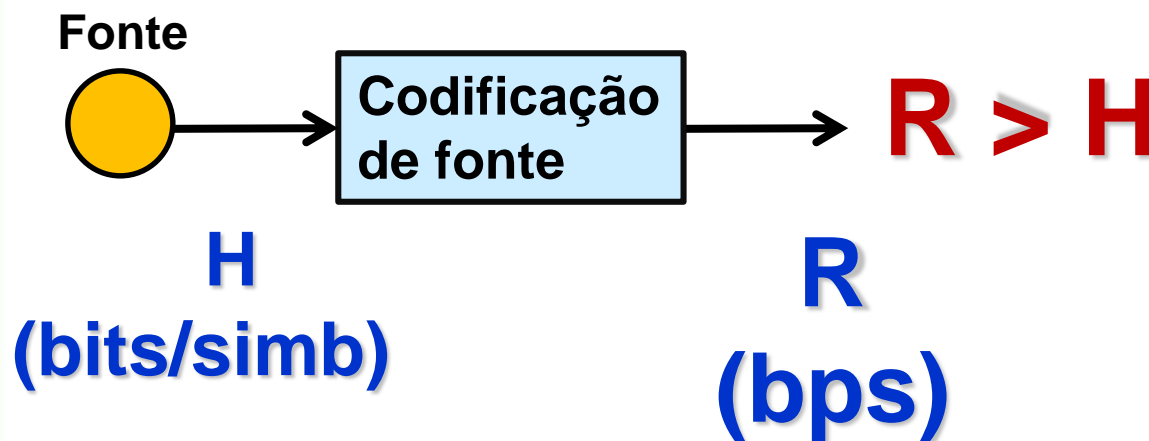
O codificador representa a informação original (dados) como uma sequência de **símbolos** e mais tarde **bits** de acordo com o tipo de codificador.



Teorema de Codificação da Fonte

Uma fonte **com taxa de Entropia H** pode codifica-se com um erro arbitrariamente pequeno a **qualquer velocidade R** sempre que **$R > H$** .

Se $R < H$, a probabilidade de erro não poderá ser arbitrariamente pequena, independentemente da complexidade do codificador e do decodificador utilizados



Técnicas de compressão



Com perdas (Lossy) Obter representações digitais de sinais analógicos (sons e imagens), onde uma pequena perda de informação não é apreciada pelo sistema auditivo/visual humano.

A sequência comprimida não é uma réplica exacta da original

JPEG, MPEG, DIVx, MP3.

Sem perdas (Lossless) → Garantem a regeneração exacta da sequência original após a descompressão, porque não tem se produzido perda de nenhuma informação. Usada na compressão de arquivos de textos, bases de dados, etc.

Chamados compressores de texto

Codificação de Huffman, LZ77, LZ78, LZW, ZIP, RAR, ARJ, PNG, GIF, PNG.

Codificação de fonte (Tipos):

1.- Entrópica: Processo para aumentar a eficiência da codificação explorando a redundância estatística → identificar os símbolos que ocorrem mais frequentes e atribui-lhes palavra de código mais curtas.

2.- Predictiva ou Diferencial: Processo para aumentar a eficiência da codificação explorando a redundância temporal → amostras obtidas em instantes de tempo diferentes e que são iguais ou semelhantes, toma-se a amostra já disponível, como ponto de partida, para a codificar as novas.

3.- Por transformada: Processo para aumentar a eficiência da codificação efectuando uma mudança do espaço de representação do sinal usando uma transformada (operação matemática).

Algoritmos da Codificação da Fonte: Entrópica

Gerar uma representação da informação da fonte de forma tal que o seu tamanho se aproxime à Entropia teórica dessa fonte, produzindo uma "**compressão**" dos dados.

- Shannon-Fano

- Huffman.

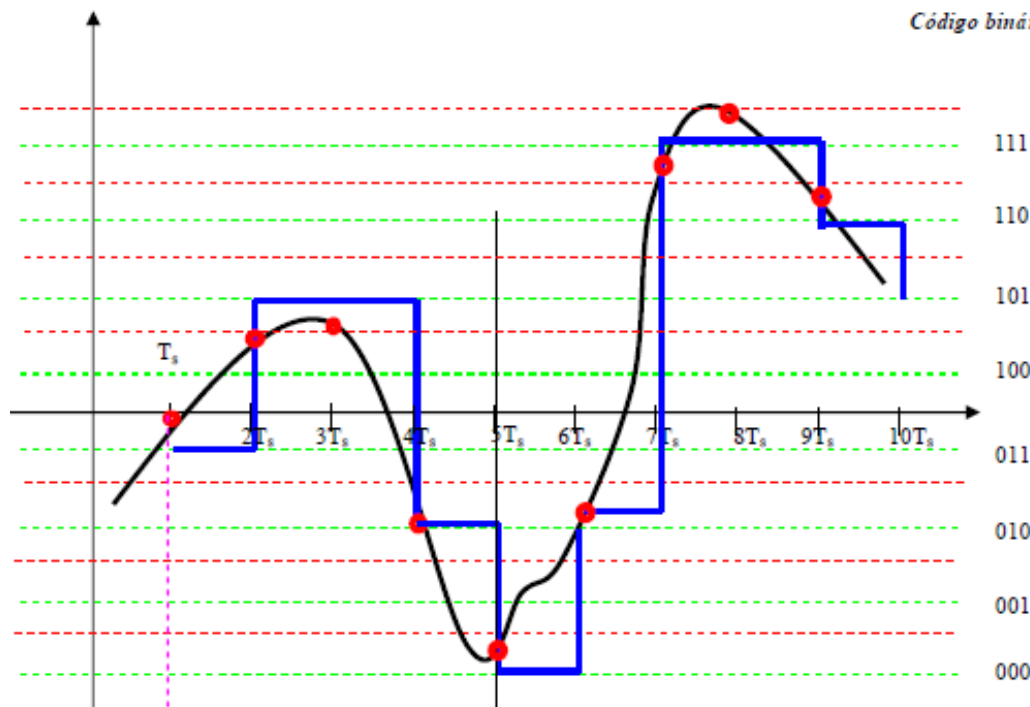
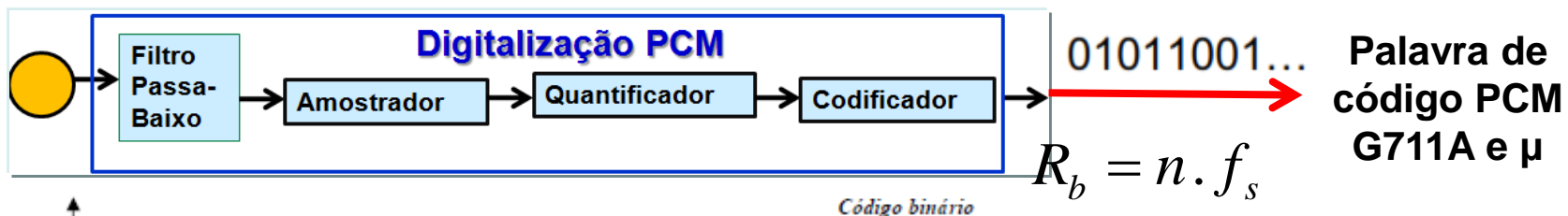
- Lempel-Ziv.

Algoritmos da Codificação da Fonte: Predictiva

Gerar uma representação da informação da fonte de forma tal que o seu tamanho se aproxime à Entropia teórica dessa fonte, produzindo uma "**compressão**" dos dados.

- PCM Diferencial (DPCM).
- PCM Diferencial Adaptativo (ADPCM)
- ΔM Modulação Delta.

$$n_{bits} = \log_2^L$$

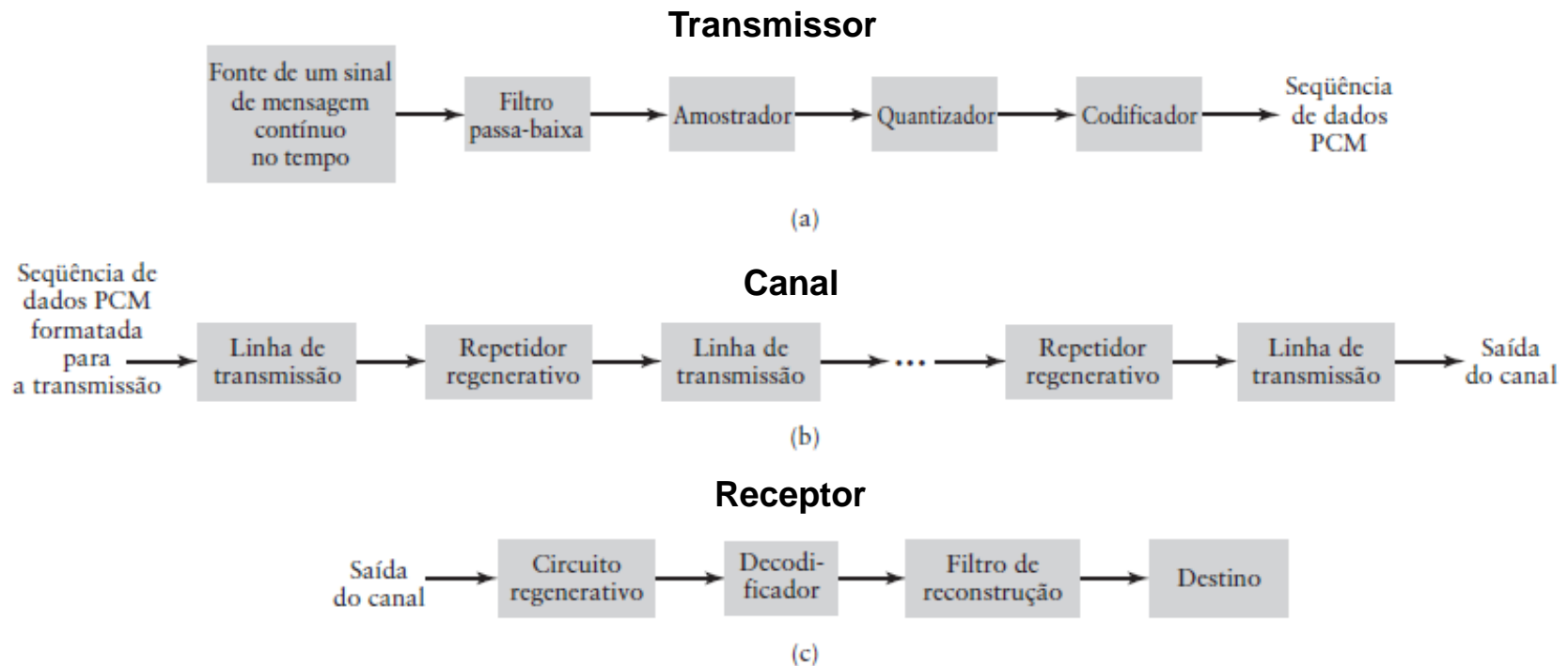


Com o processo de amostragem e quantização a nossa disposição, estamos prontos para descrever a Modulação por Codificação de Pulso, que é a forma mais básica de modulação.

Na modulação por codificação de pulso (PCM – do inglês, *Pulse Code Modulation*), um sinal de mensagem é representado por uma sequência de pulsos codificados, obtidos pela representação do sinal na forma discreta tanto no tempo quanto em amplitude.

Elementos básicos do sistema PCM

As operações básicas no transmissor de um sistema PCM são **amostragem, quantização e codificação** – **A/D**.



As operações básicas no receptor são a **regeneração** de sinais distorcidos, **decodificação** e **reconstrução** do trem de amostras quantizadas.

ATENÇÃO!!!!

O termo “modulação” na modulação por codificação de pulso é errôneo. Na realidade, a modulação por codificação de pulso é uma **estratégia de codificação de fonte**, pela qual um sinal analógico emitido por uma fonte é convertido em uma forma digital.

Técnica de codificação	Frequência de amostragem [kHz]	Bits/amostra	Ritmo binário [kb/s]
PCM	8	7-8	56-64

Em sinais de Voz e Vídeo é possível:

- prever com alguma confiança o valor de uma amostra a partir das amostras anteriores;
- esse valor previsto terá um determinado erro, mas a gama de variação do erro deverá ser muito menor que a das amostras.

As técnicas de codificação diferencial exploram esta característica transmitindo apenas a informação correspondente à diferença entre os valores previstos e os valores actuais (erro):

- a vantagem evidente é que são **necessários menos bits na codificação do erro do que na codificação de uma amostra** (e.g. PCM);
- Três técnicas:, **PCM diferencial (DPCM), PCM adaptativo (ADPCM) E a modulação delta (DM).**

Modulação Diferencial (DPCM)

Como sabemos, a desvantagem da modulação PCM é a largura de banda necessária para transmitir o sinal PCM, que é directamente proporcional ao número de bits por palavra. Um método de conversão analógico-digital alternativo é a modulação diferencial por código de pulso (DPCM).

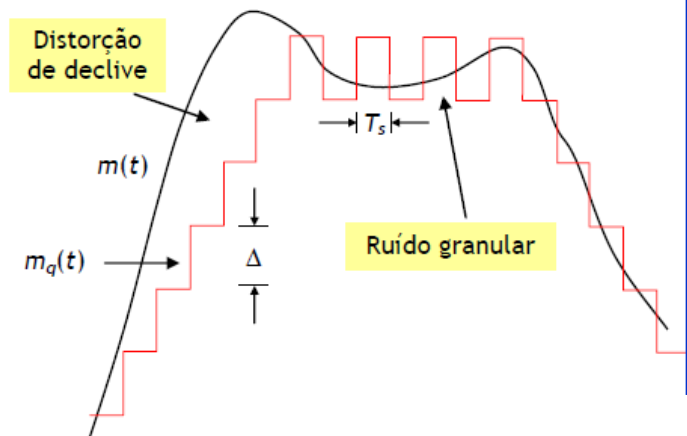
Características

- Assume-se que existem L níveis de quantificação, os quais estão espaçados de 2Δ ;
- O declive do quantificador deve ser superior ou igual à variação máxima do sinal de entrada para se evitar a saturação de declive.

$$\left| \frac{dx(t)}{dt} \right|_{\max} \leq \Delta (L - 1) f_s$$

- Na situação em que $L \gg 1$ a frequência de amostragem f_s pode ser feita tão baixa quanto $f_s = 2f_{\max}$.

Tipos de Ruído



Em zonas de muito pequeno declive um quantificador *midrise* oscila em torno do sinal de entrada com salto Δ provocando ruído denominado de **ruído granular**. Para evitar o ruído granular deve ser minimizado Δ , o que pode provocar ruído de saturação de declive. Caso seja utilizado um quantificador *midtread*, o ruído granular é evitado, devido ao 0 como nível de quantificação.

- Distorção de declive ("slope overload")**

- Pode ocorrer se o sinal tiver declives muito íngremes: a aproximação em escada não consegue acompanhá-lo.

$$SNR_q = \frac{P}{\sigma_q^2} = \frac{12P}{\Delta_q^2}$$

Para a anular é preciso que

$$\left| \frac{dx(t)}{dt} \right|_{\max} \leq \Delta (L - 1) f_s$$

- Ruído granular**

- Ocorre nas zonas "planas" do sinal.

Para evitar distorção de declive: $\Delta \uparrow$

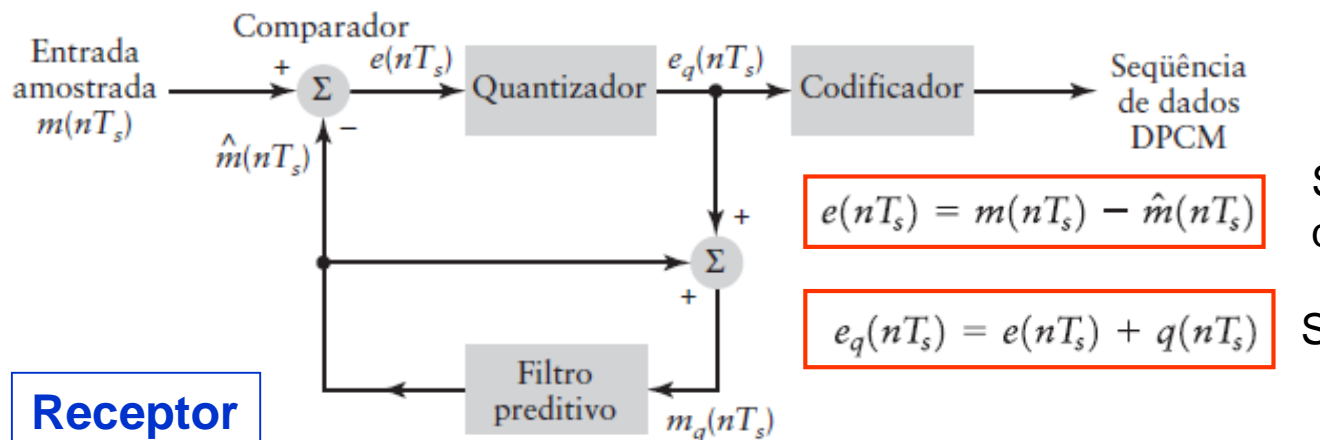
Para reduzir o ruído granular: $\Delta \downarrow$

$$SNR_{dB} = 6,02R + 10 \log_{10} \left(\frac{3P}{V_1^2} \right)$$

Em particular, se soubermos o comportamento passado de um sinal até um certo ponto no tempo, é possível fazer alguma inferência sobre seus valores futuros, este processo é chamado de **preditão**.

Transmissor

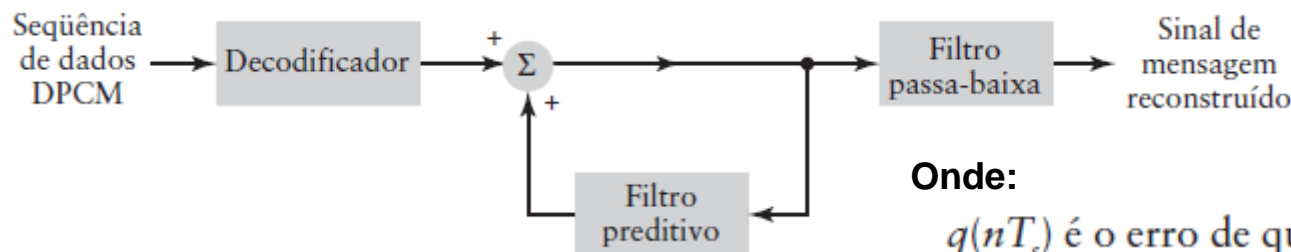
O fato de ser possível prever os valores futuros do sinal $m(t)$ é a motivação par ao esquema de quantização diferencial.



Sinal de entrada do quantizador.

Saída do quantizador

Receptor



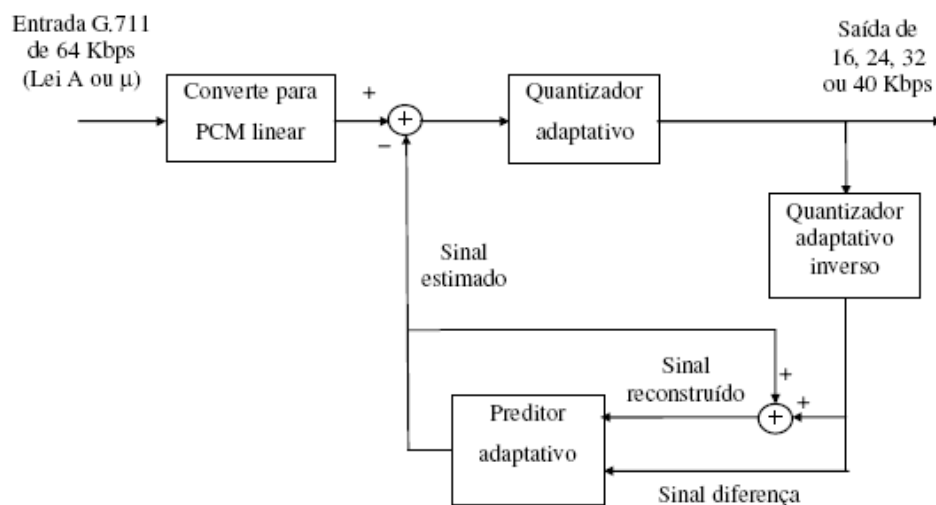
Onde:

$q(nT_s)$ é o erro de quantização
 valor de predição $\hat{m}(nT_s)$
 amostra de entrada $m(nT_s)$

Modulação Adaptativo Diferencial (ADPCM)

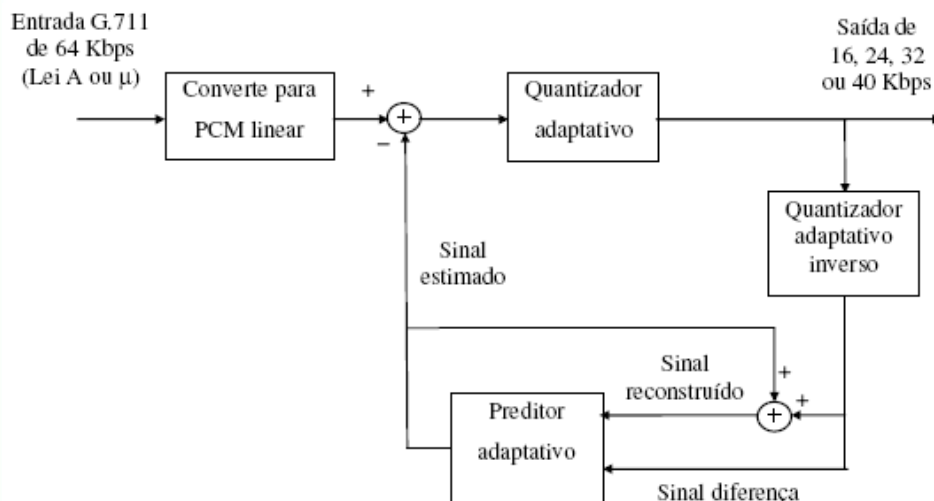
Porém, como a DPCM trabalha com a inserção de erros, surge a **desvantagem de diminuir a qualidade de transmissão de voz** e porque ele faz uso da quantização uniforme, **introduz erros grandes para amplitudes baixas**. Como o sinal de voz tem na maior parte do tempo amplitudes baixas, foi necessário arranjar uma codificação que transmitisse maior confiança ao processo, e foi assim que surgiu o **ADPCM**.

Este tipo de codificação faz uso de **quantização e predição adaptativa**.



O quantizador adaptativo utilizado na codificação **G.726** tem por objectivo quantizar a diferença entre o sinal de entrada e o sinal estimado pelo preditor adaptativo.

Na quantização adaptativa, o intervalo de quantização varia com a amplitude das amostras passadas, ao passo que na predição adaptativa existe um ajuste do preditor linear de acordo com variações do sinal de voz e fazendo uso do cálculo dos coeficientes para que o erro seja mínimo.



Existem outros codificadores de voz da ITU que utilizam técnicas variantes do G.726, como por exemplo o codec G.727 e o codec G.722.

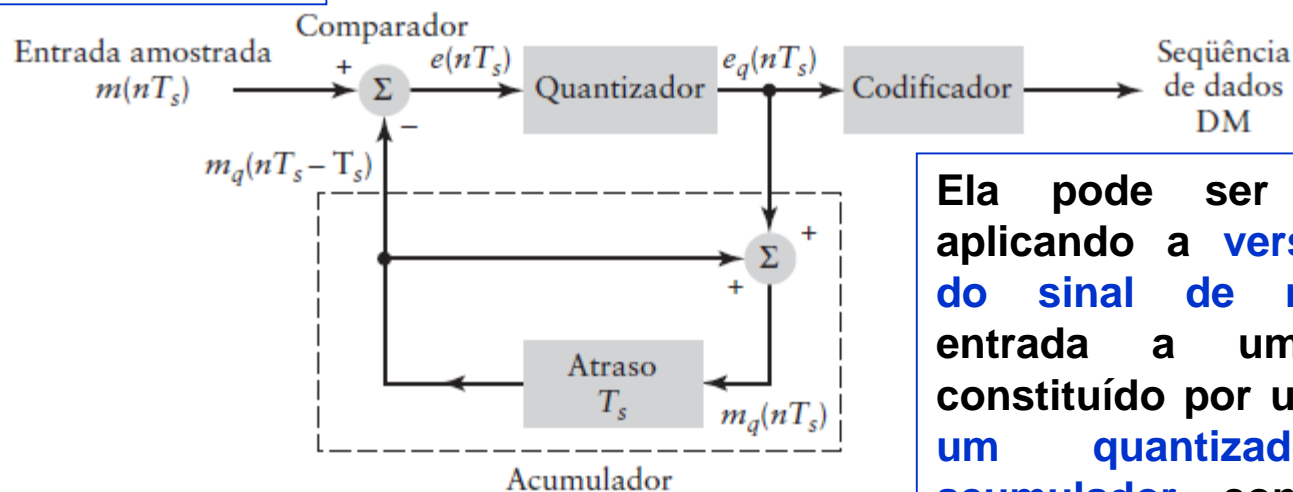
A codificação ADPCM foi a que mais aprimorou a técnica inicial de Modulação por Código de Pulso. Com ela é possível transmitir sinais PCM com taxas menores, respeitando um certo nível de qualidade. Outra vantagem do ADPCM com relação aos demais está na redução da taxa de erro por bit ou BER como é conhecido em Comunicação Digital.

Modulação Delta (DM)

A modulação Delta é um caso limite da modulação DPCM, a diferença entre o sinal amostrado no instante anterior é codificado utilizando-se só um nível. Este tipo de modulador é essencialmente utilizado para a voz humana e sinais de vídeo, e a sua grande vantagem é a sua simplicidade de implementação.

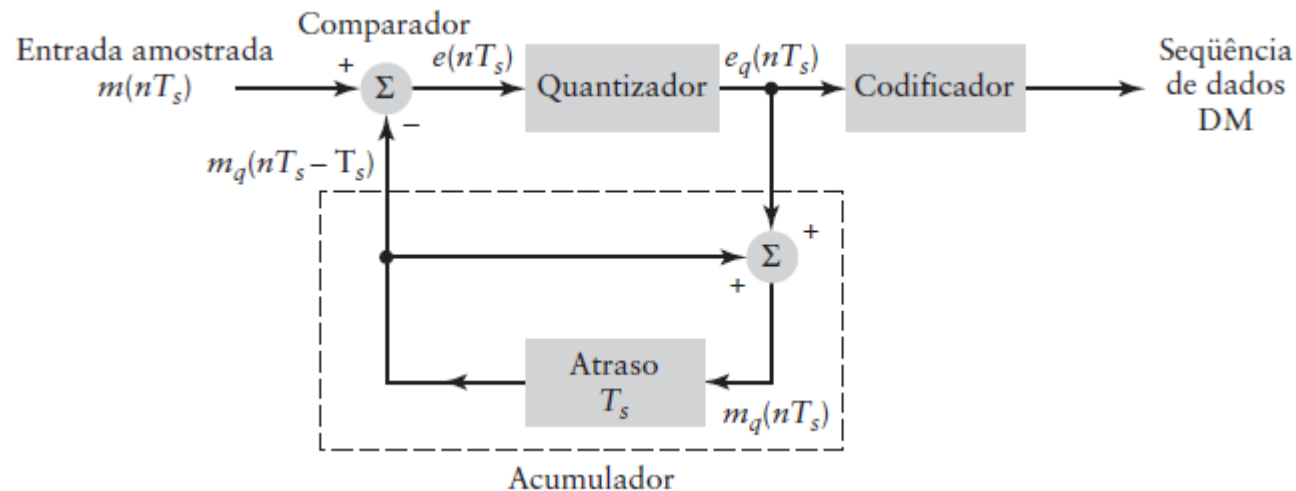
O nome delta reflecte o facto de que cada amostra do sinal de entrada é codificada com um único pulso de amplitude $+\Delta$ ou $-\Delta$.

Transmissor



Importante !!!

Ela pode ser implementada aplicando a **versão amostrada do sinal de mensagem** de entrada a um transmissor constituído por um **comparador**, um **quantizador** e um **acumulador**, conectados como mostrado na figura ao lado.



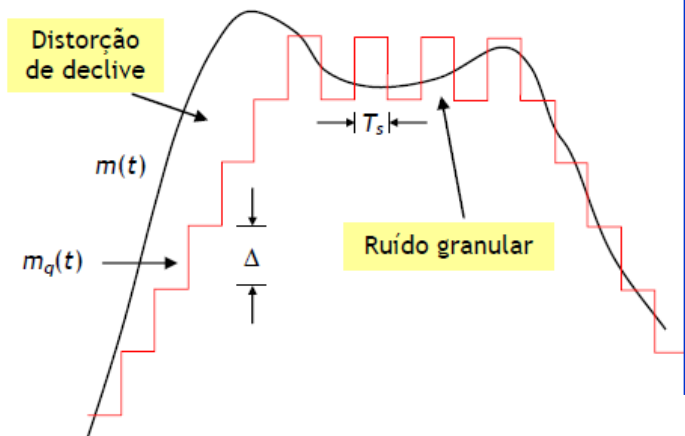
O **comparador** calcula a diferença entre duas entradas. O quantizador é constituído por um limitador cuja característica entrada/saída é uma versão escalonada da função sinal.

O **acumulador** opera com a saída do quantizador para produzir uma aproximação do sinal de mensagem.

Portanto, no instante de amostragem nT_s , o acumulador aumenta a aproximação pelo incremento Δ na direção positiva ou negativa. Se o sinal de entrada $m(nT_s)$ for maior do que a aproximação mais recente $m_q(nT_s)$, um incremento positivo $+\Delta$ é aplicado à aproximação. Se, por outro lado, o sinal de entrada for menor, um incremento negativo $-\Delta$ é aplicado à aproximação.

Desta forma, o acumulador faz o melhor possível para *seguir* as amostras de entrada um degrau (de amplitude $+\Delta$ ou $-\Delta$) por vez.

Tipos de Ruído



Em zonas de muito pequeno declive um quantificador *midrise* oscila em torno do sinal de entrada com salto Δ provocando ruído denominado de **ruído granular**. Para evitar o ruído granular deve ser minimizado Δ , o que pode provocar ruído de saturação de declive. Caso seja utilizado um quantificador *midtread*, o ruído granular é evitado, devido ao 0 como nível de quantificação.

• Distorção de declive ("slope overload")

- Pode ocorrer se o sinal tiver declives muito íngremes: a aproximação em escada não consegue acompanhá-lo.

Para a anular é preciso que

$$\left| \frac{dx(t)}{dt} \right|_{\max} \leq \Delta \cdot f_s$$

Para evitar distorção de declive: $\Delta \uparrow$

Para reduzir o ruído granular: $\Delta \downarrow$

• Ruído granular

- Ocorre nas zonas "planas" do sinal.

- Para que o circuito de realimentação consiga acompanhar as variações rápidas do sinal de entrada, e assim diminuir o ruído de saturação de declive, a seguinte condição tem que ser satisfeita:

$$\left| \frac{dx(t)}{dt} \right|_{\max} \leq \Delta \cdot f_s$$

Escolha de Δ e f_s :

- \Rightarrow
- o aumento de f_s conduz a um aumento do ritmo de transmissão;
 - o aumento de Δ contribui para o aumento do ruído de quantificação, que é relevante nos casos em que a variação do sinal é lenta.

\Rightarrow **Compromisso entre estes dois factores**

- A potência de ruído de quantificação vem dada por (considerando um filtro passa-baixo, à saída do receptor DM, com largura de banda B):

$$n_q = \int_{-B}^B S_{\varepsilon}(f) df = \int_{-B}^B \frac{\langle \varepsilon^2 \rangle}{2f_s} df = \frac{B}{f_s} \frac{\Delta^2}{3}$$

- Relação sinal - ruído de quantificação:

$$\frac{s}{n_q} = \frac{3f_s}{\Delta^2 B} s$$

NOTA: Em condições reais f_s e Δ são calculados de modo a introduzir o mínimo ruído possível, tanto o ruído de quantificação como o ruído de saturação de declive.

Considerações Finais

- Ao contrário de PCM, em DM e em DPCM existe uma malha de Feedback;
- DPCM e DM está sujeita à distorção de declive (como DM) e a ruído de quantização (como PCM);
- DPCM o erro de quantização tem variância menor que em PCM convencional (se a predição for bem feita);

DPCM permite poupar 8 a 16 kbits/s na "bit rate" relativamente a PCM convencional

- Em DPCM adaptativo os coeficientes do preditor e o quantizador são ajustados permanentemente (de forma adaptativa) às características do sinal de entrada;
- COM ADPCM é possível transmitir voz à cadência de 32 kbits/s com uma qualidade praticamente igual à de PCM a 64 kbits/s.

Norma internacional G.726: ADPCM a 32 kbits/s (4 bits)

Norma internacional G.711: PCM a 64 kbits/s (8 bits)

Considerações Finais

Codificação
do sinal

Técnica de codificação	Frequência de amostragem [kHz]	Bits/amostra	Ritmo binário [kb/s]
PCM	8	7-8	56-64
DM	64-128	1	64-128
ADM	48-64	1	48-64
DPCM	8	4-6	32-48
ADPCM	8	3-4	24-32
LPC	0.04-0.1	80	3-8

Codificação
de fonte



Transmissão de um conjunto de
parâmetros do sinal de voz que
possibilita a sua síntese no receptor.