Aula 20 - Conversores AD/DA

Prof. Dr. Emerson C. Pedrino
DC/UFSCar
emerson@dc.ufscar.br

Analógico x Digital

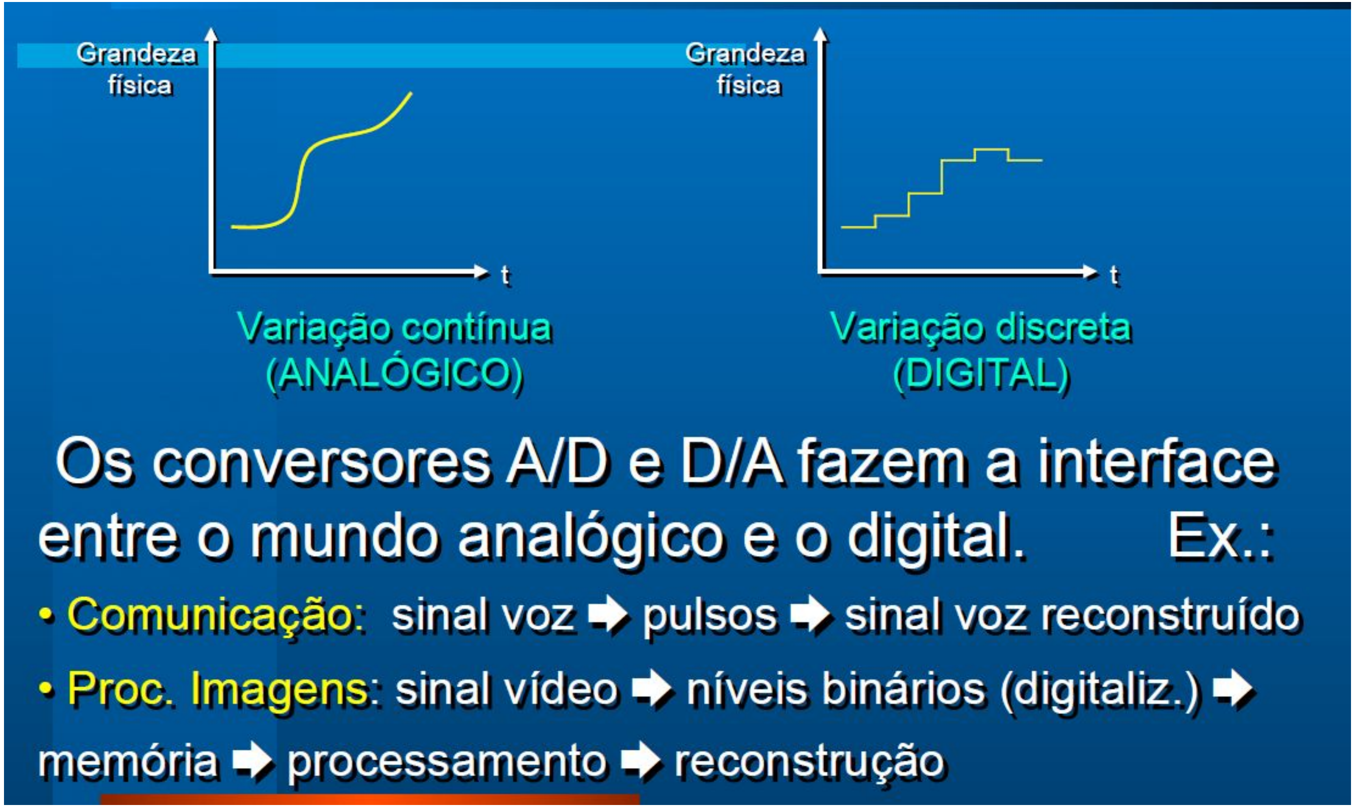
Analógico:

- Pode variar ao longo de uma faixa <u>contínua</u> de valores, proporcional à grandeza representada
- Velocímetro, termômetro, relógio, tensão, etc..

Digital:

- Prevê a variação de um "dígito", proporcional à grandeza representada
- Variação discreta, por "passos", "degraus";
- Relógio digital, chaves, etc..

Introdução - Conversão AD/DA



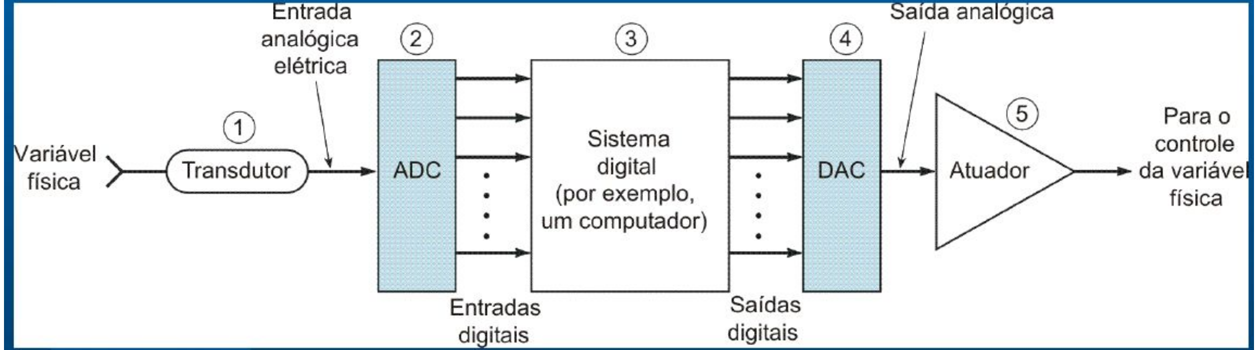
Conversão AD/DA

- A maioria dos sinais encontrados na natureza tem característica analógica.
- Para processar tais sinais digitalmente:
  - Conversão AD
  - Processamento usando circuitos digitais
  - Conversão DA

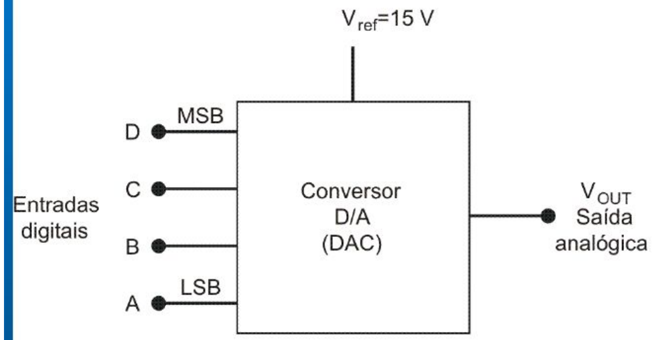
Conversores AD e DA

Conversor analógico-digital (ADC) e Conversor digital-analógico (DAC):

- São usados para interfacear um Sistema Digital com o mundo analógico para que se possa monitorar ou controlar uma variável física ao longo de uma faixa contínua de valores, proporcional à grandeza representada;



Conversor DA - Ex: DAC de 4 *bits* com saída em Tensão



(a)

D	C	B	A	V_{OUT}	
0	0	0	0	0	volts
0	0	0	1	1	
0	0	1	0	2	
0	0	1	1	3	
0	1	0	0	4	
0	1	0	1	5	
0	1	1	0	6	
0	1	1	1	7	
1	0	0	0	8	
1	0	0	1	9	
1	0	1	0	10	
1	0	1	1	11	
1	1	0	0	12	
1	1	0	1	13	
1	1	1	0	14	
1	1	1	1	15	volts

(b)

$V_{ref} = A_{fs}$ = Fundo de Escala

K = Fator de proporcionalidade = Resolução

Conversor DA

Resolução:

- $K = A_{fs} / (2^n-1)$

Saída Analógica:

- Saída analógica = K x entrada digital convertida

Exemplo:

- Conversor D/A de 8 bits com saída de 1,0V para entrada $(00110010)_2$. Calcule K e A_{fs}.

$K = 0{,}02V$ e $A_{fs} = 5{,}10V$

Conversor DA

Pesos:

LSB

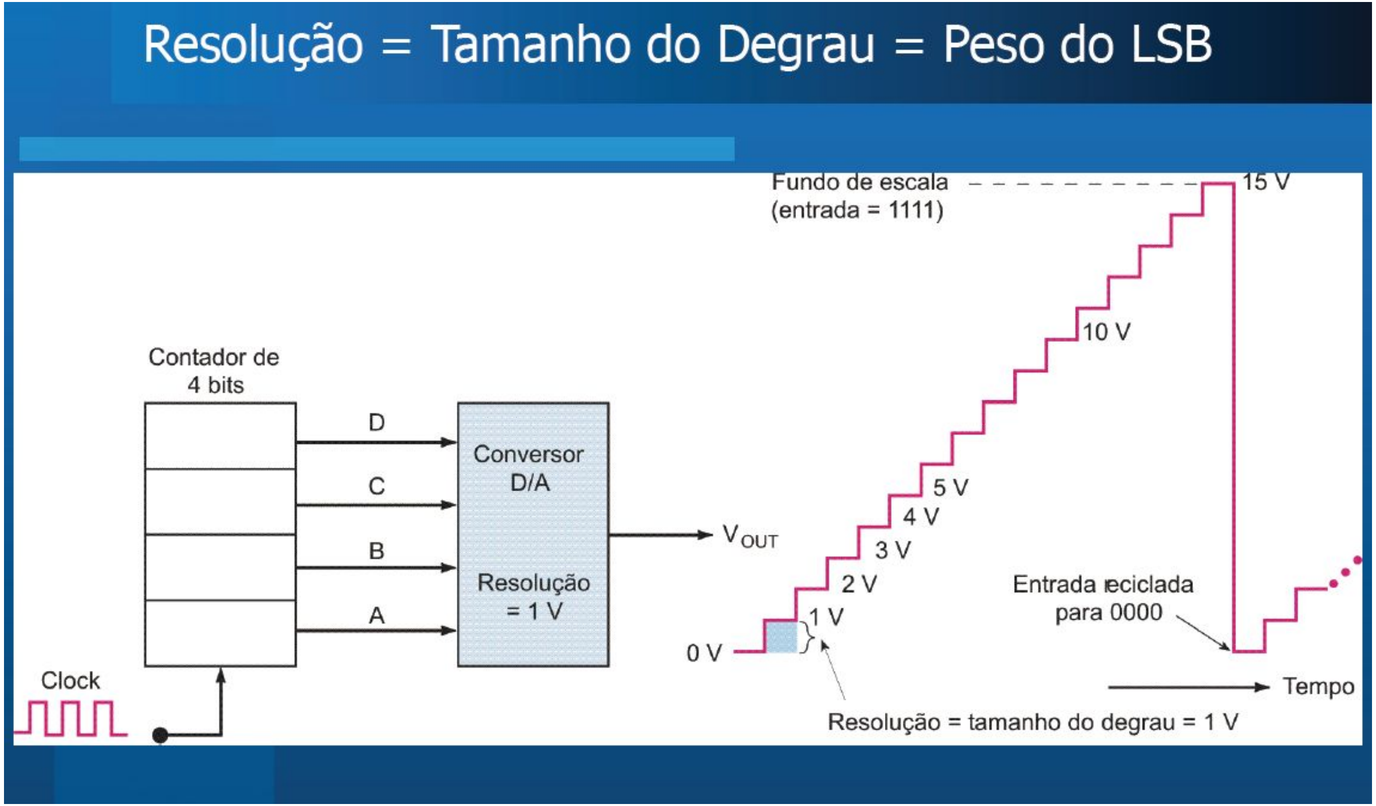
K

D_3	D_2	D_1	D_0	V(saída)
0	0	0	1	*1V*
0	0	1	0	*2V*
0	1	0	0	*4V*
1	0	0	0	*8V*

1001 = 8V + 1V = 9V

0110 = 4V + 2V = 6V

Conversor DA



Conversor DA

Resolução em %:

- $\% \text{ Resolução} = (K / FS) * 100\%$

Exemplos:

- Conversor D/A de 4 bits com K = 1,0V e FS = 15V

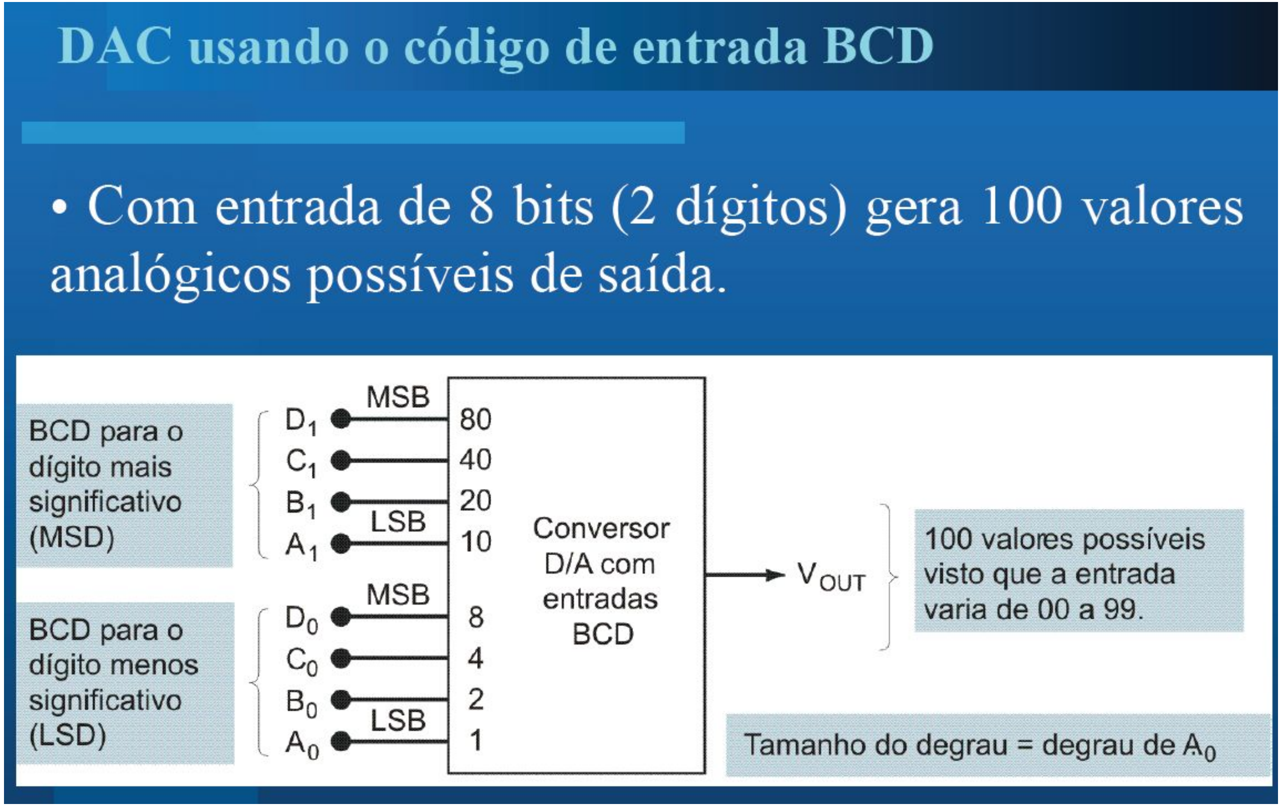
  $\%K = (1/15)*100\% = 6{,}67\%$

- Conversor D/A de 8 bits com saída de 1,0V para entrada $(00110010)_2$. Calcule % K

  Já calculado: K = 0,02V e A_{FS} = 5,10V

  $\%K = (0{,}02/5{,}10)*100\% = 0{,}39\%$

Conversor DA BCD

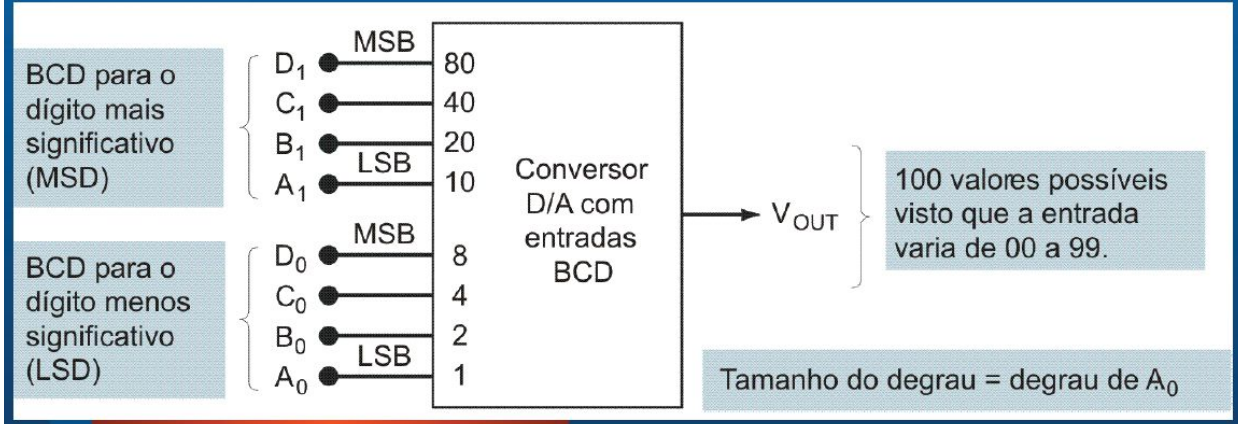


Conversor DA BCD

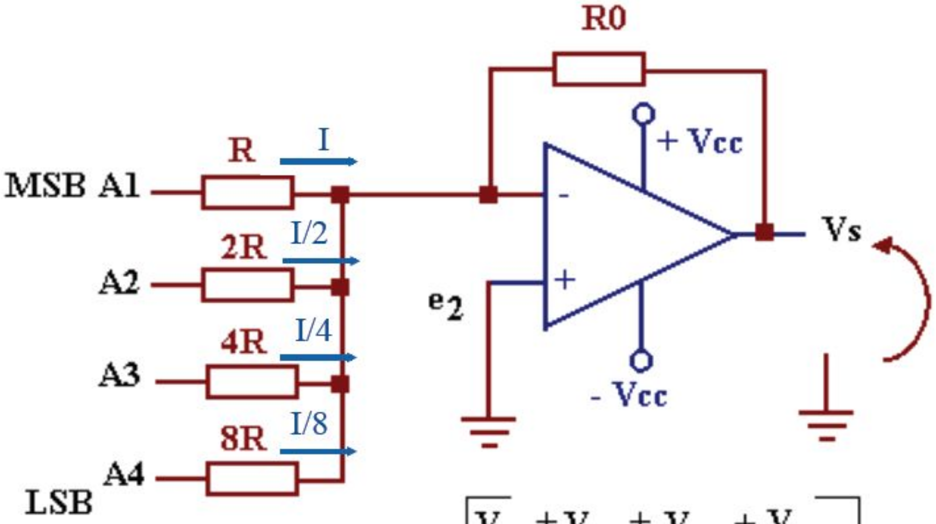
DAC usando o código de entrada BCD

- Qual o valor de K e de FS se para $(01011000)_{BCD}$ a saída é 11,6V?

K = 0,2V e FS = 19,8V



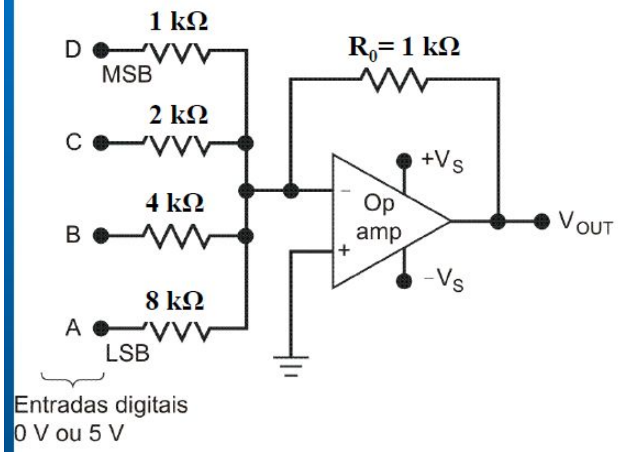
Conversor DA Proporcional



$$Vs = -R0.\left[\frac{V_{A1}}{R} + \frac{V_{A2}}{2R} + \frac{V_{A3}}{4R} + \frac{V_{A4}}{8R}\right]$$

$$Vs = -\frac{R0}{8R}.\,V.\left[8A1 + 4A2 + 2A3 + A4\right]$$

Conversor DA Proporcional



(a)

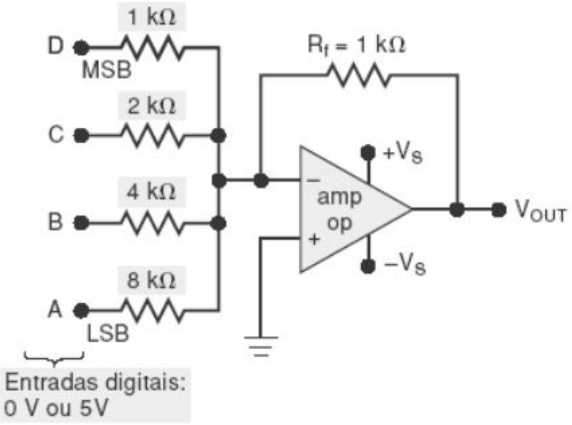
Código de entrada

D	C	B	A	V_{OUT} (volts)	
0	0	0	0		
0	0	0	1		LSB
0	0	1	0		
0	0	1	1		
0	1	0	0		
0	1	0	1		
0	1	1	0		
0	1	1	1		
1	0	0	0		
1	0	0	1		
1	0	1	0		
1	0	1	1		
1	1	0	0		
1	1	0	1		
1	1	1	0		
1	1	1	1		Fundo de escala

(b)

$$V_{out} = -(V_D + (1/2)V_C + (1/4)V_B + (1/8)V_A)$$

Conversor DA Proporcional



(a)

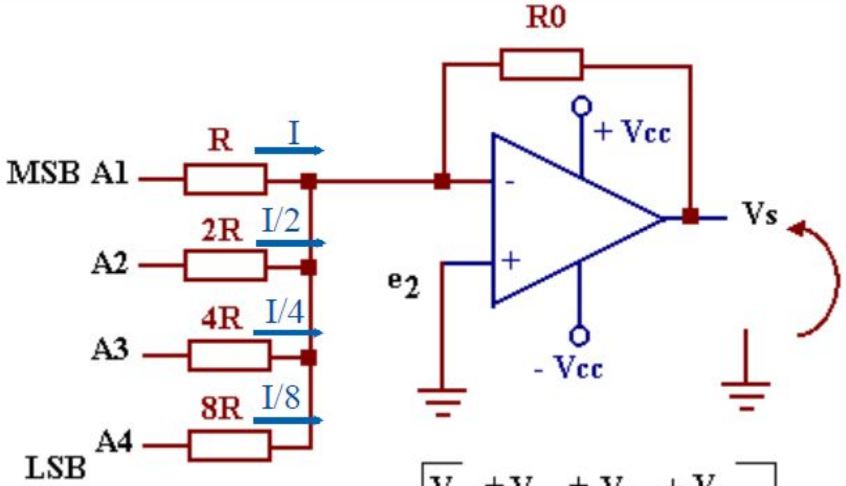
Código de entrada

D	C	B	A	V_{OUT} (volts)	
0	0	0	0	0	
0	0	0	1	−0,625	← LSB
0	0	1	0	−1,250	
0	0	1	1	−1,875	
0	1	0	0	−2,500	
0	1	0	1	−3,125	
0	1	1	0	−3,750	
0	1	1	1	−4,375	
1	0	0	0	−5,000	
1	0	0	1	−5,625	
1	0	1	0	−6,250	
1	0	1	1	−6,875	
1	1	0	0	−7,500	
1	1	0	1	−8,125	
1	1	1	0	−8,750	
1	1	1	1	−9,375	← Fundo de escala

(b)

FIGURA 11.5
DAC simples usando um amplificador operacional na configuração amplificador somador com resistores com ponderação binária.

Conversor DA Proporcional



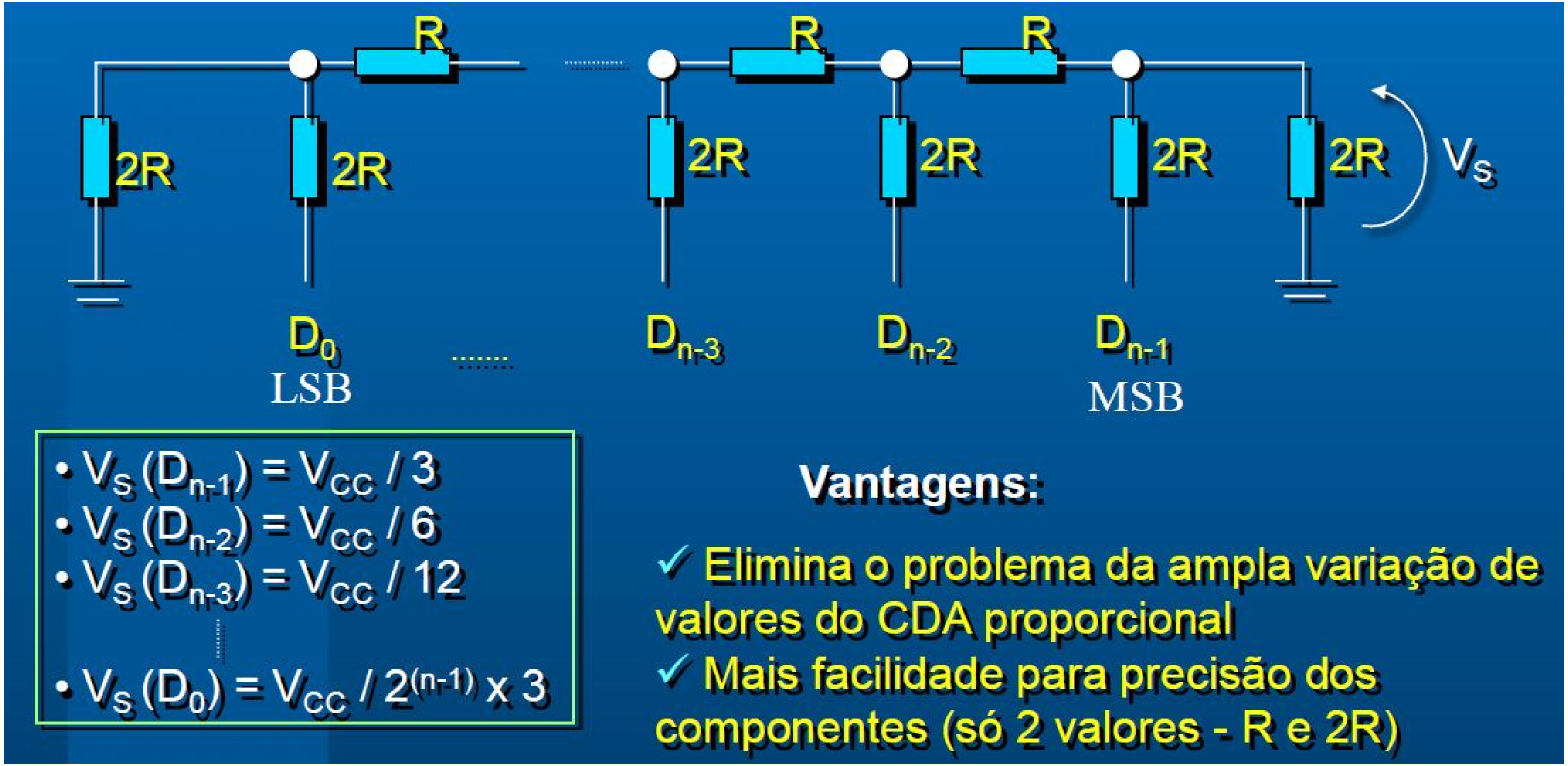
$$Vs = -R0 \cdot \left[\frac{V_{A1}}{R} + \frac{V_{A2}}{2R} + \frac{V_{A3}}{4R} + \frac{V_{A4}}{8R}\right]$$

$$Vs = -\frac{R0}{8R} \cdot V \cdot \left[8A1 + 4A2 + 2A3 + A4\right]$$

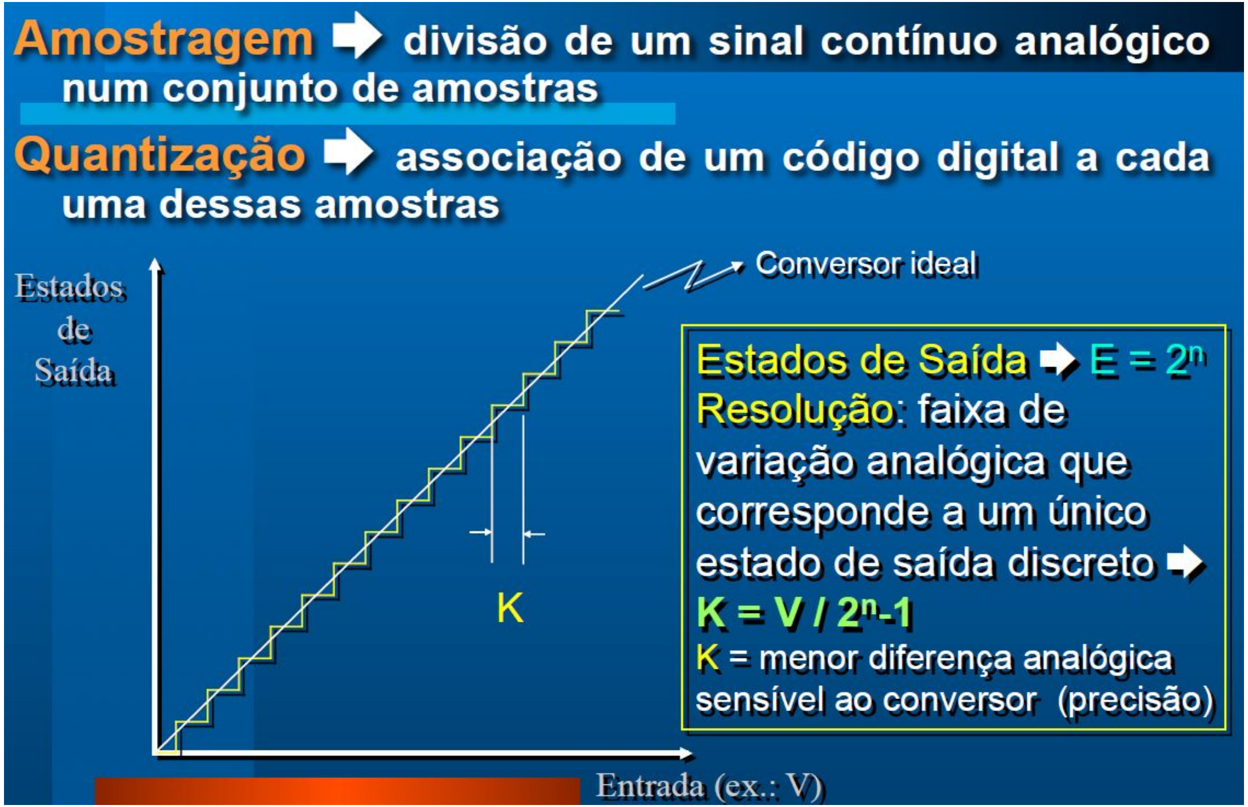
Desvantagens:

- ✓ Para muitos bits há necessidade de valores muitos altos de R para o LSB;
- ✓ correntes muito reduzidas nos bits menos significativos (ruído);
- ✓ necessidade de grande precisão dos valores de componentes;

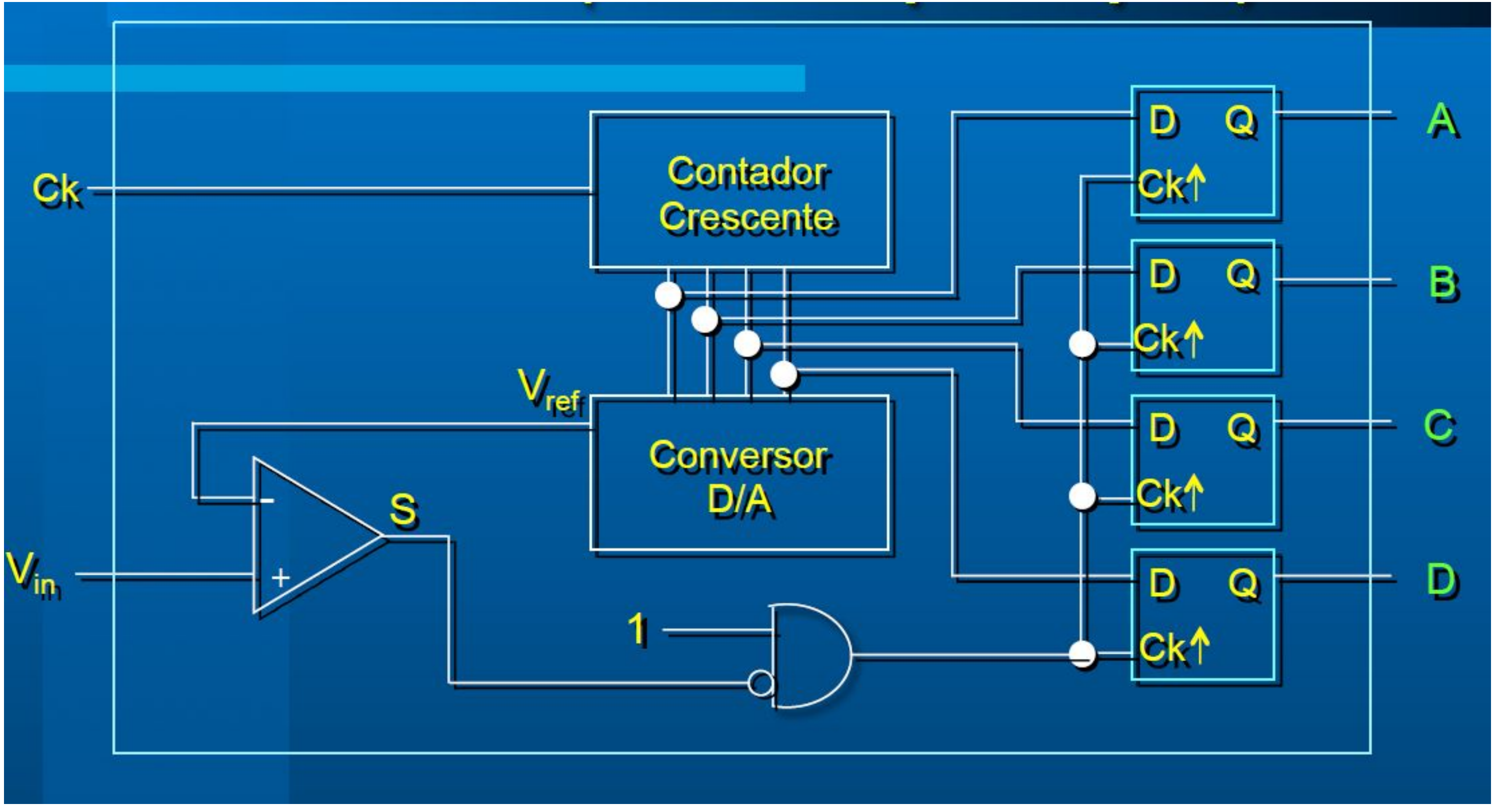
Conversor DA por Rede R-2R



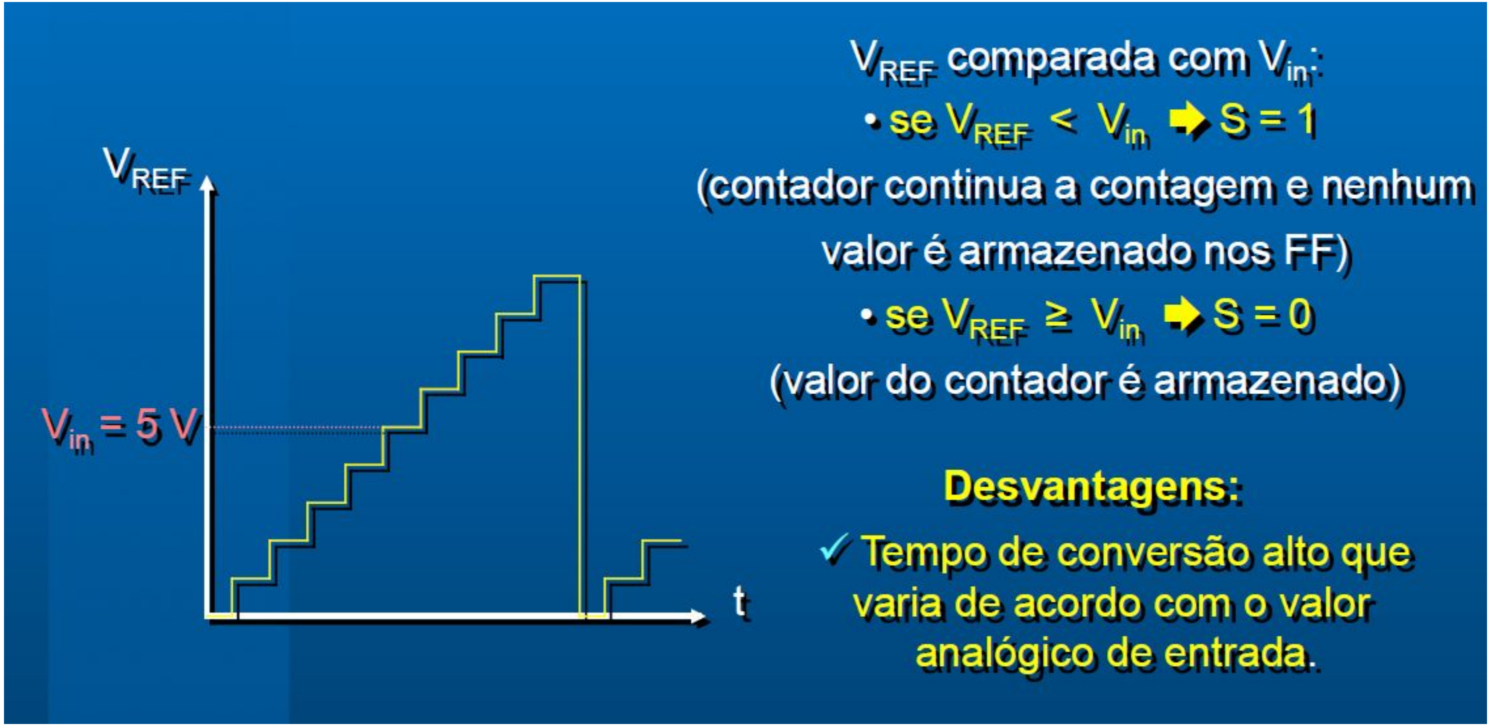
Teoria da Quantização



ADC de Rampa Simples



ADC de Rampa Simples



ADC de Rampa Simples - Exemplo

- **Conversor A/D de rampa simples de 10 bits com Ck de f = 1,0kHz e fundo de escala do DAC de 10,23V.**

  a) resolução do conversor

  b) valor digital para V = 3,728V

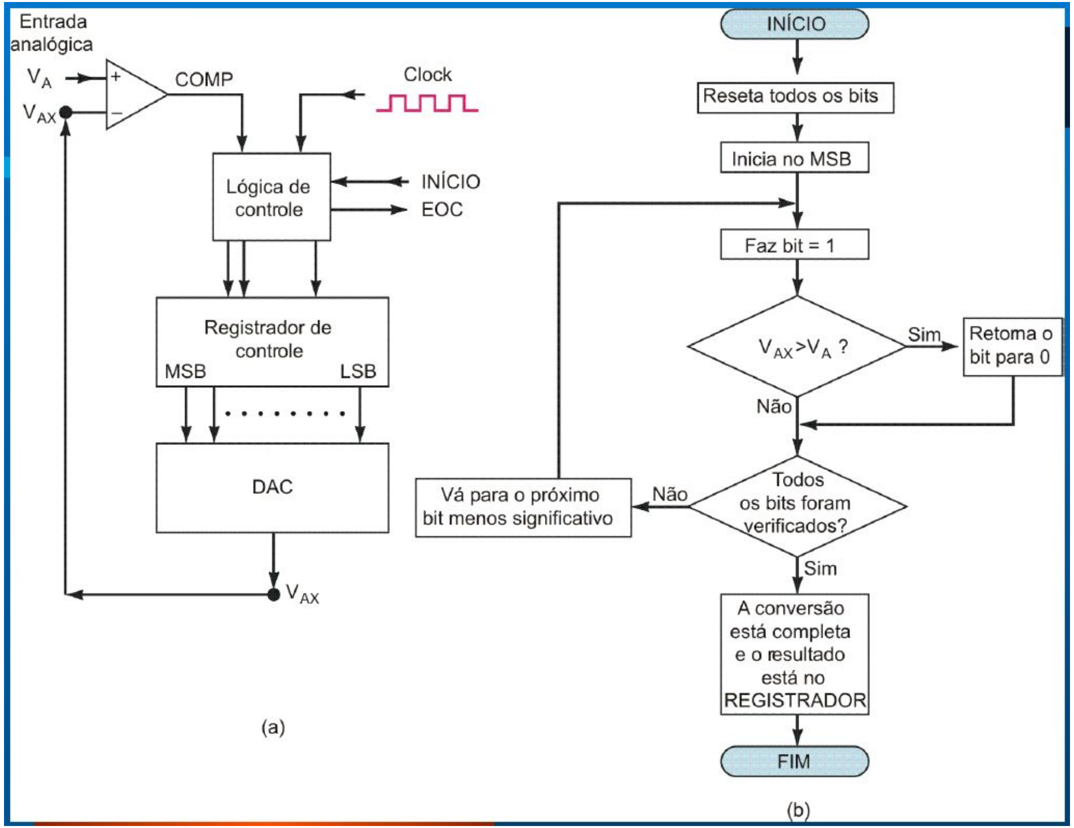
  c) tempo de conversão

a) K = 10mV

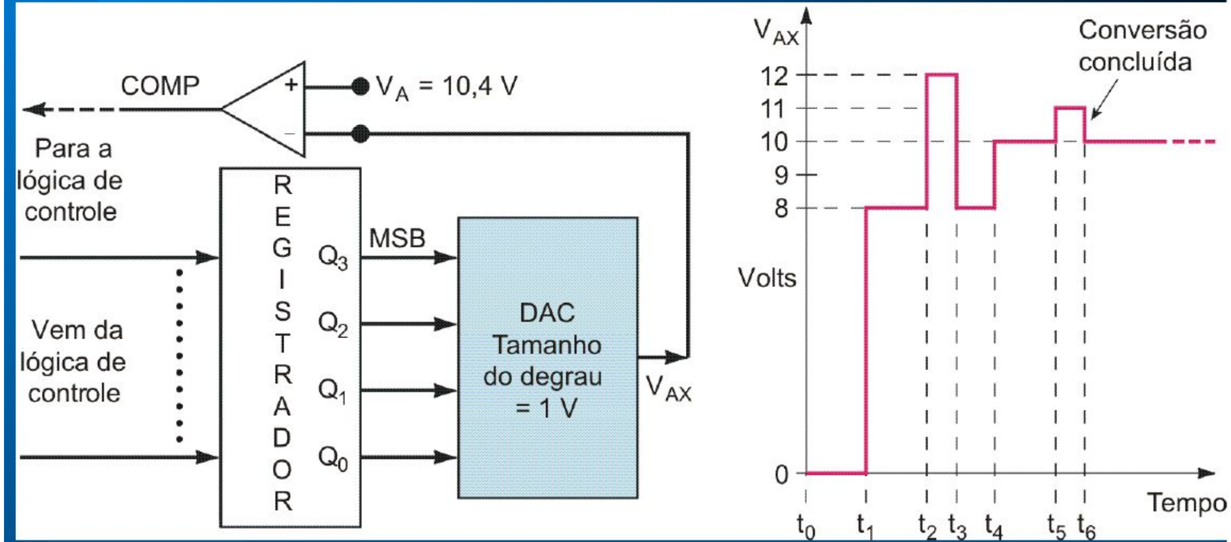
b) 372,8 = 373 degraus = 0101110101

c) 1023 ms

Conversor AD de Aproximações Sucessivas



Conversor AD de Aproximações Sucessivas



- **Sempre produz um valor igual ou MENOR que V_A;**
- **Tempo de conversão é sempre igual :**

  (T_C = número de bits x Ck)

Conversores AD

- **Rampa Simples:**
  - Tempo de conversão varia de acordo com o número analógico a ser convertido;
  - Aproxima números não inteiros para cima (valor binário sempre MAIOR ou igual ao valor analógico de referência;

- **Aproximação Sucessiva:**
  - Tempo de conversão fixo de acordo com o número de bits do conversor
  - Aproxima números não inteiros para baixo (valor binário sempre MENOR ou igual ao valor analógico de referência;

Exemplo

- **Conversor A/D de aprox. sucessivas de 8 bits com K=20mV. Qual o valor binário de saída para V = 2,17V?**

$$2{,}17/20mV = 108{,}5$$

$$(108)d = (01101100)_2$$

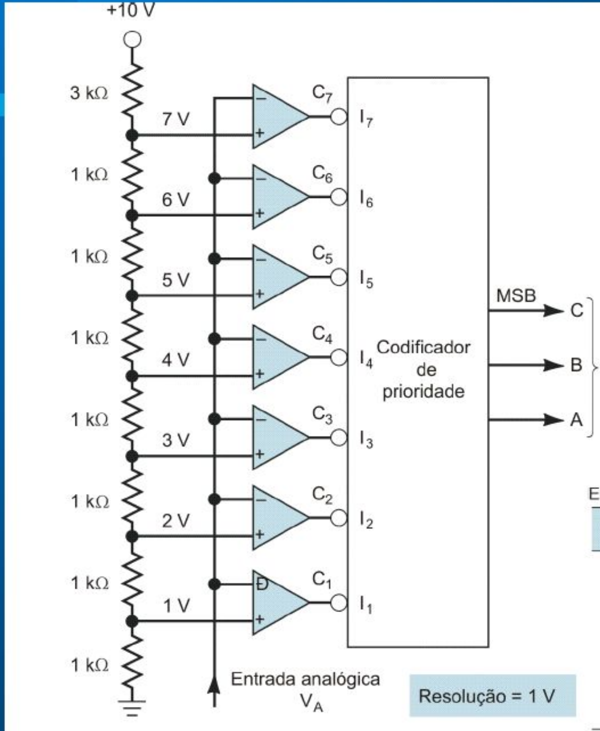
Exemplo

- Compare o tempo de conversão de um conversor A/D de 10 bits de rampa simples e de aprox. sucessivas se ambos usam um ck de 500kHz.

$$RS: \quad T_{max} = (1023 \times 2\mu s) = 2046\mu s$$

$$AS: \quad T = (10 \times 2\mu s) = 20\mu s$$

Conversor Paralelo - *Flash*



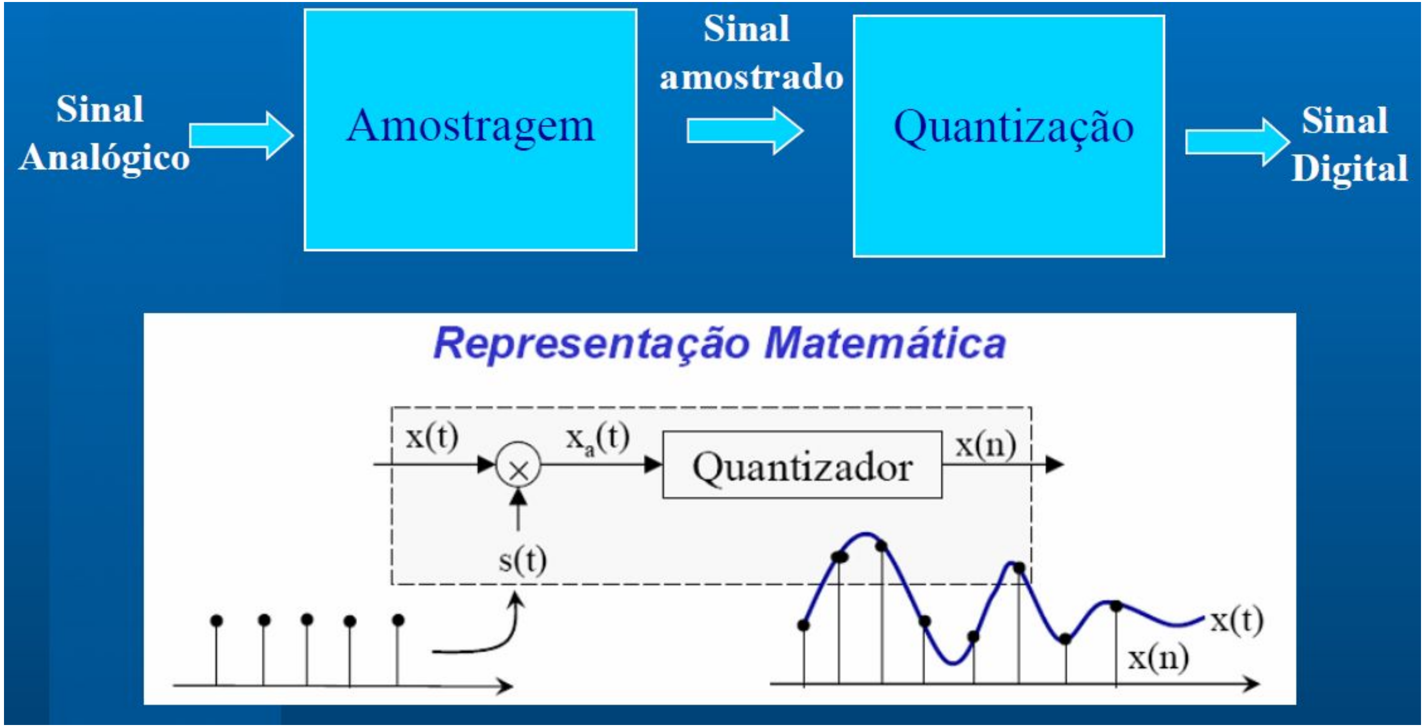
(a)

- Mais Rápido
- Mais Caro
- 3 bits = 7 comparadores
- 10 bits = 1023 comparadores

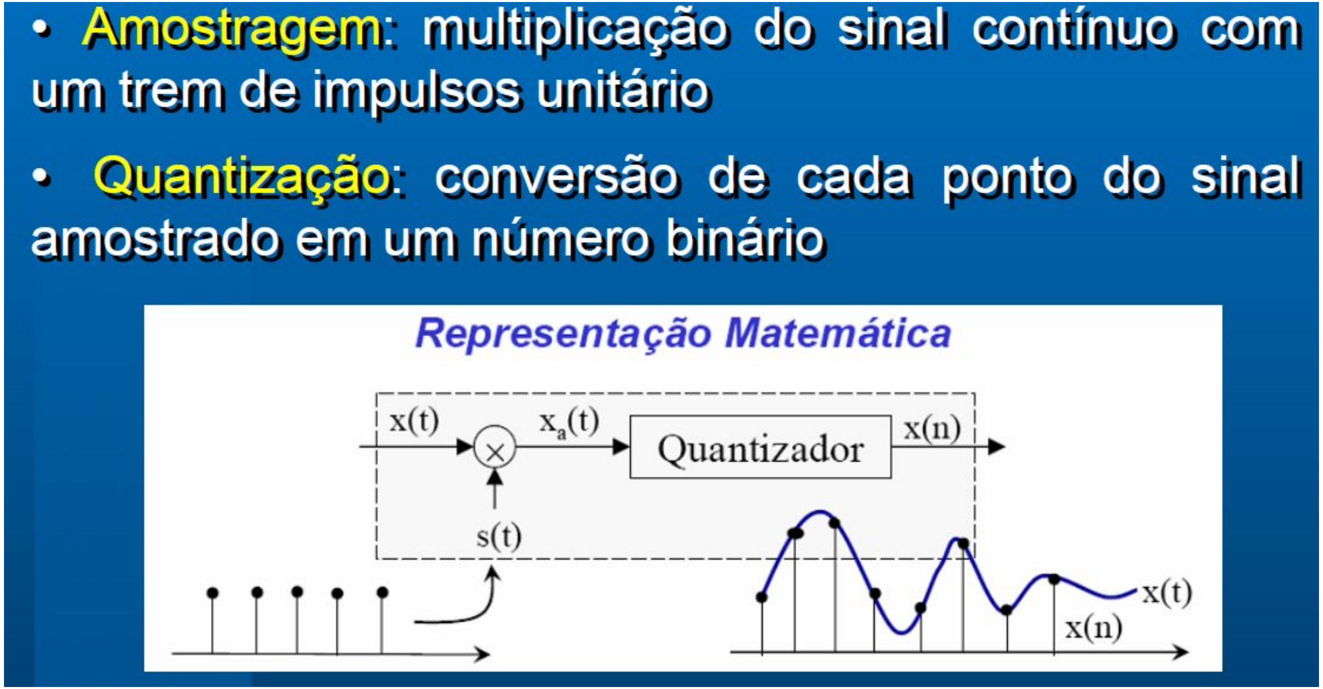
Entrada analógica	Saídas dos comparadores							Saídas digitais		
V_A	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C	B	A
0-1 V	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
1-2 V	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1
2-3 V	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0
3-4 V	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1
4-5 V	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
5-6 V	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1
6-7 V	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
> 7 V	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1

(b)

Teoria da Amostragem



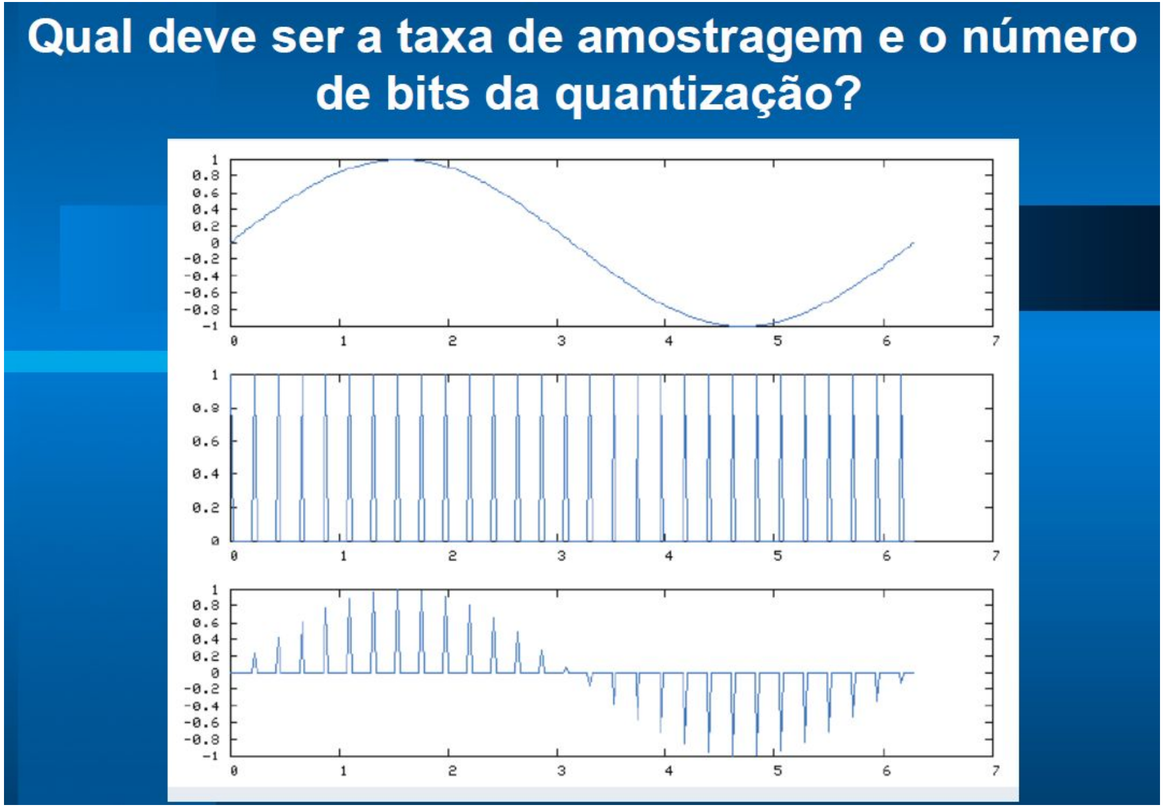
Teoria da Amostragem



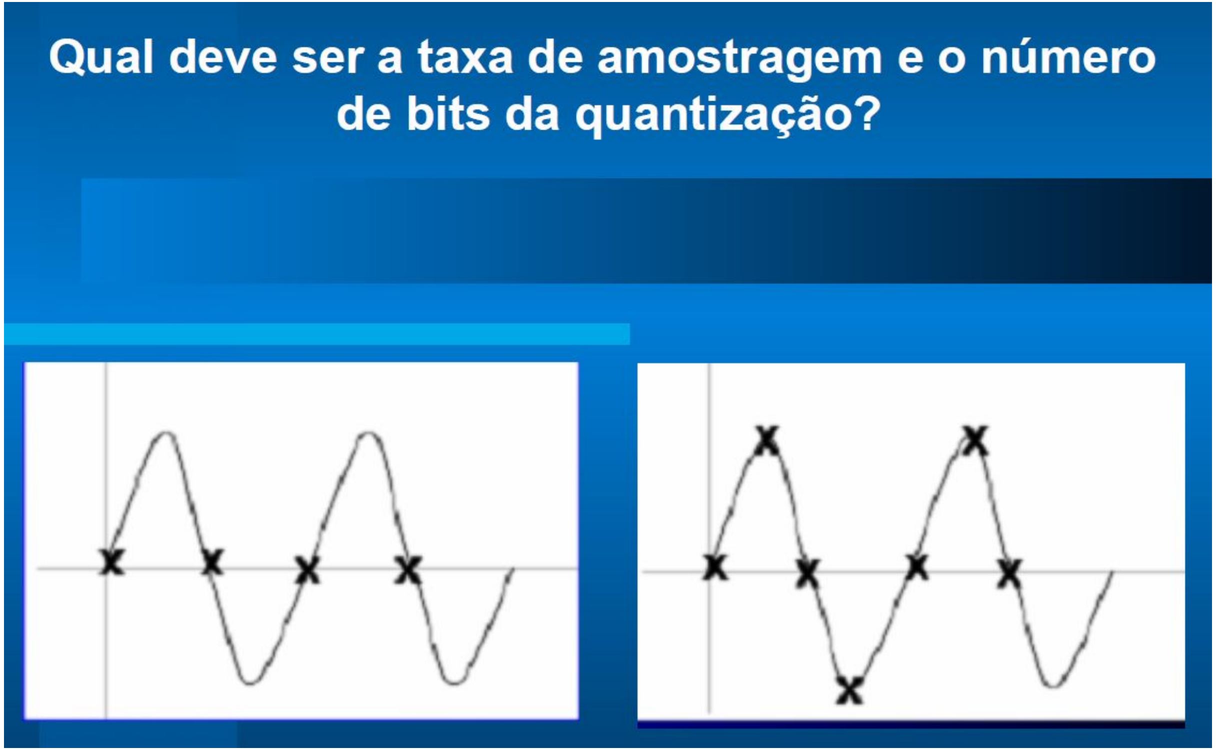
Teoria da Amostragem

- Diferenças entre o sinal digital e o sinal analógico: **amostragem e quantização**.
- Ambos os processos restringem a quantidade de informação presente no sinal digital.
- Perda de informação devido ao intervalo entre os instantes de amostragem e a precisão na quantização (número de bits).
- Questão fundamental: qual informação é necessária, e qual pode ser descartada, para uma dada aplicação?

Teoria da Amostragem



Teoria da Amostragem



Teoria da Amostragem

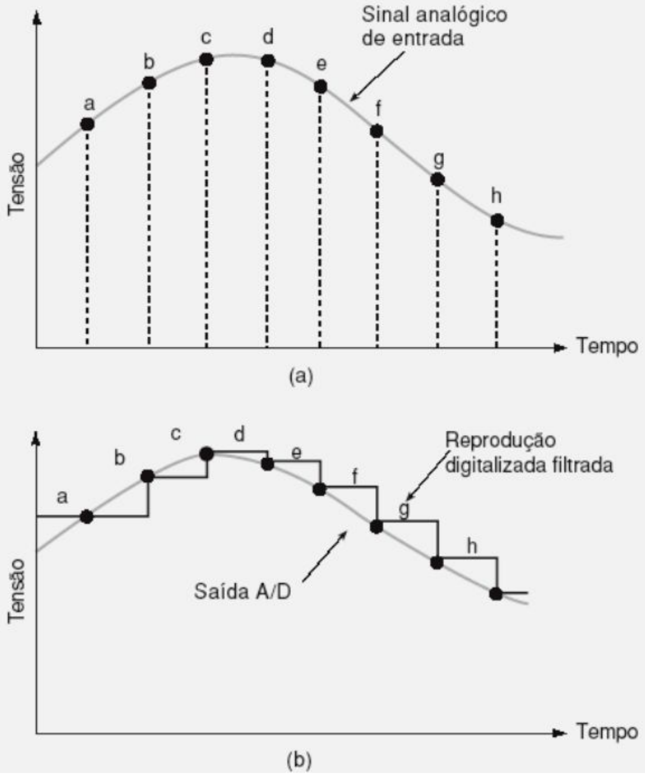
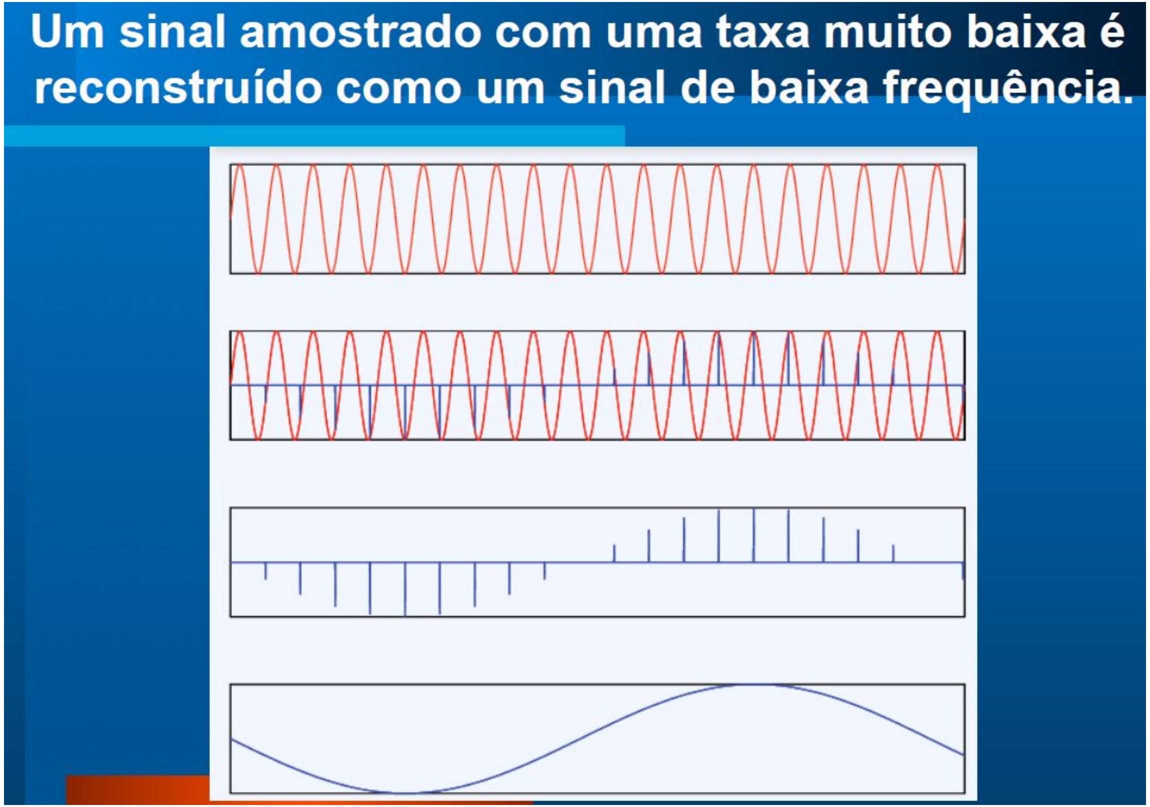
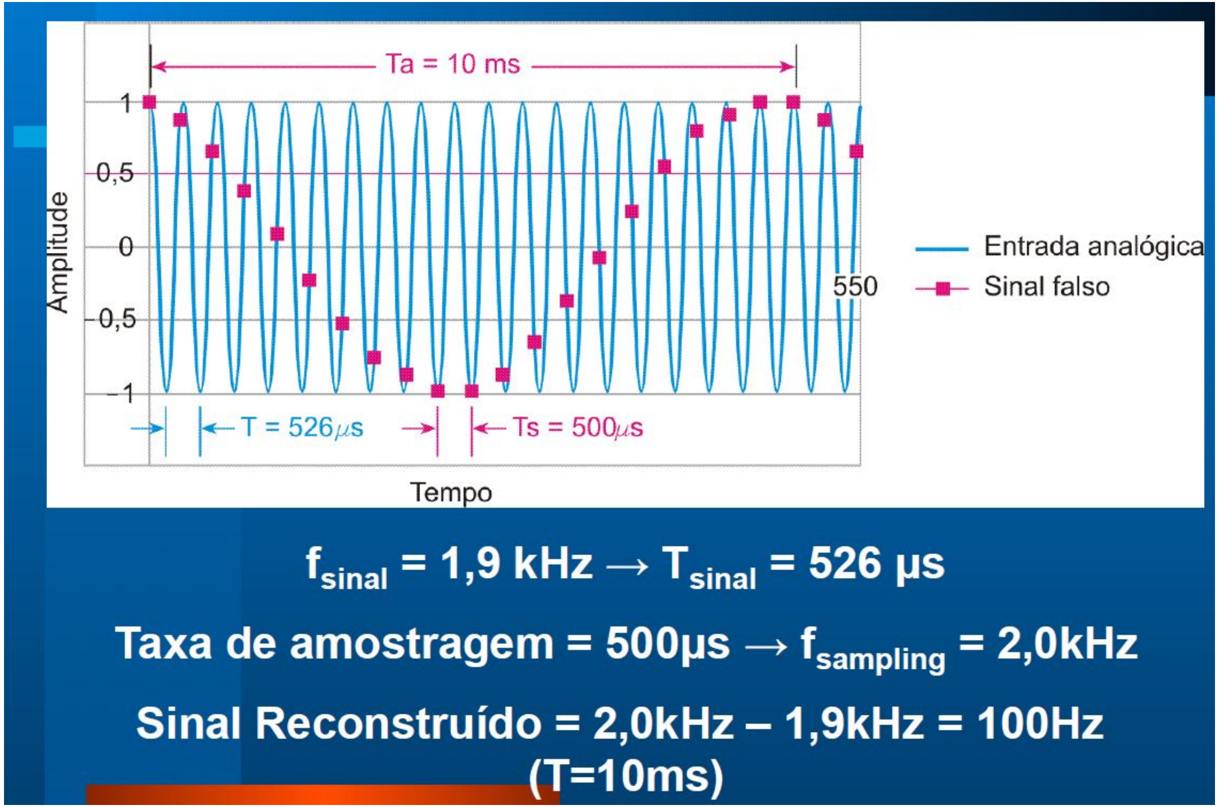


FIGURA 11.16
(a) Digitalizando um sinal analógico; (b) Reconstruindo o sinal analógico a partir dos dados digitais.

Aliasing


Um sinal amostrado com uma taxa muito baixa é reconstruído como um sinal de baixa frequência.

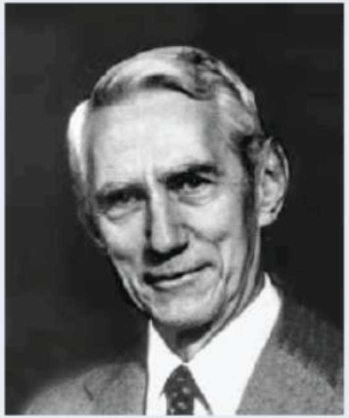
Aliasing



Ta = 10 ms
1
0,5
0
−0,5
−1
Amplitude
T = 526μs
Ts = 500μs
Tempo
550
Entrada analógica
Sinal falso
f_sinal = 1,9 kHz → T_sinal = 526 μs
Taxa de amostragem = 500μs → f_sampling = 2,0kHz
Sinal Reconstruído = 2,0kHz – 1,9kHz = 100Hz
(T=10ms)

Teorema da Amostragem (Nyquist / Shannon)

Harry Nyquist (1889-1976)

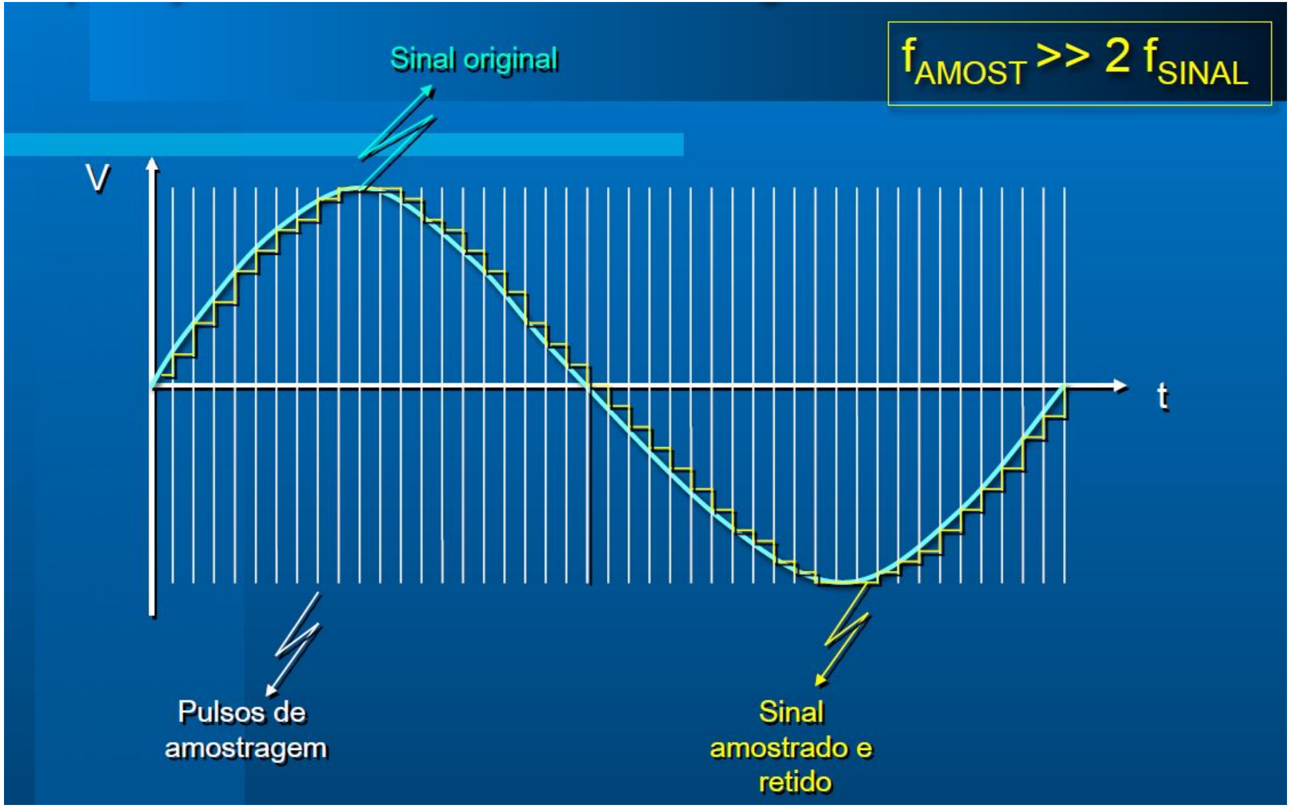


Claude E. Shannon (1916-2001)

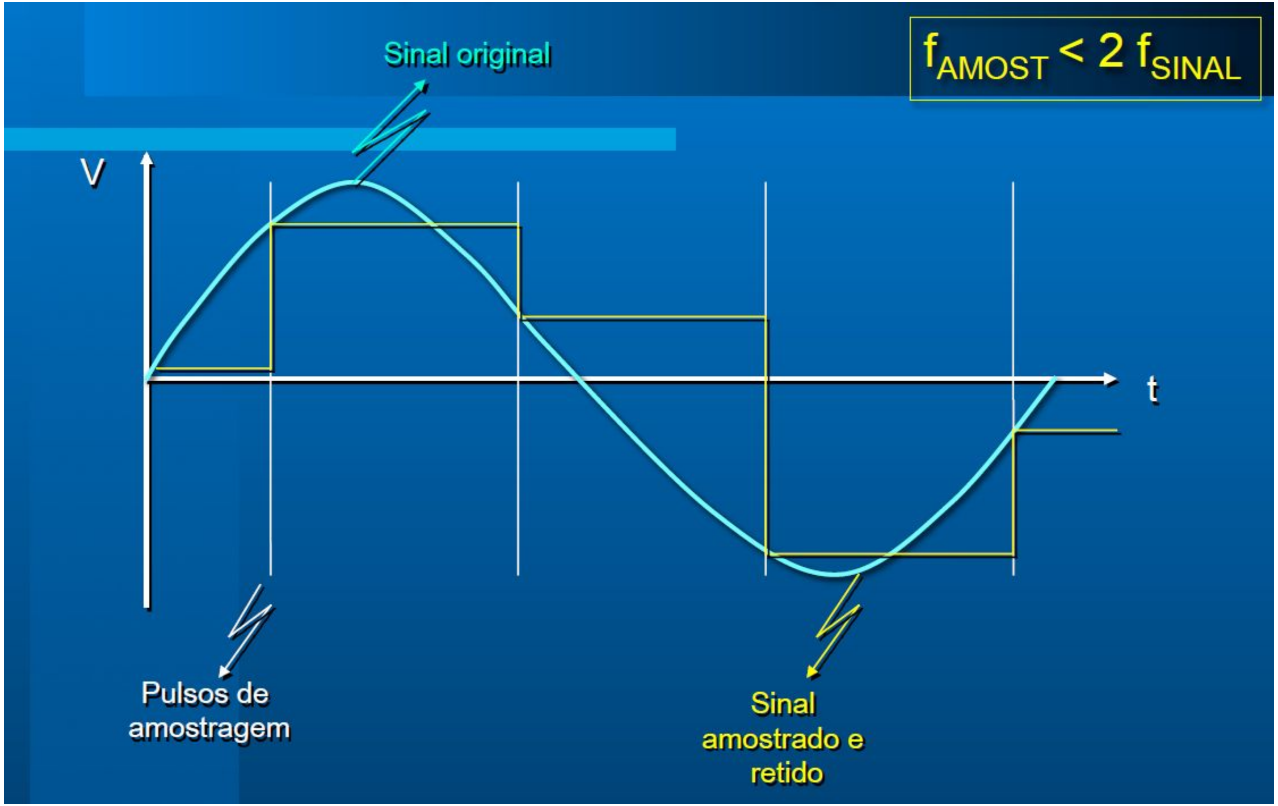
Um sinal contínuo pode ser apropriadamente amostrado somente se ele não contiver componentes em frequência acima de metade da frequência de amostragem.

$$f_{max} \leqslant \frac{f_s}{2}$$

Teorema da Amostragem (Nyquist / Shannon) - Ex



Perda de Informação por Subamostragem



Amostragem

- Um sinal digital não pode conter frequências acima da frequência de Nyquist (fs/2).
- Quando o sinal analógico tem somente componentes no intervalo (0 , fs/2), não ocorre aliasing.
- Caso contrário, toda frequência acima de fs/2 será mapeada para alguma frequência mais baixa, no intervalo (0 , fs/2).
- Cada frequência contínua acima da taxa de Nyquist tem uma frequência correspondente no intervalo (0, fs/2). Este sinal "falso" irá se somar ao sinal original, corrompendo o sinal reconstruído.

Filtros *Anti-Aliasing*

- Remover todas as componentes do sinal acima de fs/2 antes da amostragem, através de um filtro analógico passa-baixas.
- Amostrar o sinal a uma taxa ligeiramente superior à taxa de Nyquist.
- Exemplo: em telefonia, os sinais de voz são filtrados por um filtro passa-baixas com frequência de corte igual a 3,4kHz, e a seguir amostrados à taxa de 8 KHz.

Referências

- Tocci, R. J. Sistemas Digitais - Princípios e Aplicações. Pearson, Prentice Hall, 2011.
- Vieira, M. A. C. Sel 0414 - Sistemas Digitais, EESC-USP.
- Oppenheim, A. V. e Willsky, A. S. Sinais e Sistemas, 2a Ed., Pearson, 2010.