



# RCM00011 CIRCUITOS DIGITAIS

- Prof. Luciano Bertini <lbertini@id.uff.br>
- Site:  
<http://www.professores.uff.br/lbertini>

# Objetivo do Curso

- O objetivo do curso de Circuitos Digitais é apresentar ao aluno os princípios, os conceitos e as operações fundamentais que são comuns aos sistemas digitais. O entendimento de circuitos digitais é pré-requisito para posteriormente entender-se o funcionamento de um circuito digital mais complexo: o microprocessador. Serão abordados os conceitos de portas lógicas, circuitos combinacionais e circuitos sequenciais. O conhecimento adquirido será suficiente para permitir a análise e manutenção de qualquer sistema digital.

## Presença:

- Mínimo de 75% de presença. (Regulamento, Art. 80, §14)
- Reprovação com média 0 se presença < 75%.  
(Regulamento, Art. 80, §14)
- Nenhuma falta será abonada. (Regulamento Art. 80, §15)

## Avaliação:

- Serão dadas DUAS provas (P1, P2).
- A VR substitui uma das duas provas
- Todos poderão fazer a VR
- A nota final será a média das duas melhores notas.

# CAPÍTULO 1

# INTRODUÇÃO

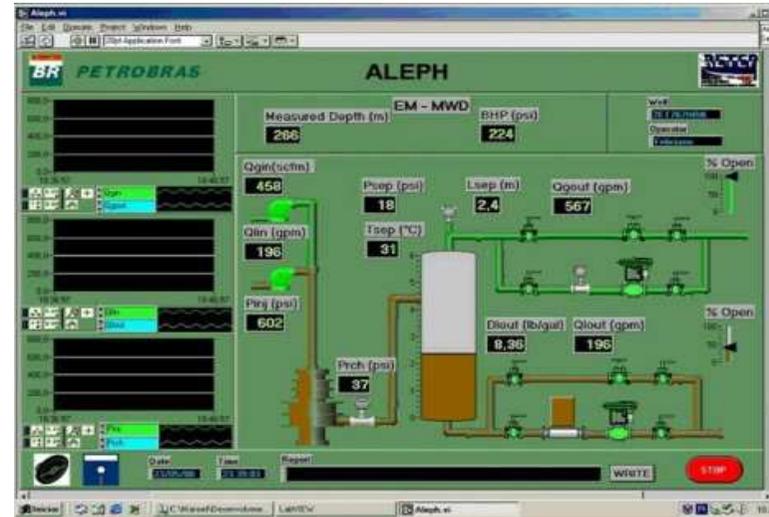
---

- Representações Numéricas
- Instrumentação Industrial
- Sinais Analógico x Digital
- Sistemas Analógicos e Digitais
- Vantagens e Limitações das técnicas digitais
- Conversão A/D e D/A
- Desvantagens dos S.D.
- Sinal Amostrado (sample and hold)
- Harmônicos (Fourier)
- Sistemas de Numeração Digital
- Contagem Decimal x Binária
- Contadores Binários
- Representação de Quantidades Binárias
- O Dip Switch
- Exemplo de CIs: 74HCT245/74HC245
- Sinais Digitais e Diagramas de Tempo
- Visualização de Diagramas de tempo: osciloscópio digital
- Circuitos Digitais/Circuitos Lógicos
- Transmissão Paralela e Serial
- Circuitos com Memória
- O Computador Digital
- Circuito digital de uma CPU

# Representações Numéricas

- Na vida real estamos constantemente tratando com quantidades, valores.
- Quantidades são medidas que podem ser monitoradas, guardadas, manipuladas aritmeticamente, observadas ou utilizadas de alguma outra maneira.
- Exemplo: Instrumentação Industrial.
  - Em uma plataforma de petróleo, os operadores ficam na sala de controle onde chegam todas as informações provenientes do processo: vazão e pressão do óleo e gás nos diversos pontos, como poços, tanques separadores. Sensores e detectores monitoram todo o ambiente para garantir a segurança da plataforma (fogo, gás, fumaça, etc) e também a qualidade do óleo. E para efeito de contabilização financeira do óleo produzido, medições precisas são realizadas.

# Instrumentação Industrial

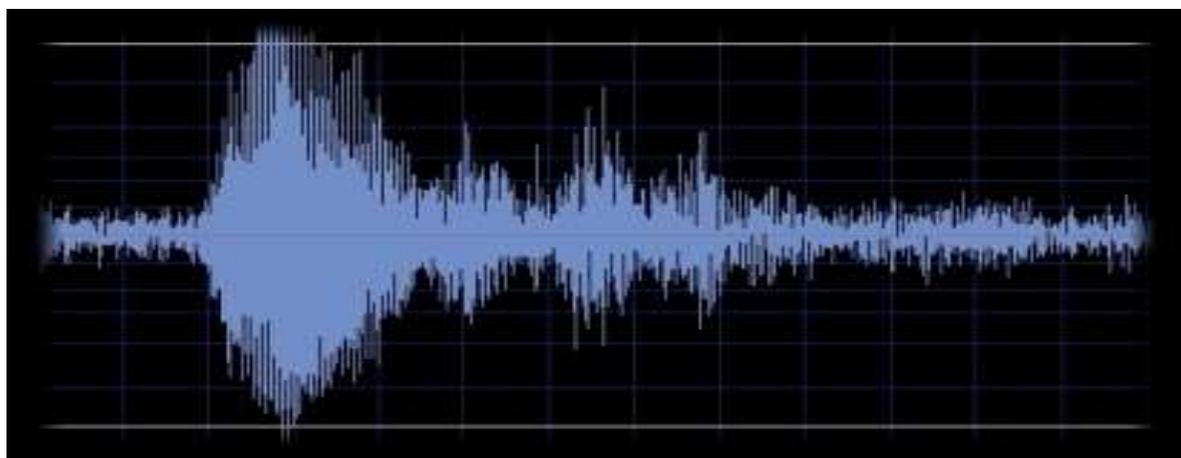


# Analógico x Digital

- As grandezas devem ser representadas e armazenadas de forma eficiente e precisa.
- Existem basicamente duas formas de representação dos valores das quantidades: a **analógica** e a **digital**
- **Analógica**: tensão, corrente, ou medida de movimento proporcional ao valor em questão.
- Ex.: velocímetro de um automóvel. A deflexão do ponteiro é proporcional à velocidade.
- Outros exemplos: termômetro de mercúrio, microfone
- Característica importante: Podem variar ao longo de uma faixa contínua de valores.



# Sinal de um Microfone



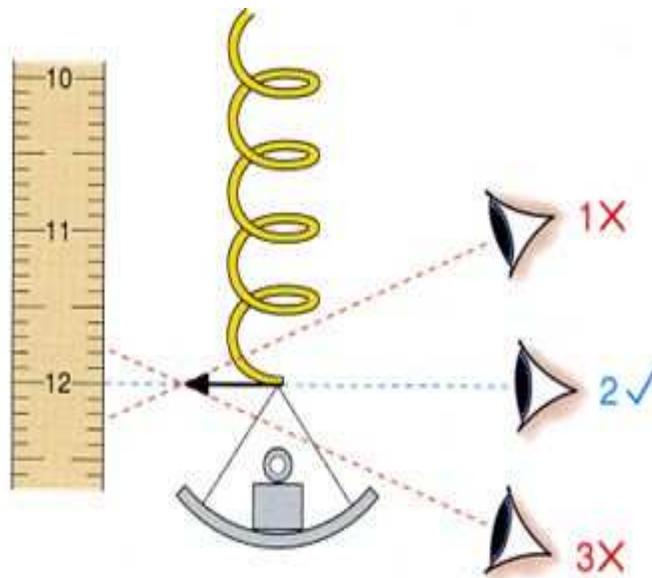
# Analógico x Digital

- **Digital:** as quantidades não são representadas por quantidades proporcionais, mas por símbolos denominados **dígitos**.
- Ex.: relógio digital (dígitos decimais). Apesar do tempo ser contínuo, o relógio digital varia em saltos, de forma *discreta*.
- Quando uma quantidade varia em degraus, diz-se que ela é **discreta**.
- Assim:
  - Analógica = contínua
  - Digital = discreta  
(passo a passo)



# Analógico x Digital

- Na leitura digital não há ambiguidade, ao passo que a analógica apresenta, muitas vezes, uma interpretação livre.
- Por exemplo: erro de paralaxe em instrumentos analógicos; definição do ponto de leitura



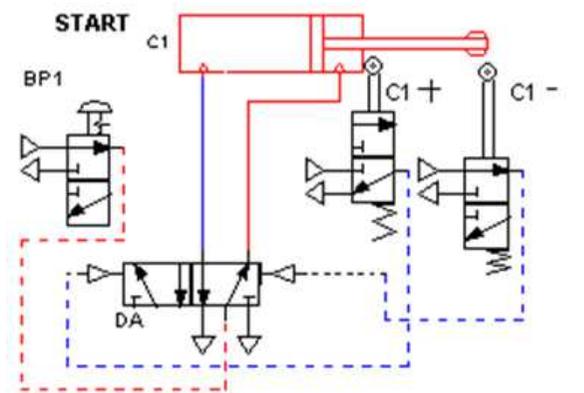
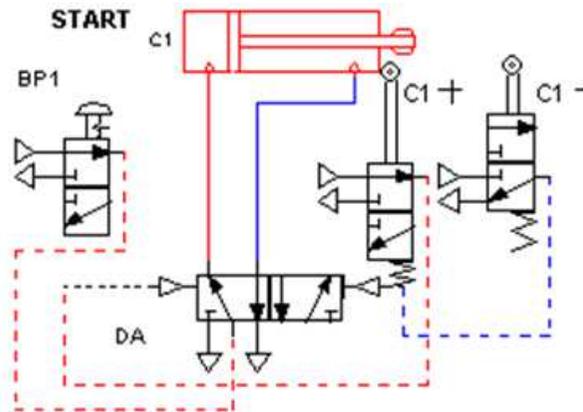
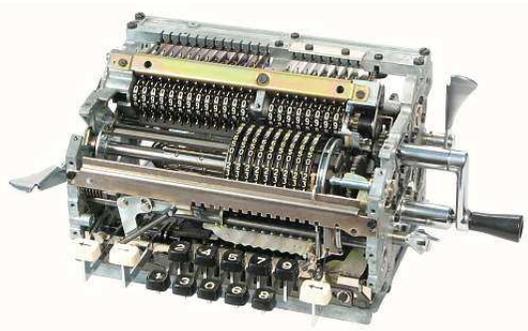
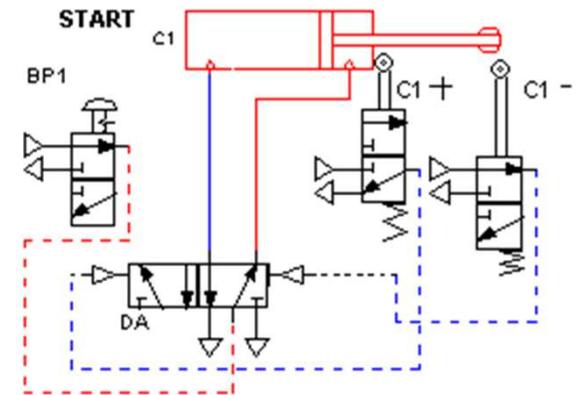
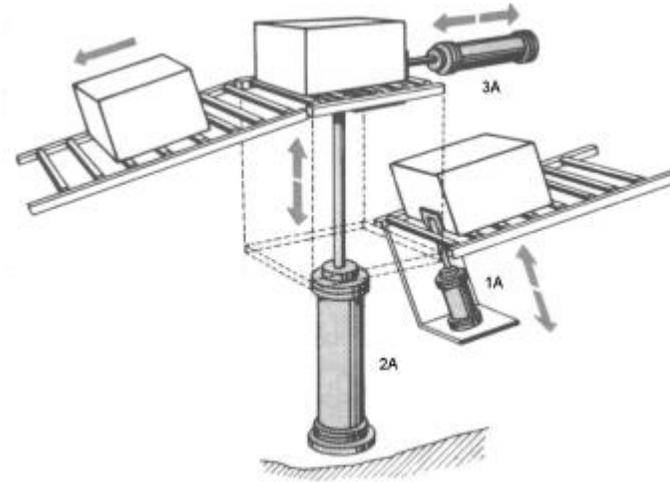
# Exemplos

- Dentre as quantidades a seguir, quais são as que estão relacionadas a quantidades analógicas e quais são as que estão relacionadas a quantidades digitais?
  - (a) Chave de dez posições
  - (b) A corrente que flui em uma tomada elétrica
  - (c) A temperatura de um ambiente
  - (d) Grãos de areia na praia
  - (e) Velocímetro de um automóvel
  - (f) Telégrafo ([ver vídeo](#))

# Sistemas Analógicos e Digitais

- Um **sistema digital** é uma combinação de dispositivos projetados para manipular informações ou quantidades físicas que são representadas no formato digital, ou seja, as quantidades podem assumir apenas valores discretos
- São quase sempre sistemas eletrônicos, mas também podem ser mecânicos, magnéticos ou pneumáticos
- Um **sistema analógico** contém dispositivos que manipulam quantidades físicas que são representadas na forma analógica. Por exemplo: a amplitude do sinal de saída de um alto-falante em um rádio é analógica. Outros exemplos são: amplificador, *dimmer*, gravadores, etc.

# Sistemas Digitais Não Eletrônicos?



# Vantagens das técnicas digitais

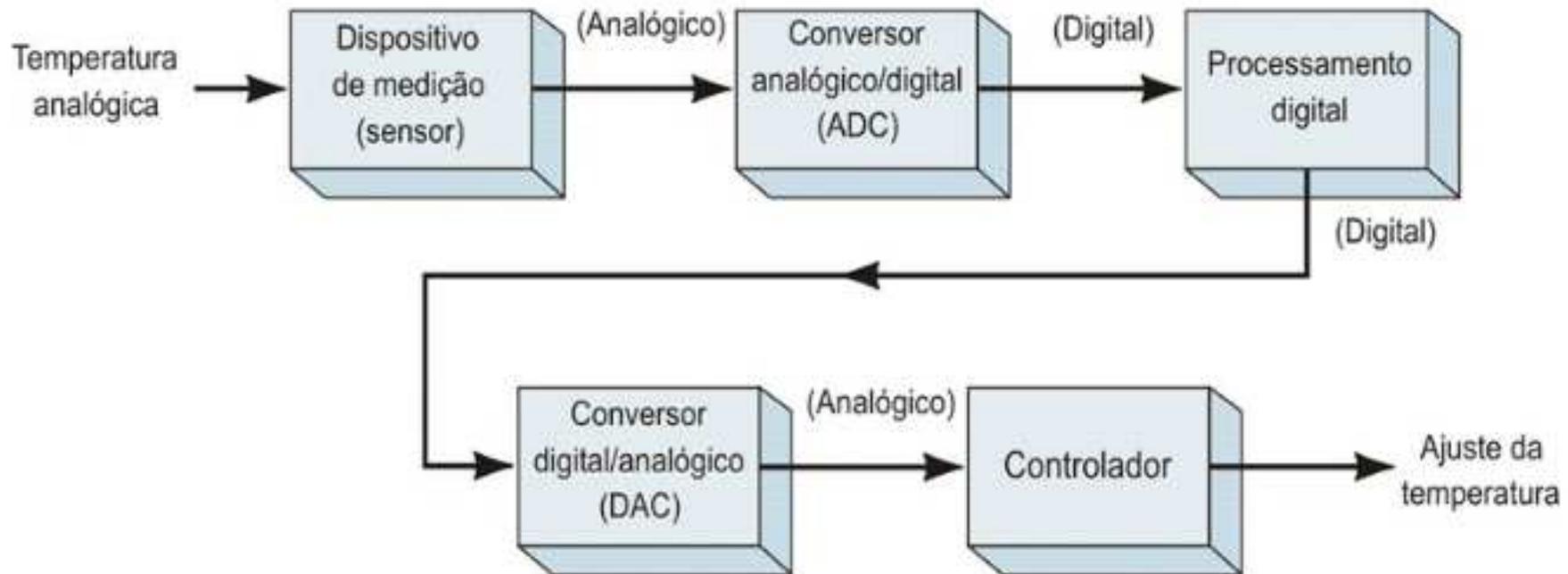
- Os sistemas digitais são mais fáceis de ser projetados. Usam chaveamento e não valores exatos.
- Fácil armazenamento de informação. Os *latches* permitem armazenar e manter a informação pelo tempo necessário.
- Maior precisão e exatidão. Nos circuitos digitais a precisão pode ser aumentada adicionando-se mais dígitos. Na analógica as tensões tem precisão limitada.
- As operações podem ser programadas.
- Circuitos digitais são menos afetados pelo ruído.
- CIs digitais podem ser fabricados com maior integração (número de componentes internos).

# Limitações das Técnicas Digitais

- O único problema é que o mundo é quase totalmente analógico
- Precisamos fazer aproximações digitais para grandezas eminentemente analógicas. Por exemplo, dizemos que a temperatura é  $64^{\circ}\text{C}$ , e se desejarmos uma precisão maior,  $63,8^{\circ}\text{C}$ .
- Para se obter as vantagens das técnicas digitais, três passos devem ser seguidos:
  1. Converter as entradas analógicas do mundo real para o formato digital
  2. Processar a informação digital (operação)
  3. Converter os resultados do formato digital para o analógico (o formato do mundo real)

# Conversão A/D e D/A

- Um sistema de controle de temperatura típico:

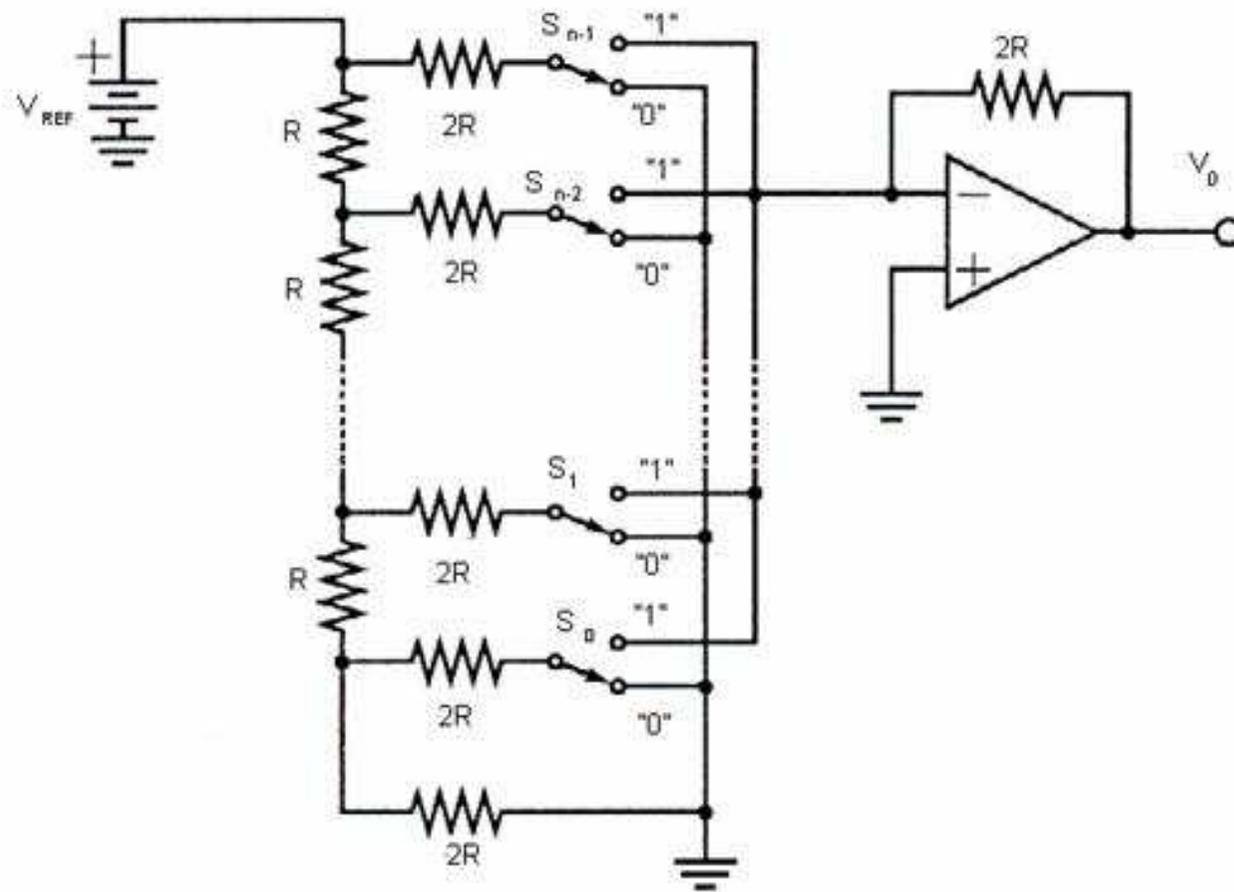


# Conversão A/D e D/A

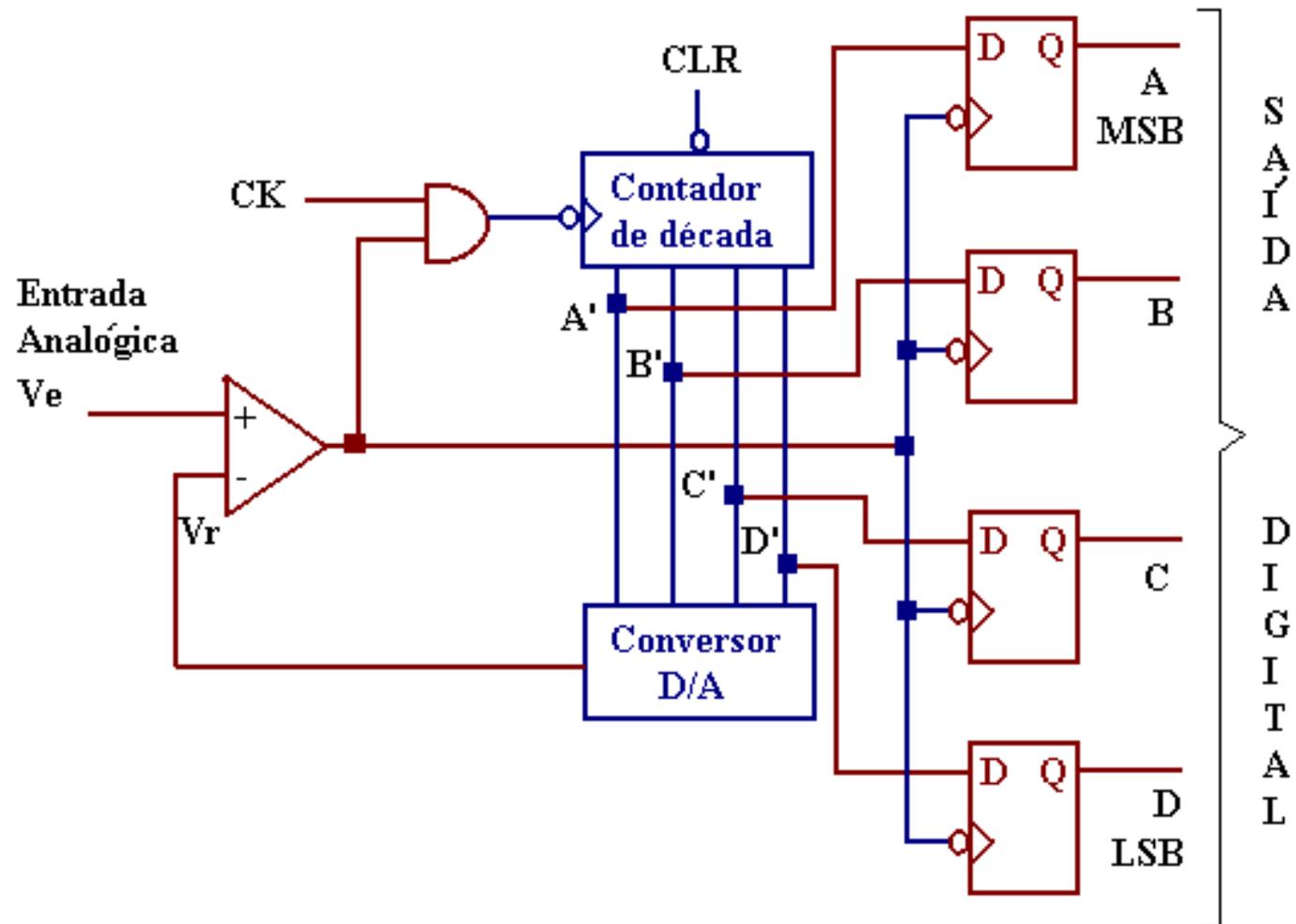
- Os sistemas de áudio também tornaram-se digitais. Porém ainda há quem ache que os discos de vinil tinham maior qualidade de som.



# Conversão D/A



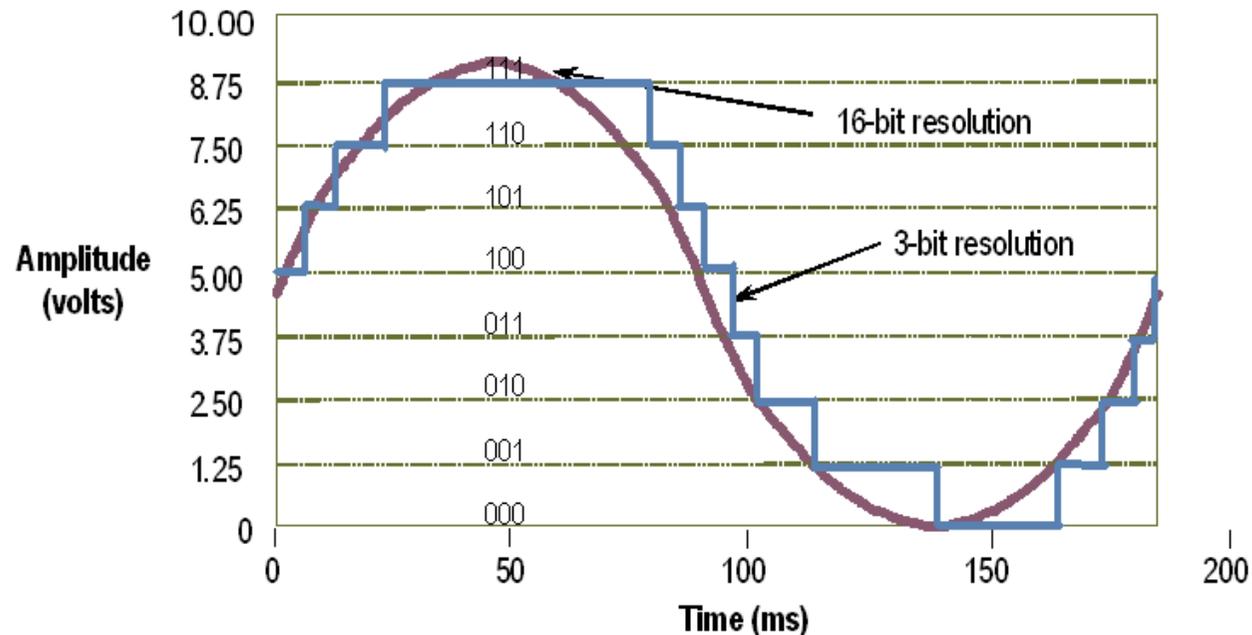
# Conversão A/D



# Desvantagens dos S.D.

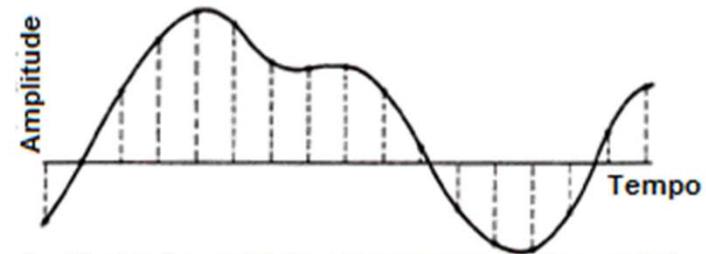
- Necessidade da conversão: complexidade a mais
- Erro de conversão
- Sinal pode perder o formato original: teorema de Nyquist
- Tempo de conversão

Porém, essas desvantagens são superadas facilmente pelas várias vantagens dos S.D.

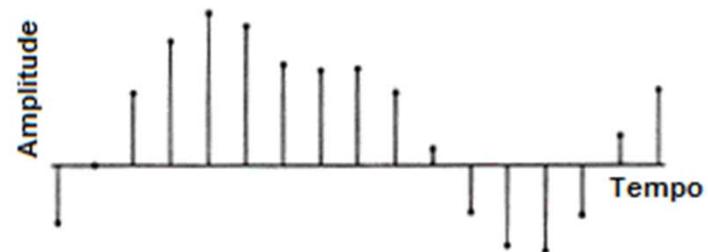


# Sinal Amostrado (sample and hold)

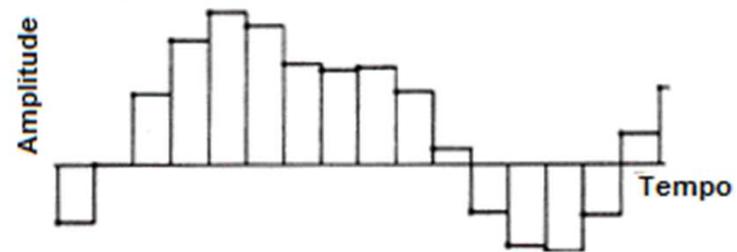
- De acordo com o Teorema de Nyquist, a frequência de amostragem deve ser maior que o dobro da maior frequência contida no sinal a ser amostrado, para que possa ser reproduzido integralmente.
- Todo sinal pode ser decomposto em um somatório infinito de harmônicos (veja figura a seguir)



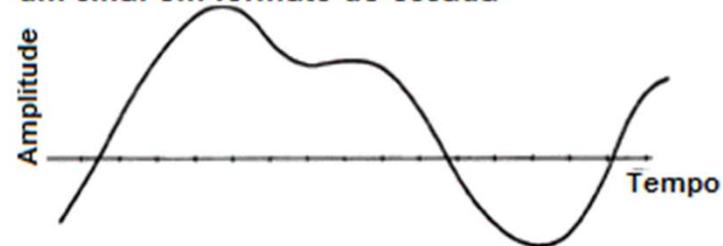
A - O sinal analógico é amostrado (sample)



B - Os valores numéricos dessas amostras são armazenados ou transmitidos

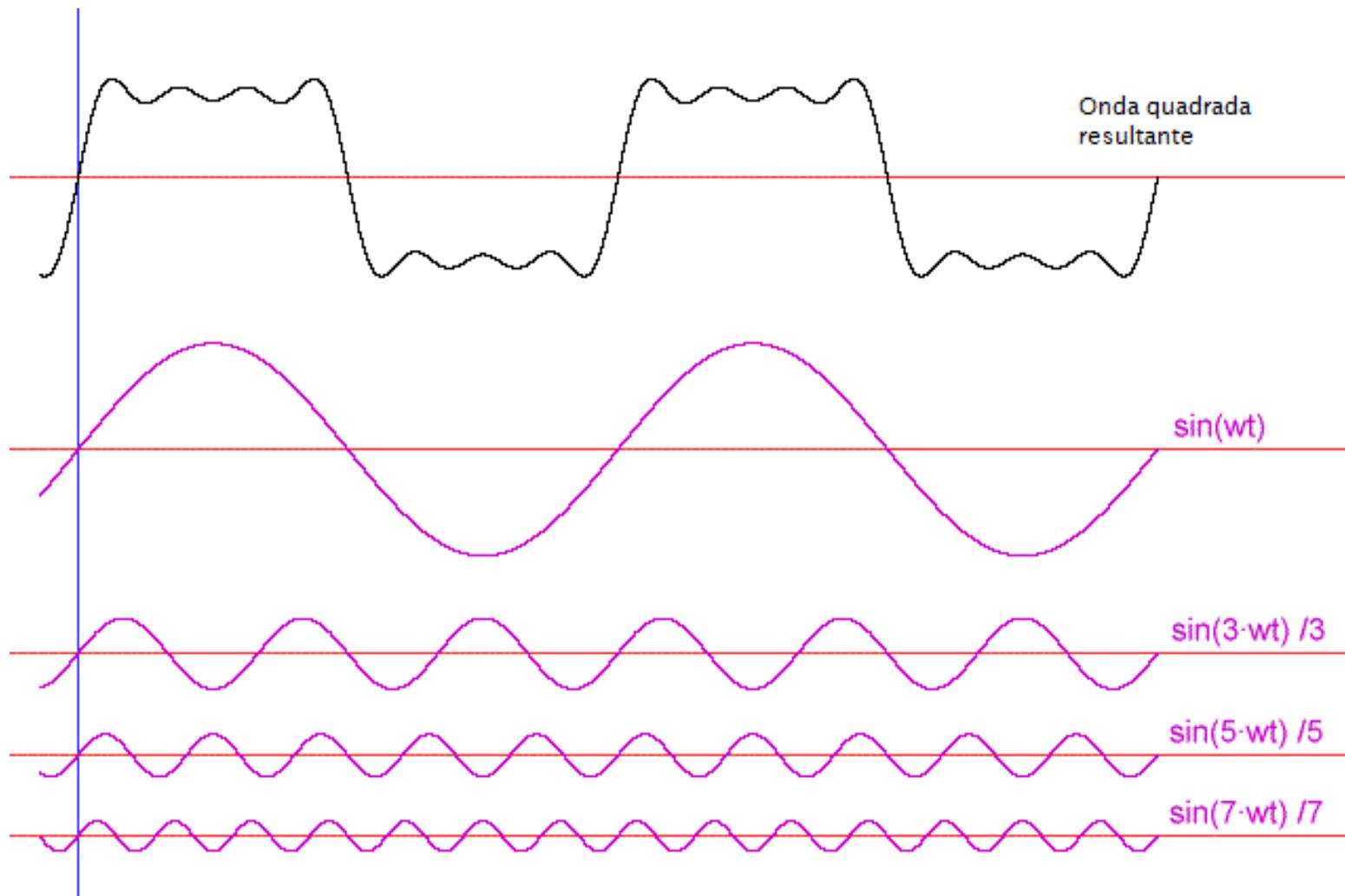


C - As amostras são retidas (hold) para formar um sinal em formato de escada



D - Um filtro passa-baixas interpola a "escada" para reconstruir a forma de onda da entrada

# Harmônicos (Fourier)



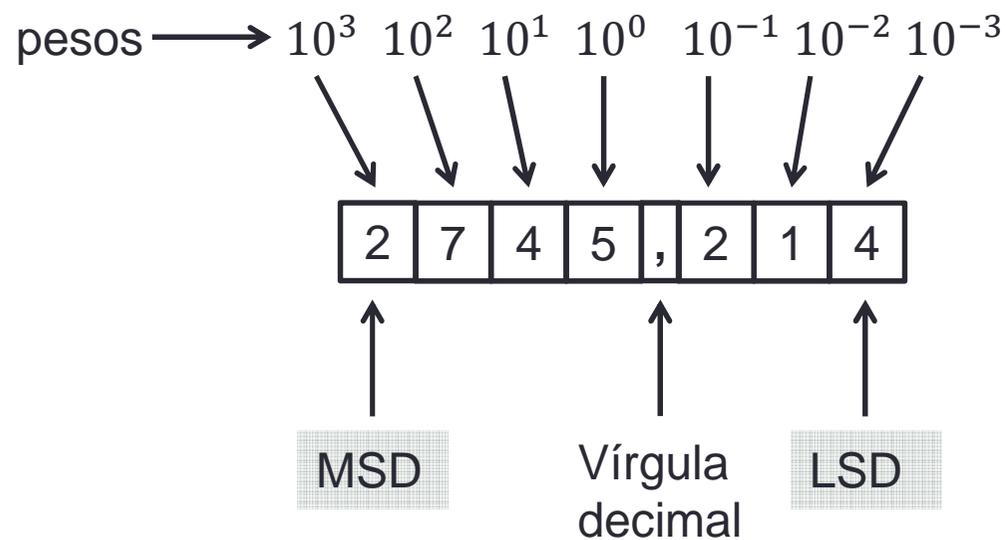
# Sistemas de Numeração Digital

**SÓ EXISTEM 10  
TIPOS DE PESSOAS  
NESTE MUNDO:**

**AS QUE ENTENDEM  
BINÁRIO E AS QUE  
NÃO ENTENDEM.**

# Sistemas de Numeração Digital

- Os números decimais são expressos como potências de 10



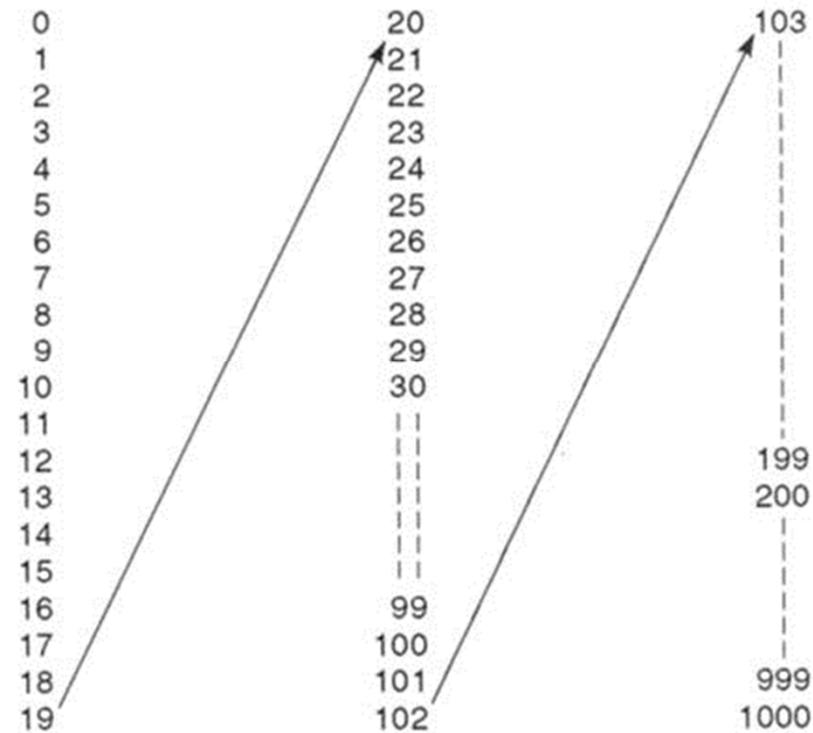
# Contagem Decimal

- Com **N** dígitos se pode contar até  **$10^N$**  números distintos, começando do **zero**. O maior número possível será sempre  **$10^N - 1$** .

EX:

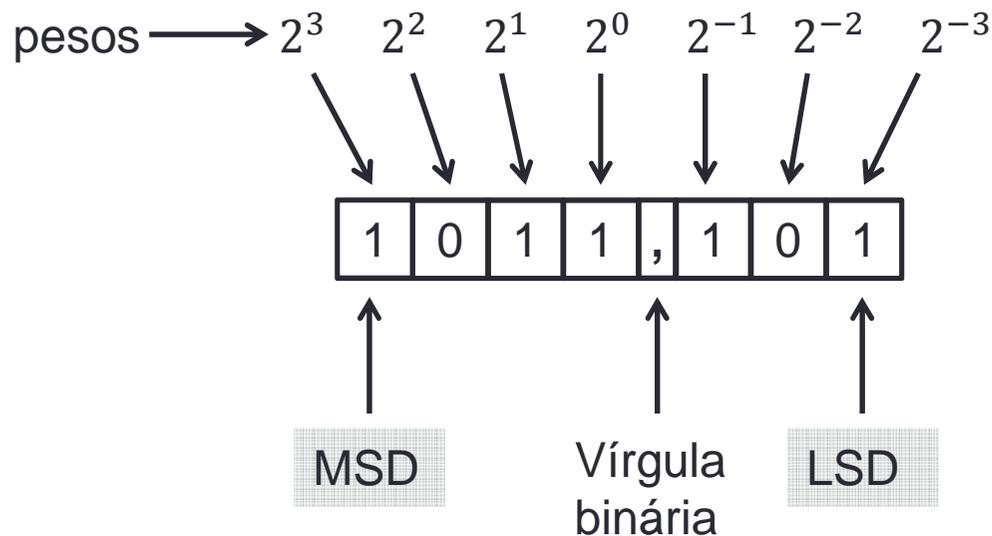
2 dígitos → de 00 até 99 =  $10^2 - 1$

3 dígitos → de 000 até 999 =  $10^3 - 1$



# Sistema Binário

- Seria muito difícil projetar um circuito eletrônico para operar com dez níveis diferentes de tensão
- Portanto o sistema binário é utilizado, com apenas dois níveis de tensão: o nível alto (um) e o nível baixo (zero).
- Com sequências de dígitos, é possível representar qualquer valor.
- O termo dígito binário (**binary digit**) é o que chamamos de **bit**



$$1011,101_2 = (1 \times 2^3) + (0 \times 2^2) + (1 \times 2^1) + (1 \times 2^0) + (1 \times 2^{-1}) + (0 \times 2^{-2}) + (1 \times 2^{-3})$$

$$= 8 + 0 + 2 + 1 + 0,5 + 0 + 0,125$$

$$1011,101_2 = 11,625_{10}$$

# Exemplo

- Converta para binário os seguintes números:

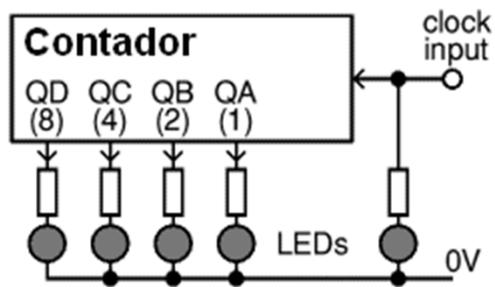
1.  $0,5_{10}$

2.  $19_{10}$

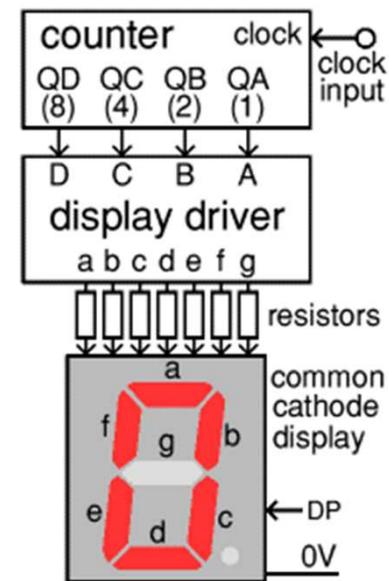
3.  $9,625_{10}$

4.  $16,9_{10}$

# Contagem Binária



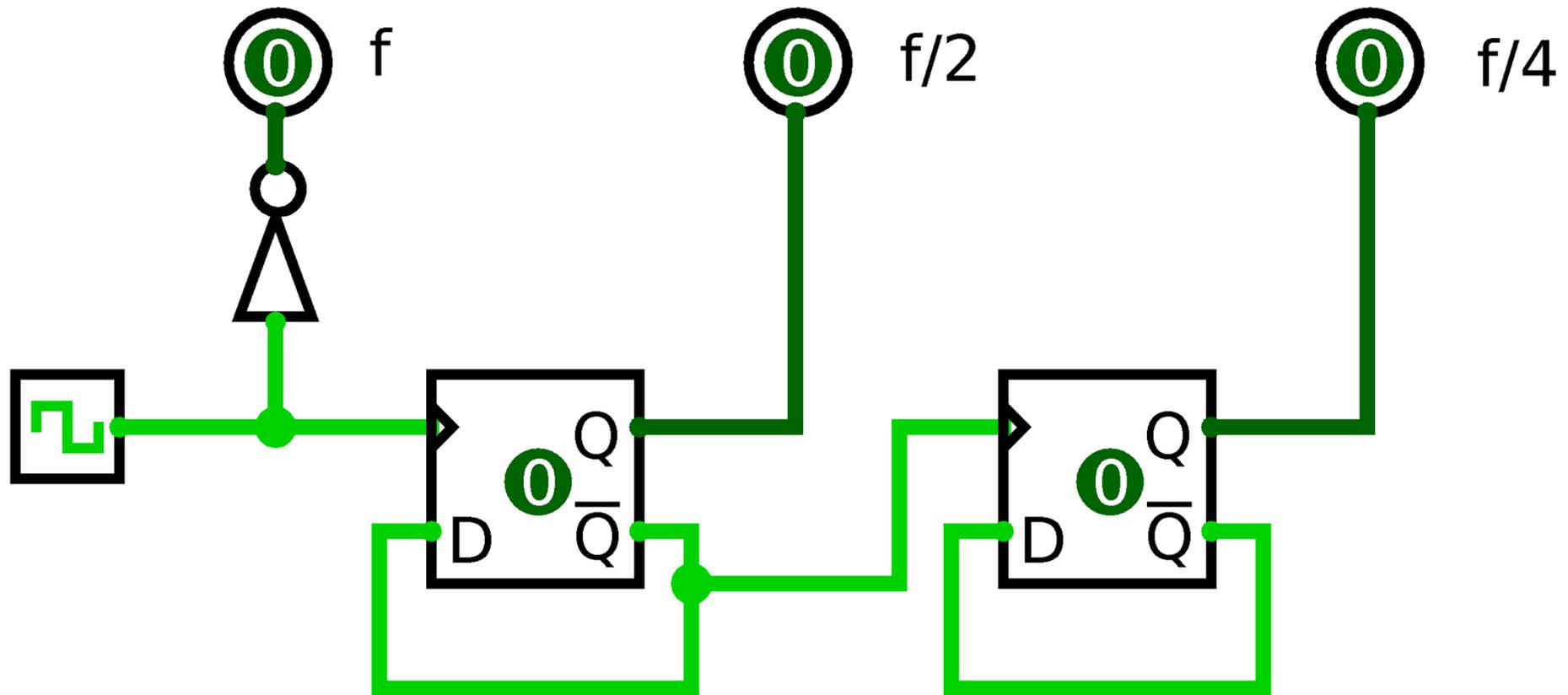
Contador de 4 bits



Contador de 4 bits com reset em 10 e decodificador de sete segmentos



# Contador Binário com Flip-Flops tipo D

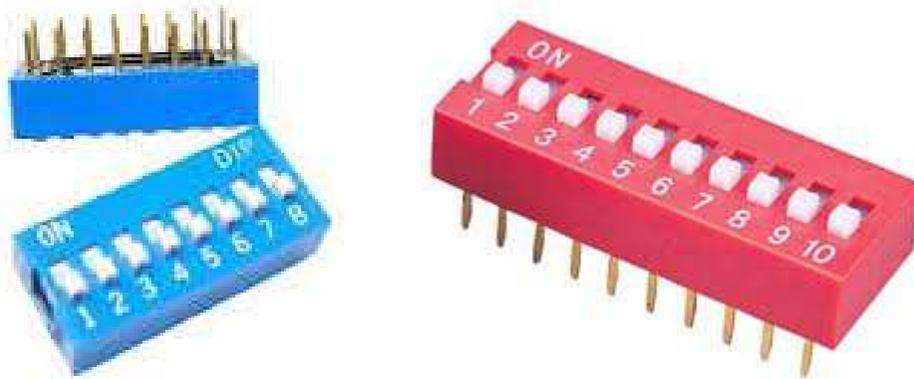


# Sequência Binária

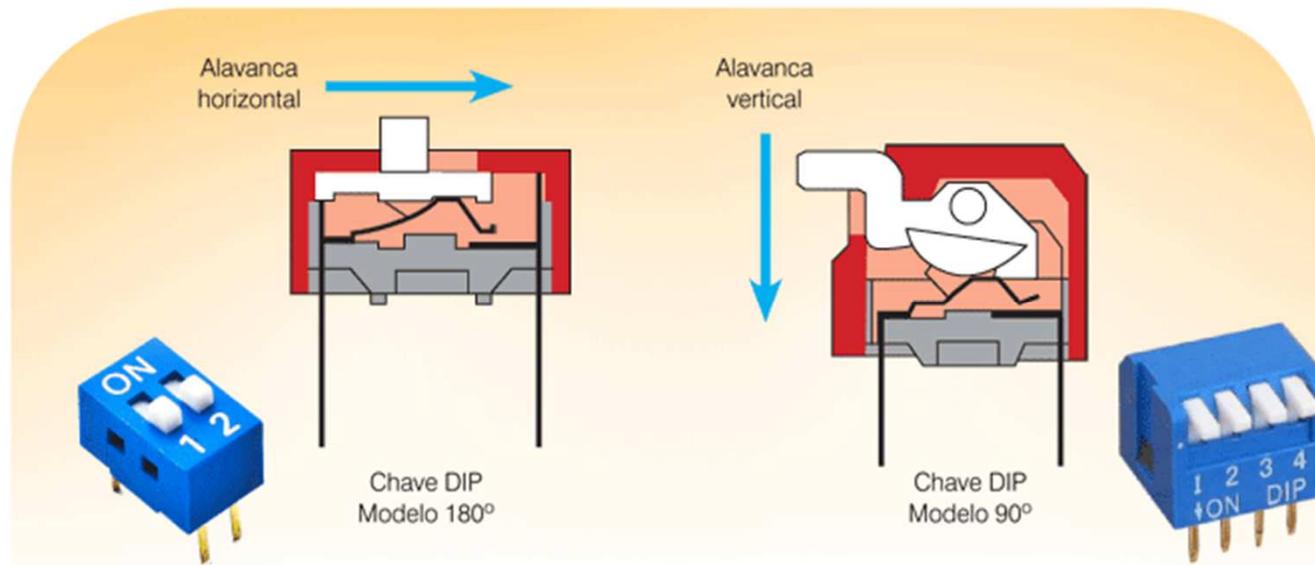
$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$		$10^1$	$10^0$
0	0	0	0	=	0	0
0	0	0	1	=	0	1
0	0	1	0	=	0	2
0	0	1	1	=	0	3
0	1	0	0	=	0	4
0	1	0	1	=	0	5
0	1	1	0	=	0	6
0	1	1	1	=	0	7
1	0	0	0	=	0	8
1	0	0	1	=	0	9
1	0	1	0	=	1	0
1	0	1	1	=	1	1
1	1	0	0	=	1	2
1	1	0	1	=	1	3
1	1	1	0	=	1	4
1	1	1	1	=	1	5

# Representação de Quantidades Binárias

- Qualquer dispositivo que tenha capacidade de armazenar dois estados pode ser usado para representar quantidades binárias
- Podemos por exemplo usar chaves. Arbitrariamente podemos dizer que a chave aberta representa o ZERO e a chave fechada representa o UM.
- São as chamadas *Dip Switches*



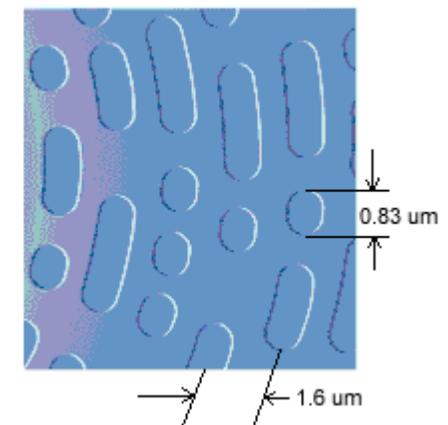
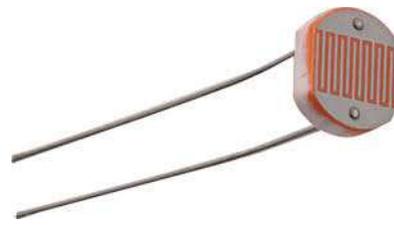
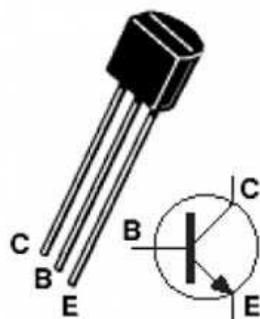
# Funcionamento do Dip Switch



# Representação de Quantidades Binárias

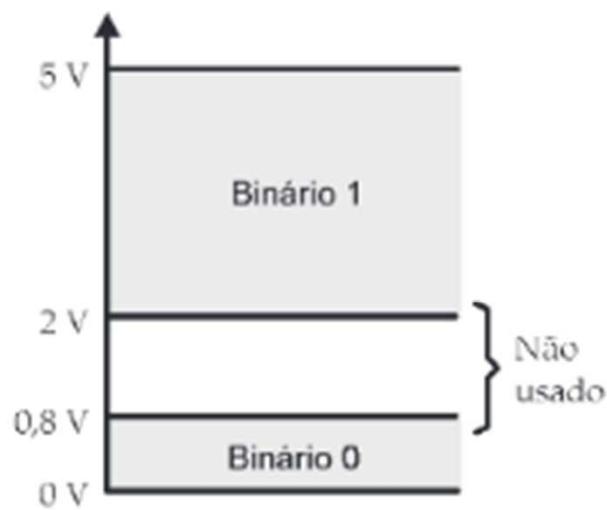
• Existem vários outros dispositivos possíveis que podem representar dois estados:

- Lâmpada (acesa ou apagada)
- Diodo (em condução ou em corte)
- Relé (energizado ou não)
- Transistor (em corte ou saturação)
- Fococélula (iluminada ou no escuro)
- Válvulas (aberta ou fechada)
- Um ponto no disco magnético (magnetizado ou não)

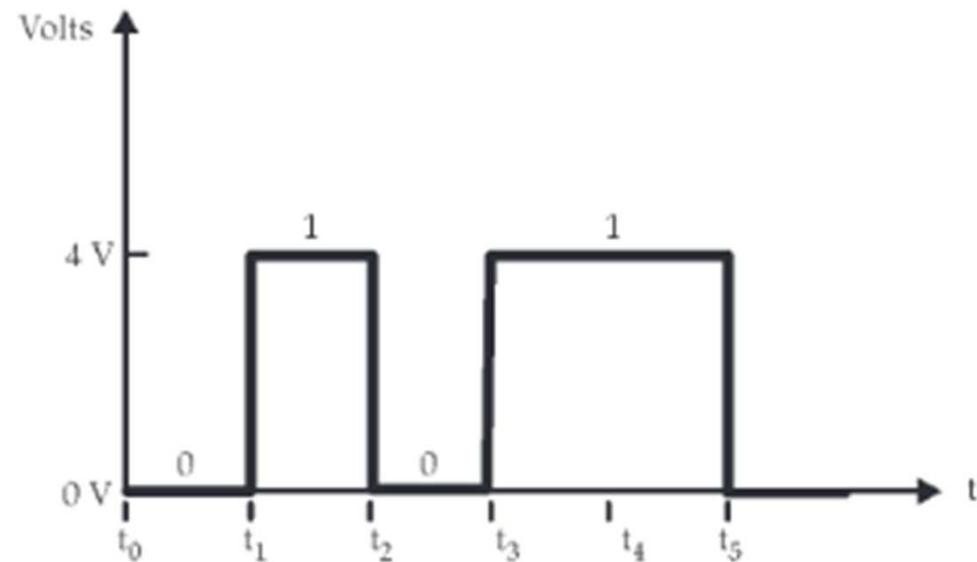


# Representação de Quantidades Binárias

- Os bits são geralmente representados por tensões. Por exemplo, 0V pode representar o bit 0 e +5V pode representar o bit 1. Na prática faixas de tensão devem ser admitidas:

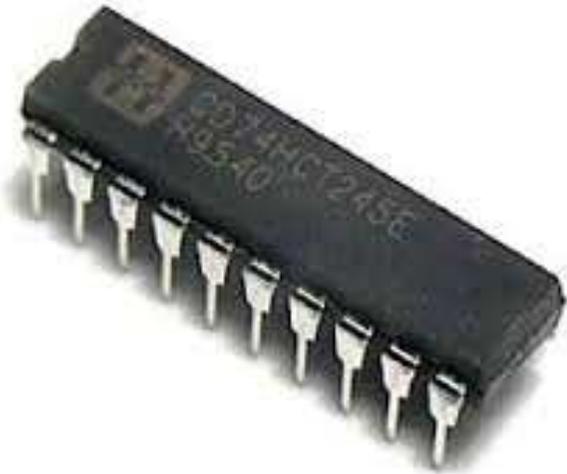
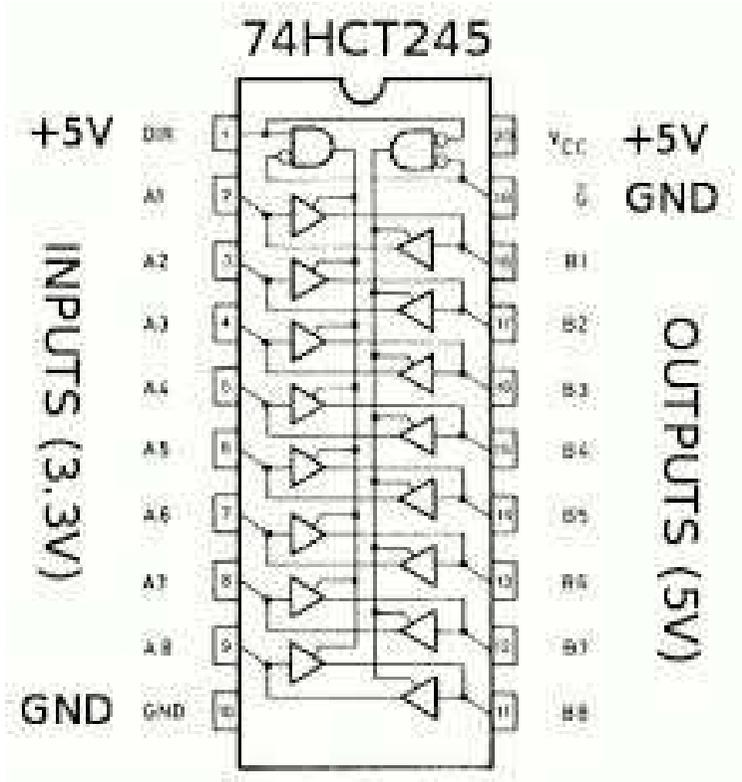


(a)



(b)

# Exemplo: O 74HCT245/74HC245



# 74HCT245

## 74HCT245

### DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Voltages Referenced to GND)

Symbol	Parameter	Condition	V <sub>CC</sub> (V)	Guaranteed Limit			Unit
				-55 to 25°C	≤85°C	≤125°C	
V <sub>IH</sub>	Minimum High-Level Input Voltage	V <sub>out</sub> = 0.1V  I <sub>out</sub>   ≤ 20μA	4.5	2.0	2.0	2.0	V
			5.5	2.0	2.0	2.0	
V <sub>IL</sub>	Maximum Low-Level Input Voltage	V <sub>out</sub> = V <sub>CC</sub> - 0.1V  I <sub>out</sub>   ≤ 20μA	4.5	0.8	0.8	0.8	V
			5.5	0.8	0.8	0.8	
V <sub>OH</sub>	Minimum High-Level Output Voltage	V <sub>in</sub> = V <sub>IL</sub>  I <sub>out</sub>   ≤ 20μA	4.5	4.4	4.4	4.4	V
		V <sub>in</sub> = V <sub>IL</sub>  I <sub>out</sub>   ≤ 4.0mA	5.5	5.4	5.4	5.4	
V <sub>OL</sub>	Maximum Low-Level Output Voltage	V <sub>in</sub> = V <sub>IH</sub>  I <sub>out</sub>   ≤ 20μA	4.5	0.1	0.1	0.1	V
		V <sub>in</sub> = V <sub>IH</sub>  I <sub>out</sub>   ≤ 4.0mA	5.5	0.1	0.1	0.1	
I <sub>in</sub>	Maximum Input Leakage Current	V <sub>in</sub> = V <sub>CC</sub> or GND	4.5	0.26	0.33	0.40	μA
			5.5	±0.1	±1.0	±1.0	
I <sub>OZ</sub>	Maximum Three-State Leakage Current	Output in High-Impedance State V <sub>in</sub> = V <sub>IL</sub> or V <sub>IH</sub> V <sub>out</sub> = V <sub>CC</sub> or GND	5.5	±0.5	±5.0	±10	μA
I <sub>CC</sub>	Maximum Quiescent Supply Current (per Package)	V <sub>in</sub> = V <sub>CC</sub> or GND I <sub>out</sub> = 0μA	5.5	4.0	40	40	μA
ΔI <sub>CC</sub>	Additional Quiescent Supply Current	V <sub>in</sub> = 2.4V, Any One Input V <sub>in</sub> = V <sub>CC</sub> or GND, Other Inputs I <sub>out</sub> = 0μA	5.5	≥ -55°C	25 to 125°C		mA
				2.9	2.4		

6. Information on typical parametric values can be found in Chapter 2the ON Semiconductor High- Speed CMOS Data Book (DL129/D).

7. Total Supply Current = I<sub>CC</sub> + ΣΔI<sub>CC</sub>.

# 74HC245

## 74HC245

### DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Voltages Referenced to GND)

Symbol	Parameter	Test Conditions	V <sub>CC</sub> V	Guaranteed Limit			Unit
				-55 to 25°C	≤ 85°C	≤ 125°C	
V <sub>IH</sub>	Minimum High-Level Input Voltage	V <sub>out</sub> = V <sub>CC</sub> - 0.1 V  I <sub>out</sub>   ≤ 20 μA	2.0	1.5	1.5	1.5	V
			3.0	2.1	2.1	2.1	
			4.5	3.15	3.15	3.15	
			6.0	4.2	4.2	4.2	
V <sub>IL</sub>	Maximum Low-Level Input Voltage	V <sub>out</sub> = 0.1 V  I <sub>out</sub>   ≤ 20 μA	2.0	0.5	0.5	0.5	V
			3.0	0.9	0.9	0.9	
			4.5	1.35	1.35	1.35	
			6.0	1.8	1.8	1.8	
V <sub>OH</sub>	Minimum High-Level Output Voltage	V <sub>in</sub> = V <sub>IH</sub>  I <sub>out</sub>   ≤ 20 μA	2.0	1.9	1.9	1.9	V
			4.5	4.4	4.4	4.4	
		6.0	5.9	5.9	5.9		
		V <sub>in</sub> = V <sub>IH</sub>  I <sub>out</sub>   ≤ 2.4 mA  I <sub>out</sub>   ≤ 6.0 mA  I <sub>out</sub>   ≤ 7.8 mA	3.0	2.48	2.34	2.2	
4.5	3.98	3.84	3.7				
6.0	5.48	5.34	5.2				
V <sub>OL</sub>	Maximum Low-Level Output Voltage	V <sub>in</sub> = V <sub>IL</sub>  I <sub>out</sub>   ≤ 20 μA	2.0	0.1	0.1	0.1	V
			4.5	0.1	0.1	0.1	
		6.0	0.1	0.1	0.1		
		V <sub>in</sub> = V <sub>IL</sub>  I <sub>out</sub>   ≤ 2.4 mA  I <sub>out</sub>   ≤ 6.0 mA  I <sub>out</sub>   ≤ 7.8 mA	3.0	0.26	0.33	0.4	
4.5	0.26	0.33	0.4				
6.0	0.26	0.33	0.4				
I <sub>in</sub>	Maximum Input Leakage Current	V <sub>in</sub> = V <sub>CC</sub> or GND	6.0	±0.1	±1.0	±1.0	μA
I <sub>oZ</sub>	Maximum Three-State Leakage Current	Output in High-Impedance State V <sub>in</sub> = V <sub>IL</sub> or V <sub>IH</sub> V <sub>out</sub> = V <sub>CC</sub> or GND	6.0	±0.5	±5.0	±10	μA
I <sub>CC</sub>	Maximum Quiescent Supply Current (per Package)	V <sub>in</sub> = V <sub>CC</sub> or GND I <sub>out</sub> = 0 μA	6.0	4.0	40	40	μA

6. Information on typical parametric values and high frequency or heavy load considerations can be found in the ON Semiconductor High-Speed CMOS Data Book (DL129/D).

# Sinais Digitais e Diagramas de Tempo

- O **diagrama de tempo** é um gráfico que mostra a tensão de um sinal digital em função do tempo.

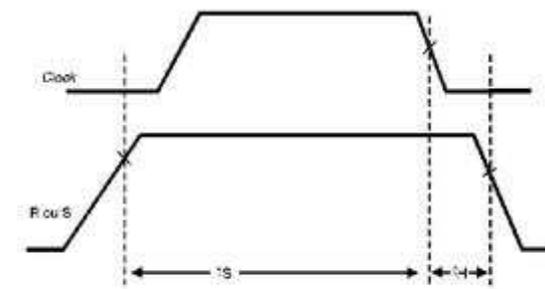
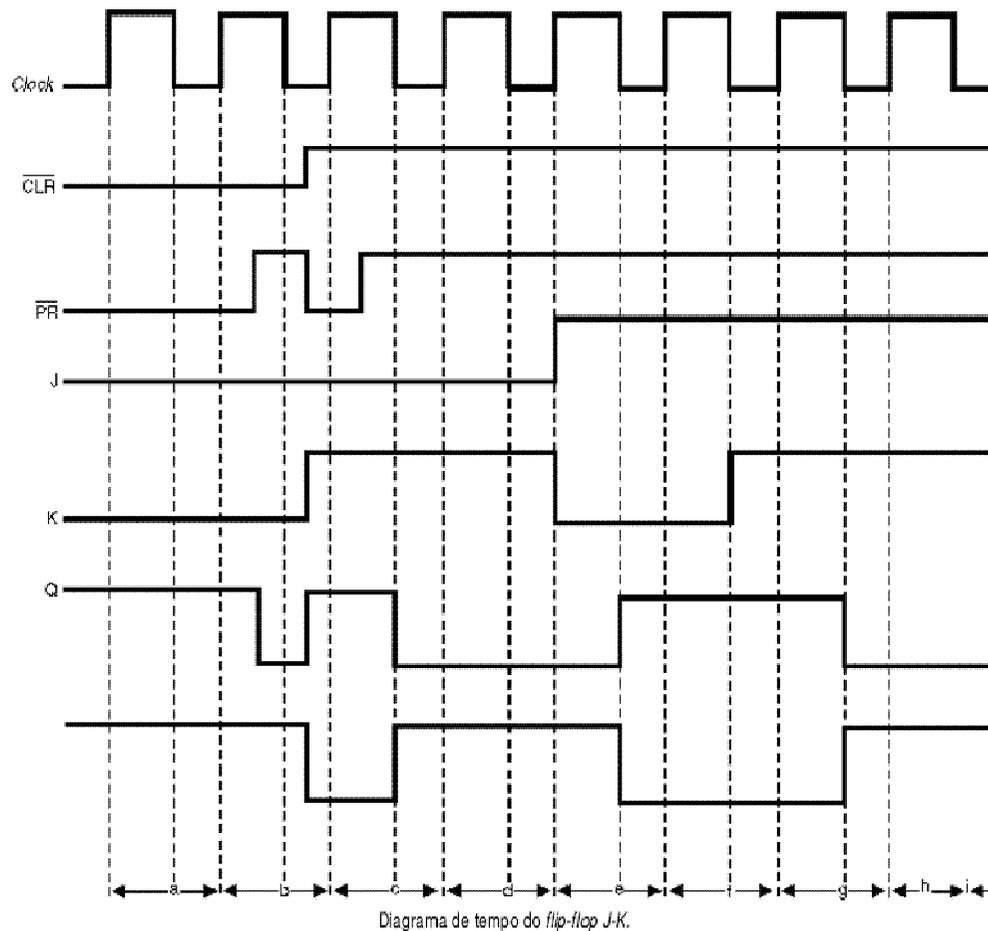
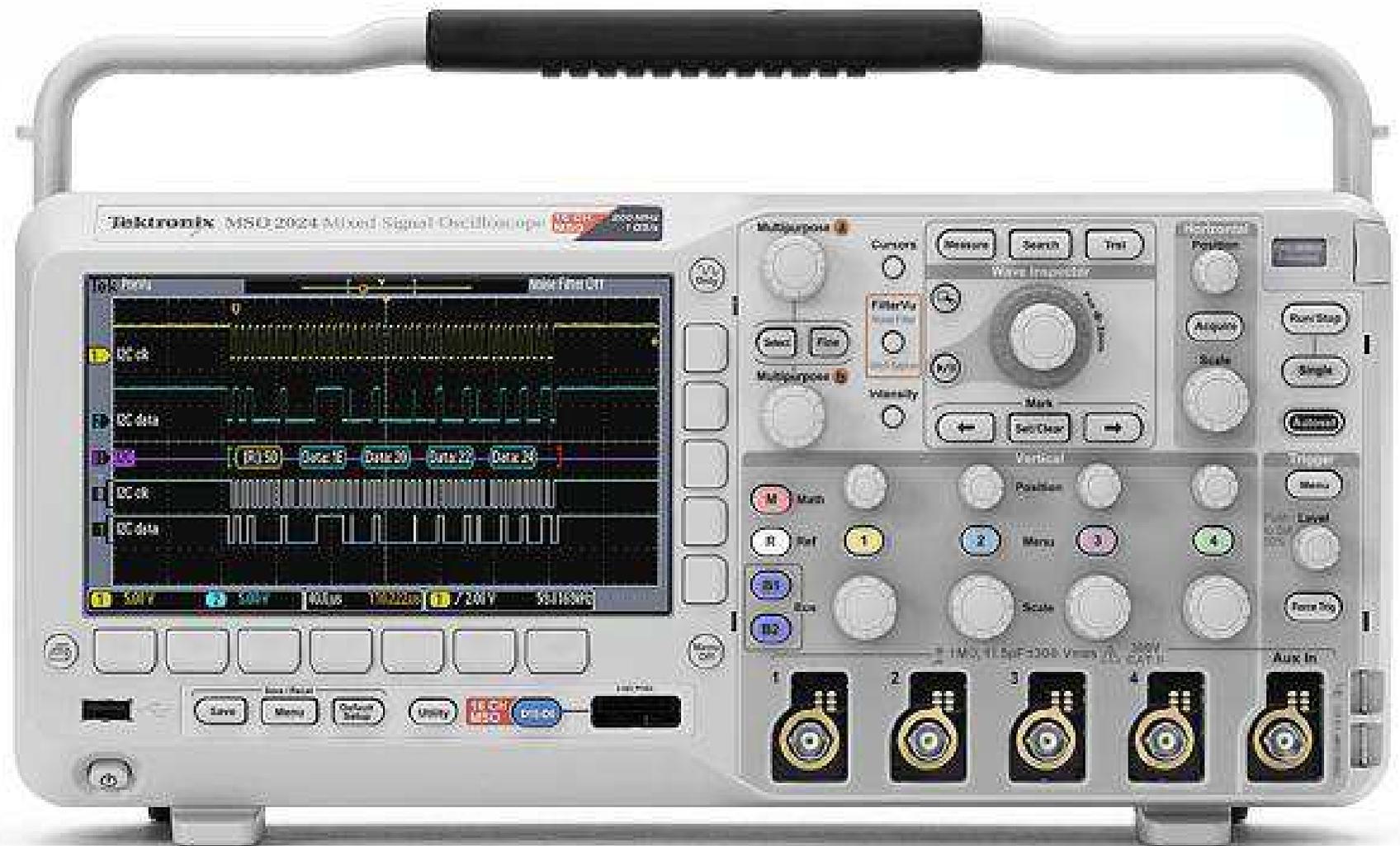


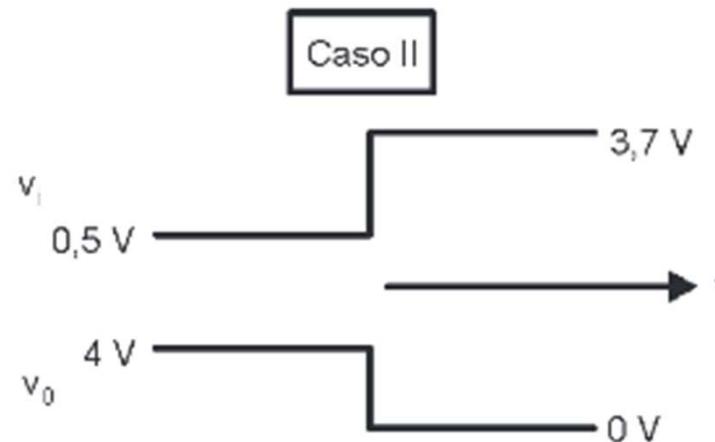
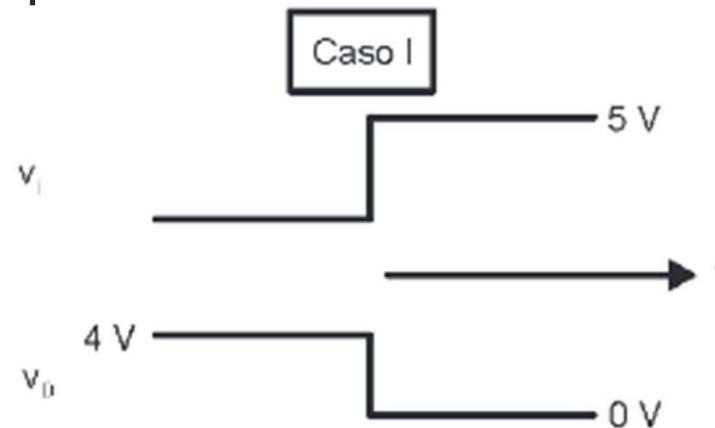
Figura 9 - Tempos no flip-flop R-S.

# Visualização de Diagramas de tempo: osciloscópio digital



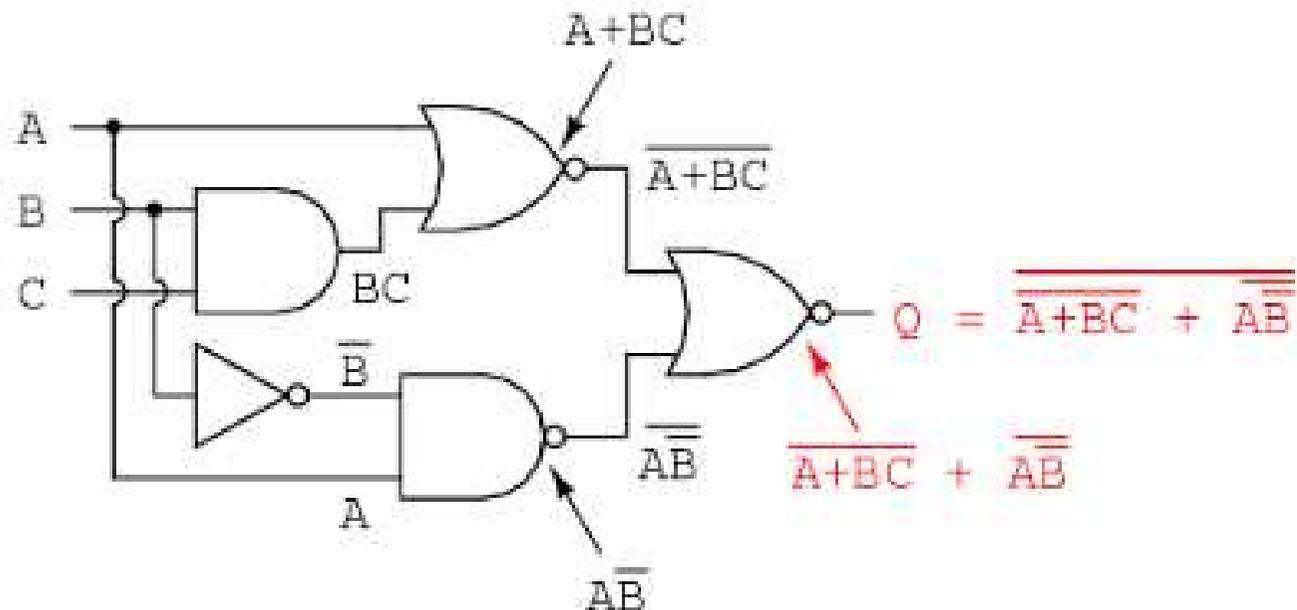
# Circuitos Digitais/Circuitos Lógicos

- Os circuitos digitais são projetados para produzir tensões de saída que se encontrem dentro das faixas de tensões para os níveis 0 e 1, e também para produzirem tensões de saída dentro do mesmo padrão



# Circuitos Lógicos

- O modo como um circuito digital responde a uma entrada é chamado **lógica do circuito**. Como cada circuito foi projetado com uma determinada lógica, os circuitos digitais são também chamados de **circuitos lógicos**.
- Exemplo simples de um circuito lógico combinacional:

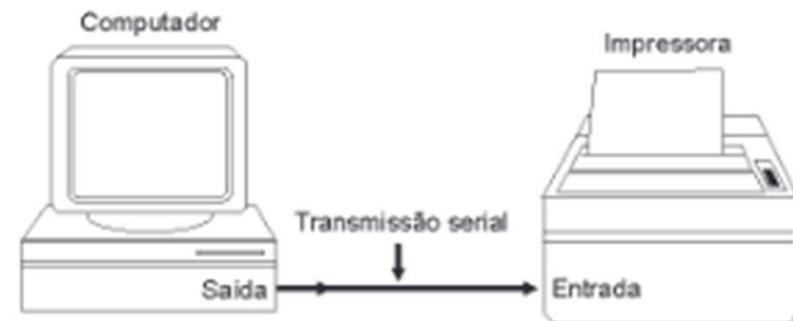
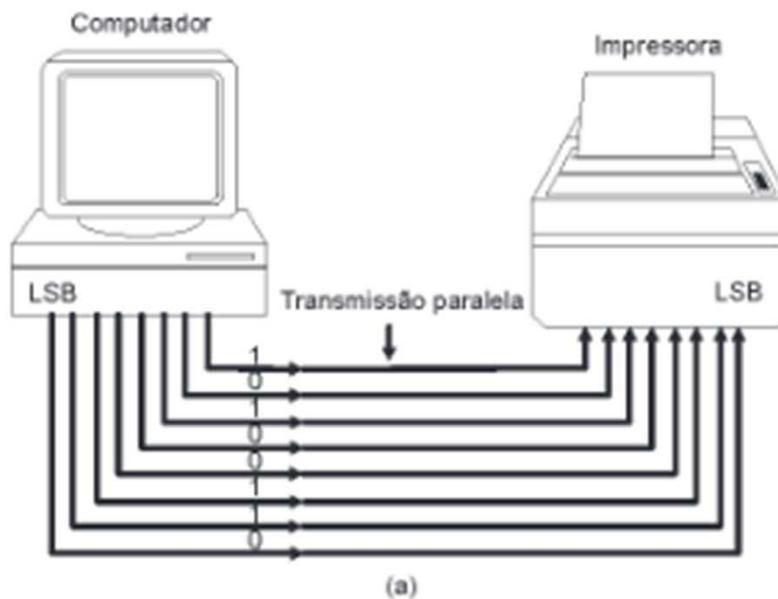


# Circuitos Integrados Digitais

- Todos os circuitos digitais usam circuitos integrados (Cis).
- As tecnologias de fabricação dos Cis mais comuns são: TTL, CMOS, NMOS e ECL
  - A TTL (Transistor-Transistor Logic) usa o transistor de junção bipolar (BJT) como seu principal elemento de circuito. O TTL padrão usa alimentação de 5V e muitas vezes quando se diz que um circuito é compatível com TTL, significa que ele trabalha com tensões de 5V.
  - CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductos) usa o MOSFET como seu principal elemento de circuito, que são os chamados transistores de efeito de campo. A vantagem do CMOS é que dissipa menos potência e pode trabalhar com níveis de tensão menores.
  - NMOS é similar ao CMOS, também usa MOSFETS mas usa semicondutor do tipo N
  - ECL tal como o TTL usa transistores BJT. Tem a vantagem de menores tempos de propagação
- Antes de estudar a fundo as características de cada tecnologia é preciso entendermos antes os tipos básicos de circuitos lógicos

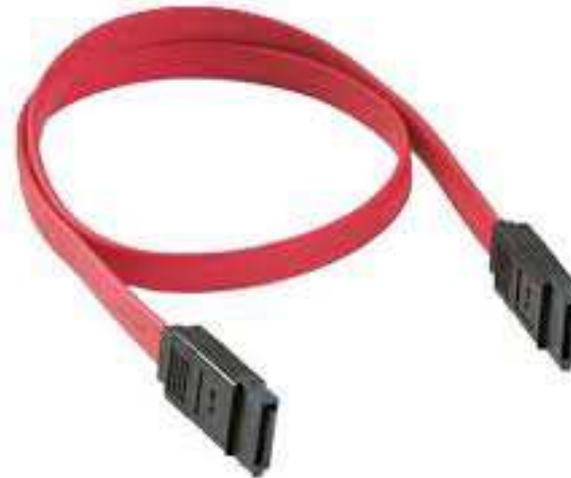
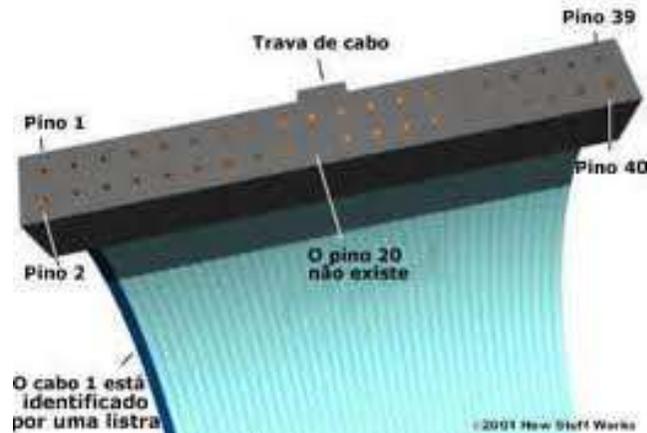
# Transmissão Paralela e Serial

- Uma das operações mais comuns que ocorre em circuitos digitais é a transmissão da informação de um lugar para o outro
- Teoricamente a transmissão paralela é mais rápida (porém na paralela existe o problema do *crosstalk* e existem casos em que a serial é mais rápida, como no caso SATA vs IDE)
- A serial é mais simples, requer menos conexões



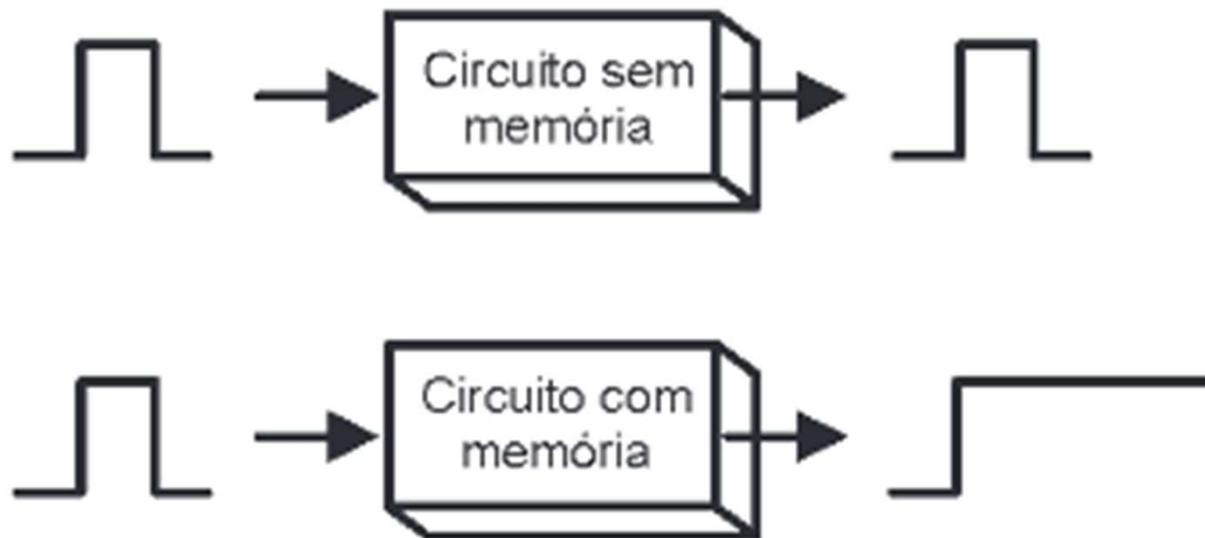
# Serial vs Paralelo

- Diferença dos cabos IDE e SATA



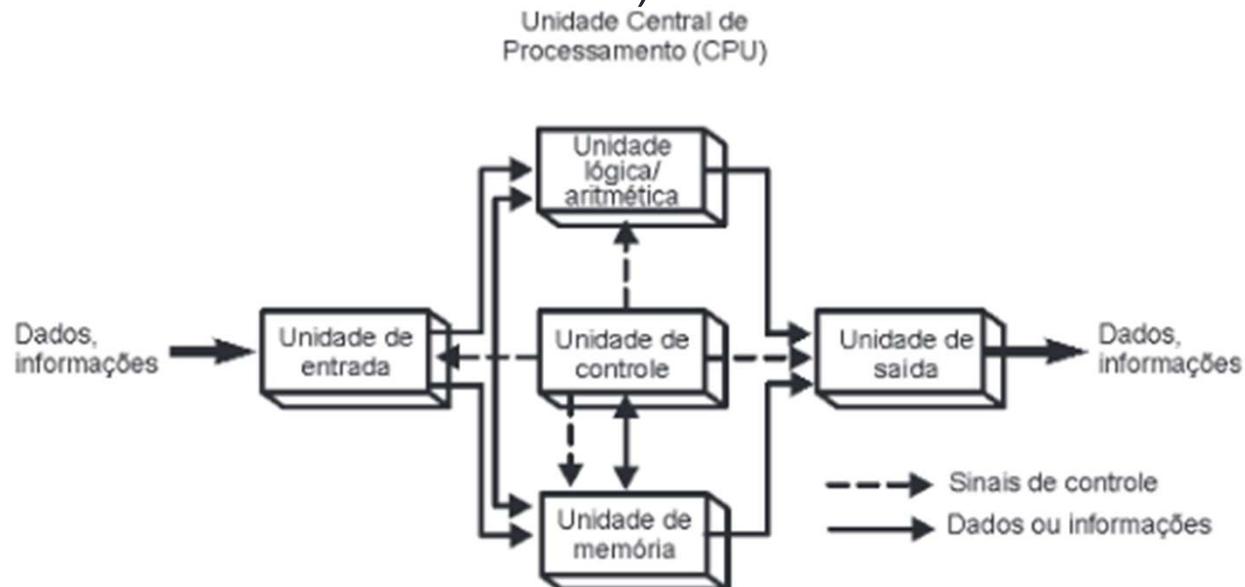
# Circuitos com Memória

- São implementados através de flip-flops
- São os chamados circuitos **sequenciais** que retêm um determinado estado ou conjunto de valores binários. Em contrapartida os circuitos **combinacionais** não retêm valores



# O Computador Digital

- Circuito digital cuja função lógica é programável. O programa é uma sequência de instruções executada pela unidade central de processamento que contém todo o circuito para a busca, interpretação e execução das instruções
- Dois chips muito utilizados são os microprocessadores e os microcontroladores. Os microcontroladores são usados para propósito específico (controle de um micro-ondas p. ex.) e já possuem internamente mecanismos para interface com o sistema físico, como conversores AD e DA)



# Circuito digital de uma CPU

