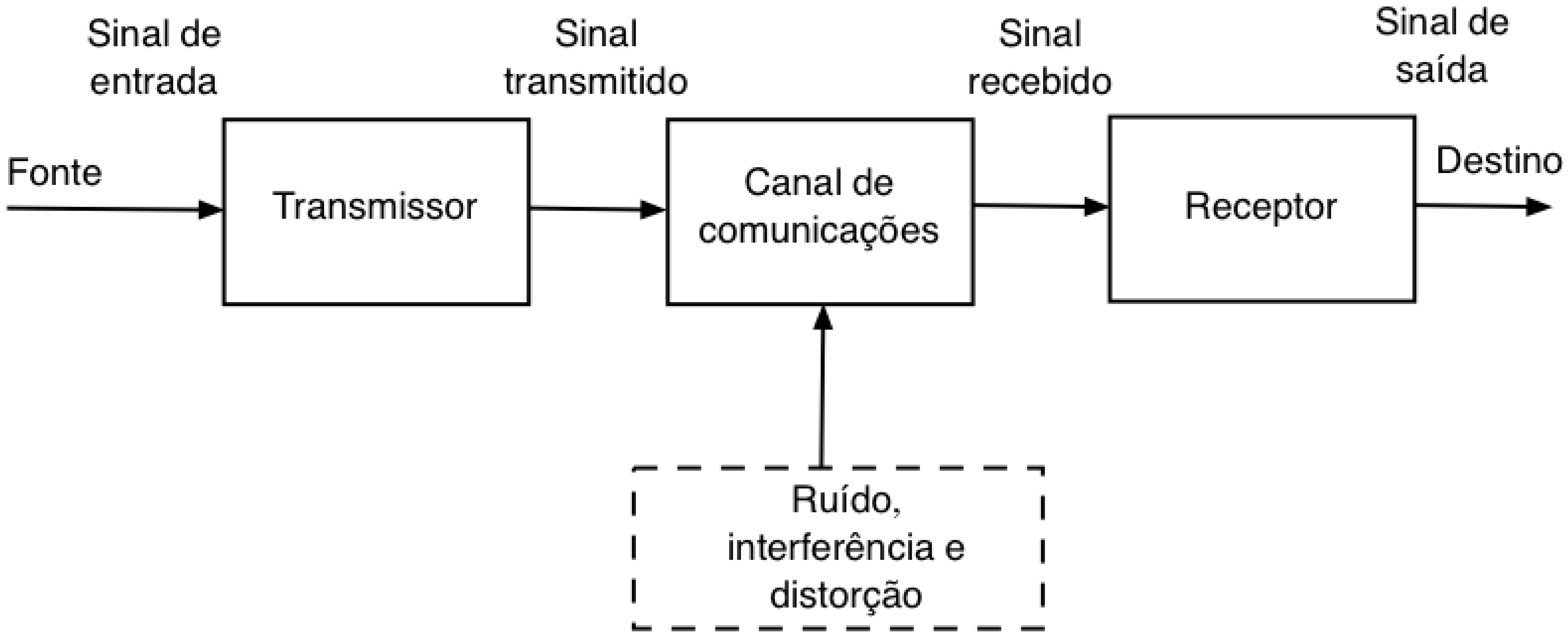
Curso: Engenharia de Computação

Sistemas de Comunicações Móveis

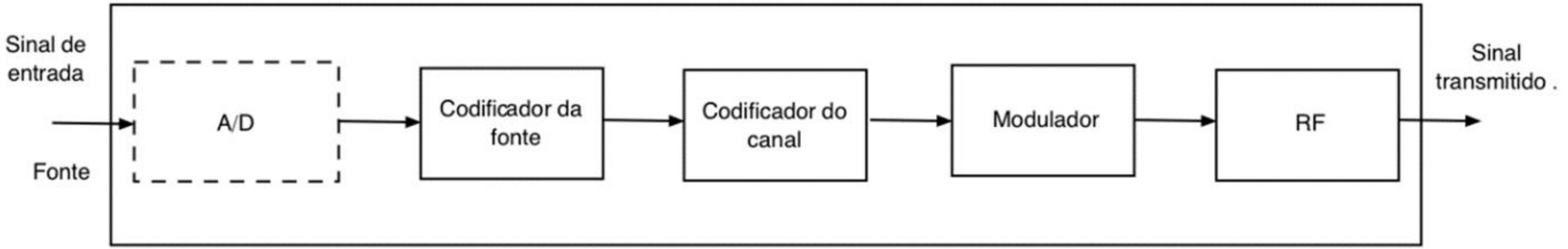
Prof. Clayton J A Silva, MSc
clayton.silva@professores.ibmec.edu.br

ibmec

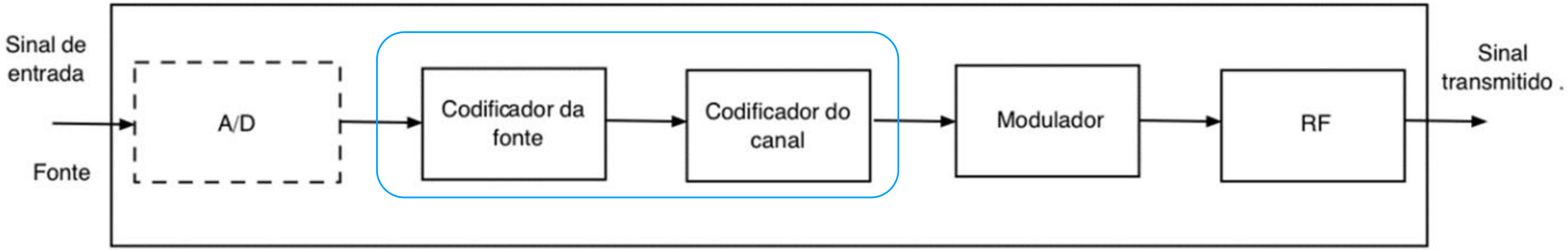
Modelo do Sistema de Comunicações



Transmissor



Transmissor

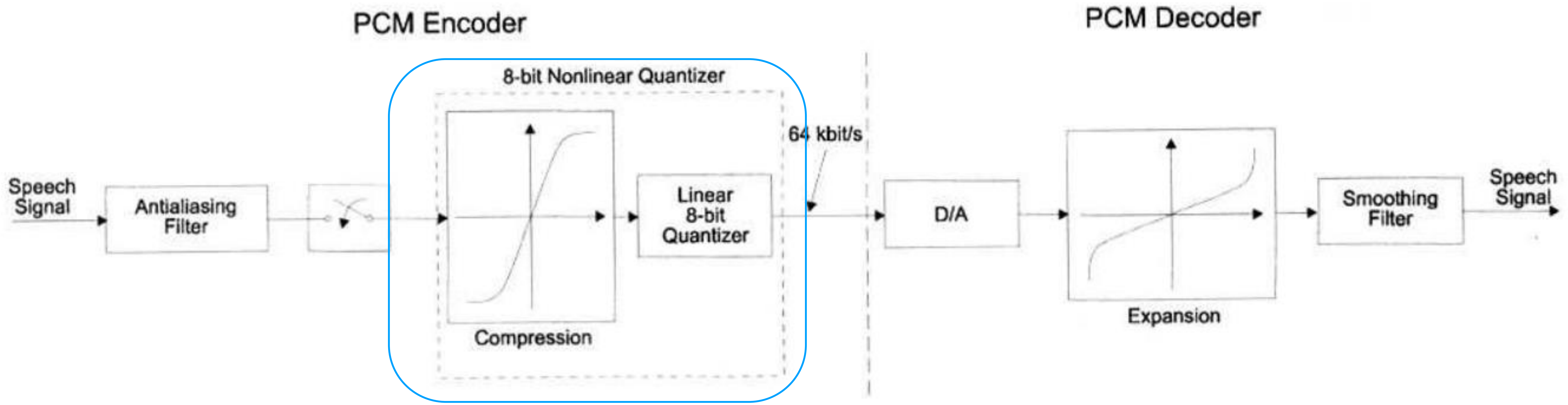


Codificador da fonte

Codificador da fonte

- 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 – PCM

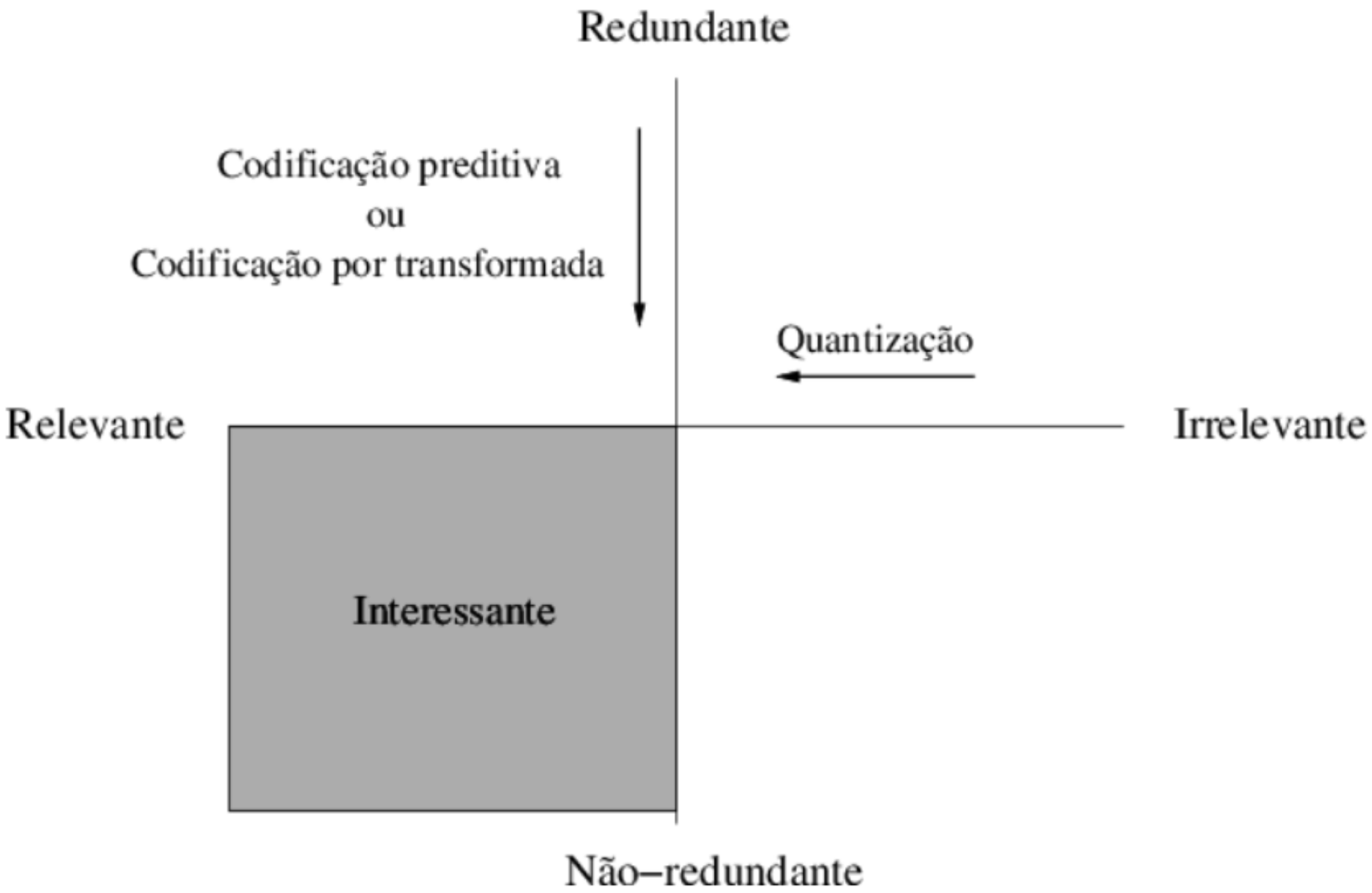


Compressão de sinais

Na codificação da fonte se realiza a **compressão de sinais**, cujo objetivo fundamental é **reduzir o número de bits** necessários para **representar adequadamente** os sinais a serem transmitidos

Informação dos sinais

- Componente relevante - **transmitida**
- Componente irrelevante – reduzida por meio da **quantização**
- Componente não redundante - **transmitida**
- Componente redundante, reduzida por meio de **técnicas de predição e transformação do sinal**


Redundante
Codificação preditiva
ou
Codificação por transformada
Quantização
Relevante
Irrelevante
Interessante
Não–redundante

Desempenho da compressão

- O problema geral da compressão é **minimizar a taxa de bits na representação digital do sinal**, mantendo os níveis requeridos de:

1. Qualidade do sinal reconstruído
2. Complexidade da implementação
3. Retardo da comunicação

Qualidade do sinal reconstruído

- Medidas de qualidade: **subjetiva (qualitativas)** ou **objetiva (definidas matemática e estatisticamente)**

- Medidas de qualidade objetiva:
  - Erro instantâneo, $e(n)$;
  - Erro médio (ME);
  - Erro médio quadrático (MSE); e
  - razão sinal-ruído de erro ($SENR$)

Qualidade do sinal reconstruído

- Seja um sinal ***x(n)*** e o sinal processado ***y(n)***, reconstruído pelo receptor, o erro em um instante *n* é dado por $e(n) = x(n) - y(n)$
- O erro médio é dado por $ME = \frac{1}{N}\sum_n y(n) - y\hat{}(n)$
- O erro médio quadrático é dado por $MSE = \frac{1}{N}\sum_n e^2(n)$
- A energia no sinal de erro é dada por $E_e = \sum_n e^2(n) = \sum_n [y(n) - y\hat{}(n)]^2$

Qualidade do sinal reconstruído

- A razão sinal/ruído de erro, em dB, é dada por $SENR = 10log\frac{\sum_n y^2(n)}{\sum_n e^2(n)}$

Complexidade do algoritmo de codificação

- **Número de instruções na unidade de tempo**, normalmente medida em MIPS, e requisitos de **espaço de armazenamento** em memória requeridos para processamento do algoritmo.

- **Tamanho** físico, **custo** e **consumo** de potência do codificador, decodificador ou ***codec*** (codificador+decodificador)

Retardo da comunicação

- O retardo ou atraso decorrente do processamento pelo *codec*
- O impacto do atraso sobre a comunicação depende da aplicação. Algumas aplicações admitem **limites** mais rigorosos de atraso.

Codificador do canal

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.**

Codificador de canal

- Tipos de erros:
  - Erros **aleatórios**, provocados pelo ruído, como discutimos
  - Erros **em surto**, em caso contrário

Codificador de canal

- A transmissão confiável de dados a **altas taxas** tem representado um desafio cada vez maior aos engenheiros
- Os **códigos corretores** têm contribuído de modo significativo para o avanço na área
- Frequentemente, no contexto de comunicações digitais, ocorrem erros de detecção acarretados por problemas de transmissão, implicando a necessidade de correção de erros
- A solução está na **teoria da codificação**

Teoria da codificação

Todo símbolo produzido por uma fonte de informação possui uma **probabilidade de ocorrência** em uma mensagem, logo pode ser modelado como uma **variável aleatória**

Entropia é a medida da incerteza associada a uma variável aleatória que representa o comportamento da transmissão dos símbolos

Taxa de informação é a média ponderada da informação associada a cada símbolo, medida em bits.

Teoria da codificação

- Existem códigos que podem tornar a probabilidade de erro na decodificação muito pequena
- A probabilidade decresce exponencialmente quando *n* é aumentado, no entanto o aumento da complexidade do sistema também ocorre
- Objetivos da teoria da codificação:

1. Encontrar **códigos longos** e eficientes
2. Encontrar **métodos práticos** de codificação/decodificação eficientes

Processo de codificação *(n, k, d)*

1. Segmenta-se a mensagem em blocos de ***k*** **dígitos**
2. Acrescenta-se a cada bloco ***n-k*** **dígitos redundantes**
3. Cada bloco gera uma palavra de ***n*** **dígitos**
4. Os dígitos redundantes são definidos a partir dos *k* dígitos da mensagens e destinam-se à **detecção** simples ou detecção e **correção** de erros
5. A **eficiência** do código é definida pela razão entre o número de bits de informação e o número total de bits, $\boldsymbol{k/n}$
6. A distância de Hamming, ou seja, o número de posições nas quais os símbolos correspondentes são diferentes, é ***d***

Processo de codificação *(n, k, d)*

- Um código (n, k, d) é definido como sendo um conjunto de $\mathbf{2}^{\boldsymbol{k}}$ ***n-uplas*** chamadas de **palavras código**, que
  - possuem *K* bits de informação,
  - possuem *n*–*k* bits de redundância,
  - diferem entre si pelo menos *d* posições

Exemplo: *código (7,3,4)*

k1	k2	k3
0	0	0
0	0	1
0	1	0
0	1	1
1	0	0
1	0	1
1	1	0
1	1	1

$$c_1 = k1 \otimes k2$$

$$c_2 = k2 \otimes k3$$

$$c_3 = k1 \otimes k3$$

$$c_4 = k1 \otimes k2 \otimes k3$$

k | *n-k*

k1	k2	k3	c1	c2	c3	c4
0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	1	1
0	1	0	1	1	0	1
0	1	1	1	0	1	0
1	0	0	1	0	1	1
1	0	1	1	1	0	0
1	1	0	0	1	1	0
1	1	1	0	0	0	1

n

Códigos de blocos *(n, k, d)*

- Detecção de erros

Em um código com **distância mínima** *d*, o menor número de mudanças necessárias para converter uma palavra do código em outra é pelo menos *d*, logo é possível detectar

$$\boldsymbol{d-1} \text{ erros}$$

Códigos de blocos *(n, k, d)*

- **Correção de erros**

Em um código com **distância mínima *d*,** supondo palavras com mesma probabilidade, é possível **identificar e corrigir até *t* erros e decidir com acerto** na detecção, **se**

$$\mathbf{2}\boldsymbol{t} + \mathbf{1} \leq \boldsymbol{d}$$

Códigos de repetição

- Em códigos de repetição, os parâmetros são:

  $k=1$, $d \geq 1$ e $n-1$ *bits* redundantes

- Como $k=1$, o código tem apenas duas palavras, uma delas é uma sequência de n 0s; a outra uma sequência de n 1s.
- Os dígitos de paridade são todos uma repetição do dígito c_i de informação $n-1$ vezes.

Códigos de repetição

- Uma regra simples de decodificação é decidir pelo bit que aparece mais vezes na recepção.
- A distância de *Hamming* do código é *igual a n* e a eficiência é *1/n*.

Códigos com 1 bit de paridade

- Em códigos com 1 bit de paridade, os parâmetros são:

$$k \geq 1,\ d=2 \text{ e } n=k+1$$

- O código tem apenas um bit c redundante, que é definido na transmissão para tornar o número de bits 1 par (ou impar).

Códigos com 1 bit de paridade

- A regra de decodificação é contar o número de bits recebidos. Se a paridade não estiver correta significa que houve um erro na transmissão.
- A distância de *Hamming* do código é *igual a 2* e a eficiência é $k/(k+1)$.
- O código permite a detecção de 1 erro, mas não corrige. Pode ser eficaz quando se dispõe de canal de retorno para retransmissão da palavra.

Códigos de *Hamming*

- Nos códigos de *Hamming*, o número de bits de paridade pode ser dado pela quantidade de divisões inteiras sucessivas de n por 2 até quociente igual a 0.

  Por exemplo, se $n=7$ bits, 7 div 2 = 3, 3 div 2 = 1, 1 div 2 = 0, logo $d=3$, $k=n-3=7-3=4$

- *Ou seja,* em códigos de *Hamming*, os parâmetros são

$$n \leq 2^d - 1$$

Códigos de *Hamming*

- No algoritmo de *Hamming*,
  1. Os bits c de redundância e os bits *k* de informação são organizados em uma **sequência de *n* bits a partir da posição 1**...

$$b_1\ b_2\ b_3\ b_4\ \ldots\ b_n$$

  2. ..., de modo que os **bits de redundância** ocuparão as **posições** que são **potência de 2**, logo

$$c_1\ c_2\ k_3\ c_4\ \ldots$$

Códigos de *Hamming*

- No algoritmo de *Hamming*,

3. **Cada bit** de redundância (bit de paridade) ajusta a **paridade par** (ou impar) dos bits **específicos** de informação...
4. Cada bit de informação k_j, ou seja, o bit de informação que ocupa a posição j, é verificado pelos bits de redundância cuja soma das suas posições seja j.

Por exemplo, o bit k_3 é verificado pelos bits c_1 e c_2. O bit k_5 é verificado pelos bits c_1 e c_4. O bit k_6 é verificado pelos bits c_2 e c_4.

Códigos de *Hamming*

- No algoritmo de *Hamming*,

5. Cada bit de paridade será definido pelo codificador como 0 ou 1 de modo que o número de bits verificados seja par (ou impar)

6. No receptor, a determinação do bit incorreto pode ser obtida **pela soma das posições de todos os bits de paridade incorretos**

Por exemplo, se na recepção os bits c_1 e c_2 estão incorretos, significa que o erro identificado foi no bit k_3.

IBMEC.BR

/IBMEC

IBMEC

@IBMEC_OFICIAL

@IBMEC

Ibmec