

Aula 17

Máquina de Estados Parte 1

SEL 0414 - Sistemas Digitais

Prof. Dr. Marcelo Andrade da Costa Vieira

Bibliografia

- Tocci, R. J.; Widmer, N. S. *Sistemas Digitais Princípios e Aplicações*. 8ª Ed., Prentice Hall, 2003.
- Taub, H. *Circuitos Digitais e Microprocessadores*. Mc.Graw-Hill, 1982.
- Nelson, V.P.; Nagle, H.T.; Carroll, B.D.; Irwin, J.D. – *Digital Logic Circuit Analysis & Design*, Prentice Hall, 1995.

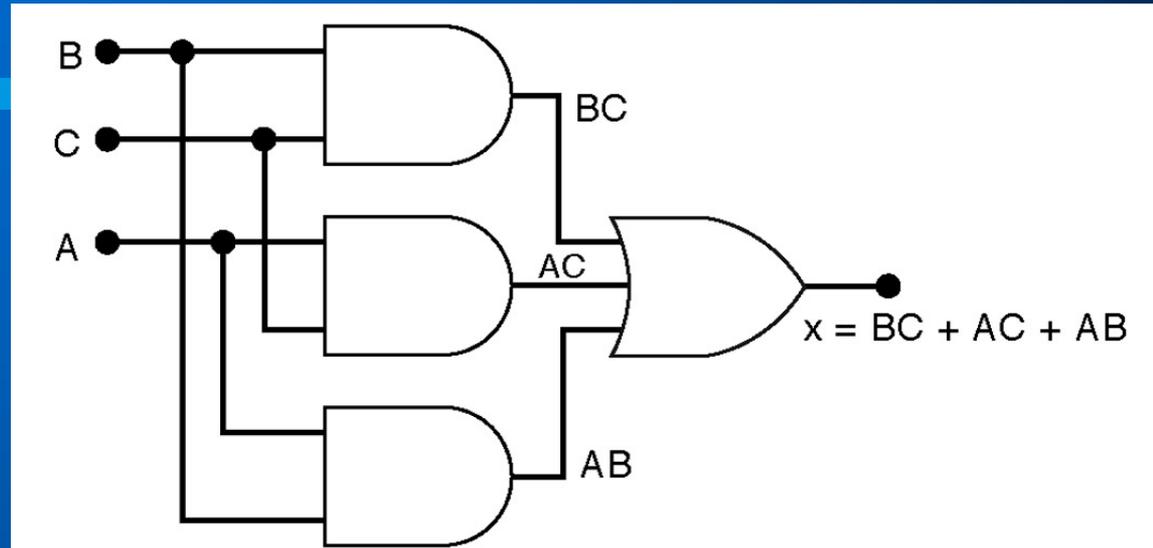
Combinacionais X Sequenciais

- **Circuitos Combinacionais:** o valor da saída no instante t depende apenas da combinação dos valores das entradas neste instante. Os estados anteriores não interessam.
- **Circuitos Sequenciais:** o valor da saída no instante t não depende apenas dos valores das entradas neste instante, mas também da sequência das entradas anteriores.

Combinacionais X Sequenciais

- Nem todos os projetos em sistemas digitais conseguem ser resolvidos utilizando circuitos combinacionais.
- Algumas vezes é necessário o conhecimento de um ou mais estados anteriores e também da sequência anterior para se calcular a saída do circuito.
- Exemplo: Contadores

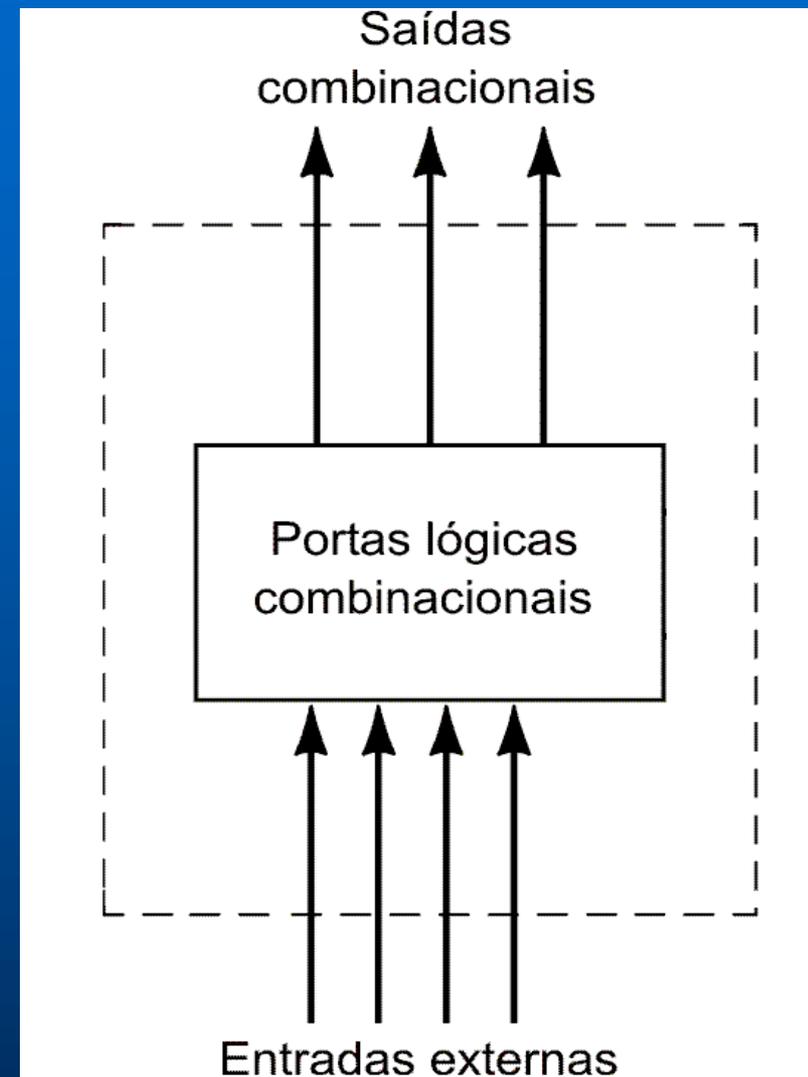
Circuitos Combinacionais



- Não há realimentação - não há memória;
- Tabela verdade – soma de produtos;
- Mapa de Karnaugh.

Circuitos Combinacionais

- Não há realimentação;
- Não há memória
- Ex:
 - Decodificador
 - Somador;
 - Multiplexador;
 - Portas lógicas.



Circuitos Sequenciais

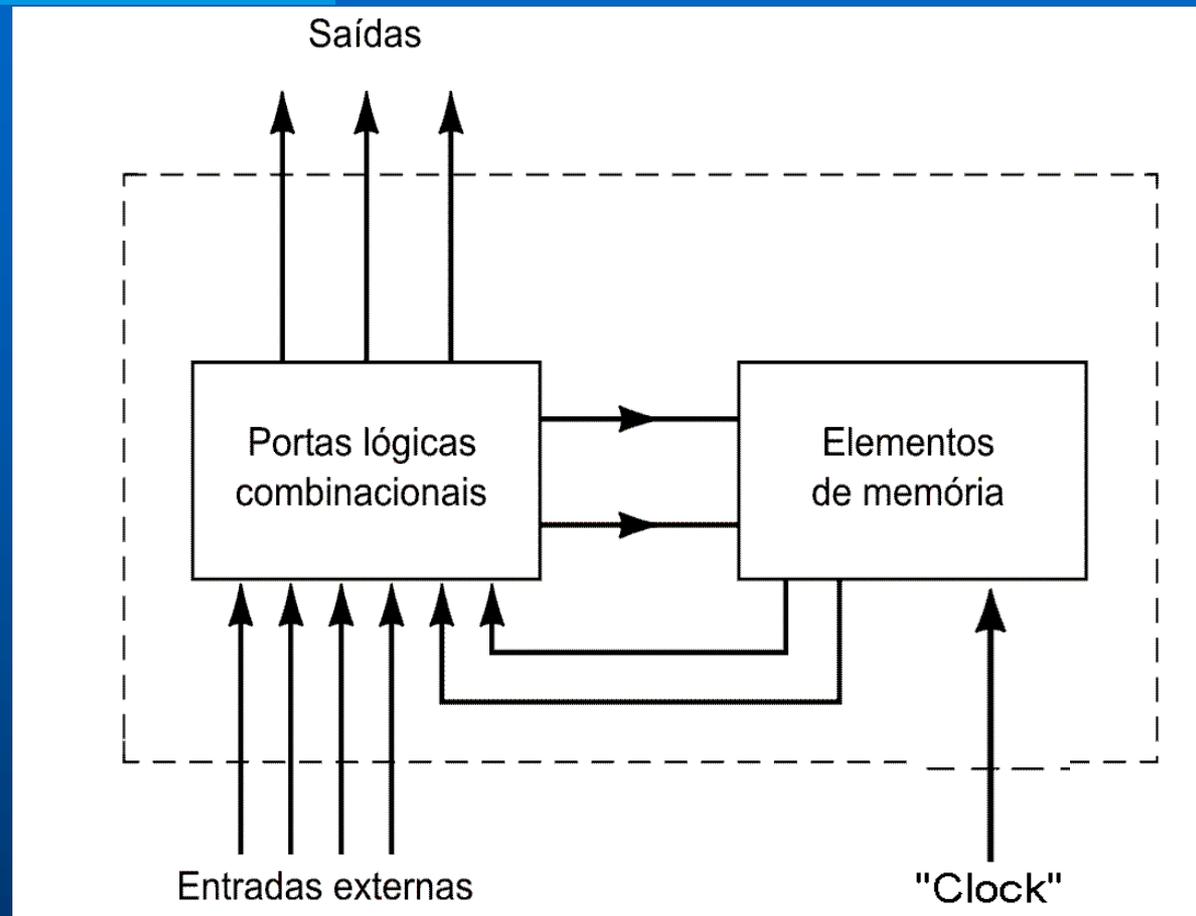
- Há realimentação;
- Elemento de Memória*;
- Dependem da “história” das entradas passadas.

**latch, flip-flop*

Circuitos Sequenciais

Circuito Combinacional + Elemento de Memória

- Memórias;
- Contadores;
- Registradores.



Estado

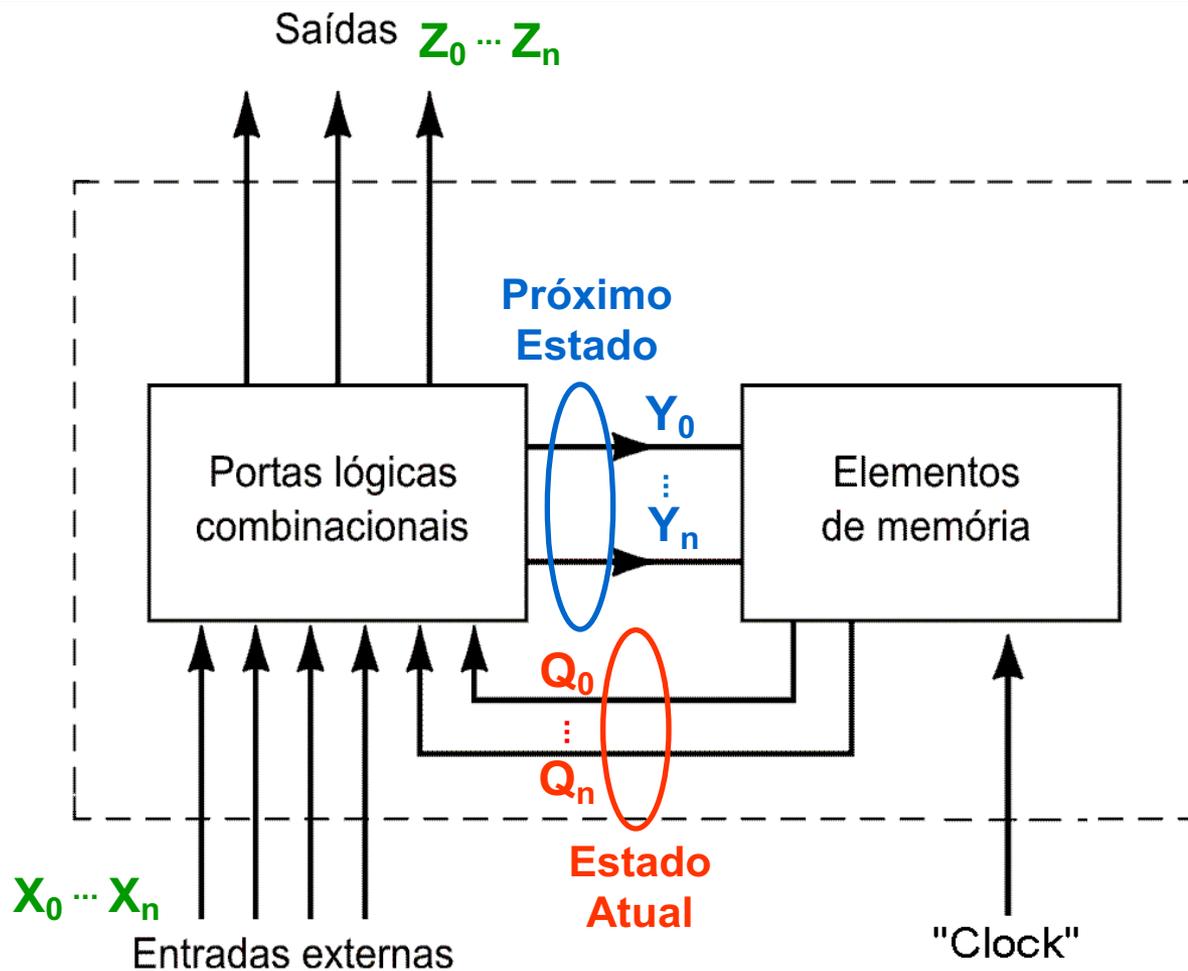
- Cada estágio através do qual o circuito sequencial avança;
- Em cada estado, o circuito armazena uma “recordação” de sua história passada, para saber o que fazer a seguir;
- Nem toda informação anterior é relevante
→ Nem todo estado precisa ser armazenado.

Composição de um Circuito Sequencial

- **Bloco de memória** → armazenar informações anteriores para definir o **estado presente**. Tem como entrada o **próximo estado**
- **Bloco combinatório** → definir qual é o **próximo estado** e a **saída externa**. Tem como entradas o **estado presente** e as **entradas externas**.

Circuitos Sequenciais

Circuito Combinatório + Elemento de Memória



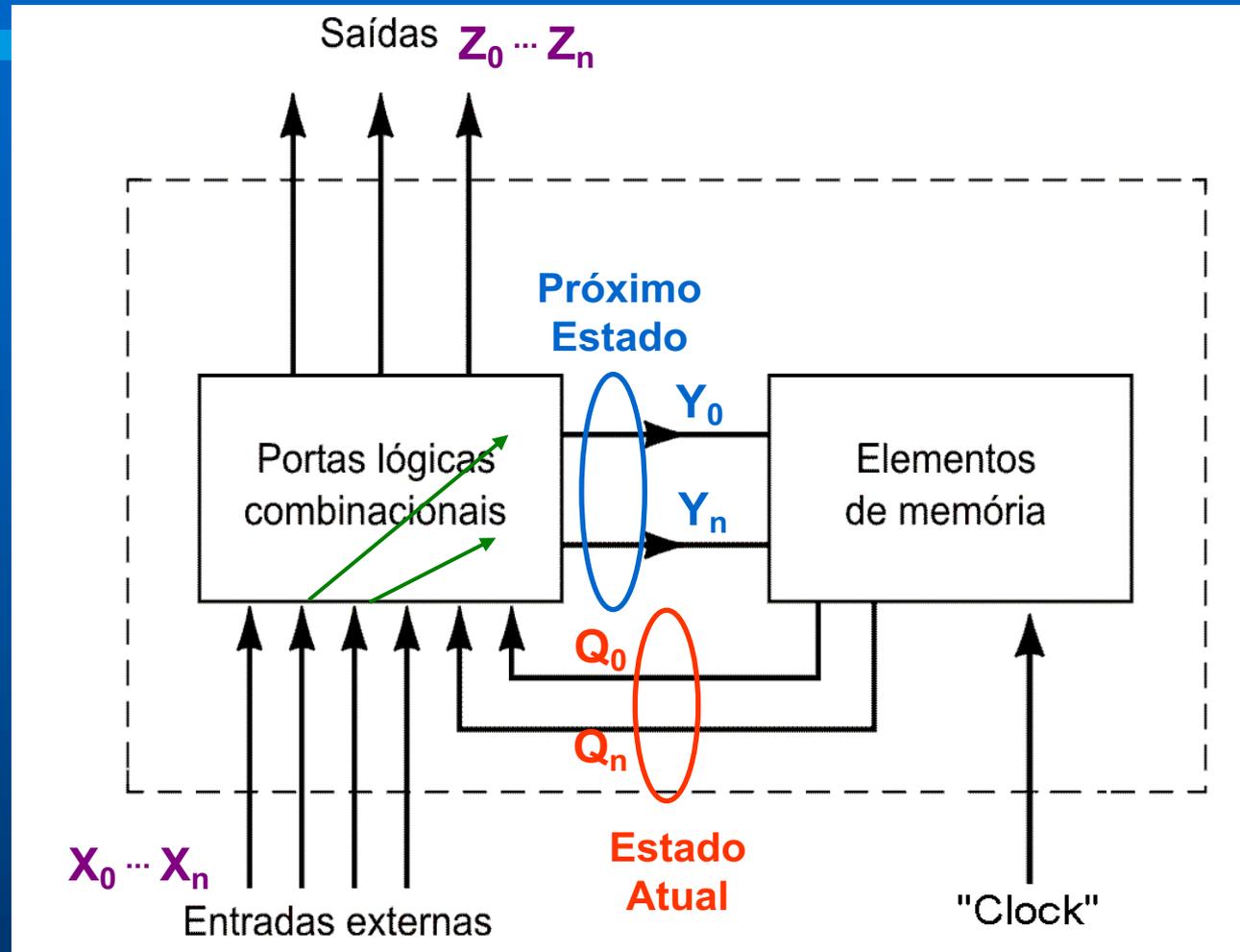
Modelos de Circuitos Sequenciais

Máquina de Moore
X
Máquina de Mealy

Modelos de Circuitos Sequenciais

Máquina de Moore

- As entradas **não** interferem diretamente na saída, somente nos estados futuros;
- As saídas dependem apenas do Estado Atual

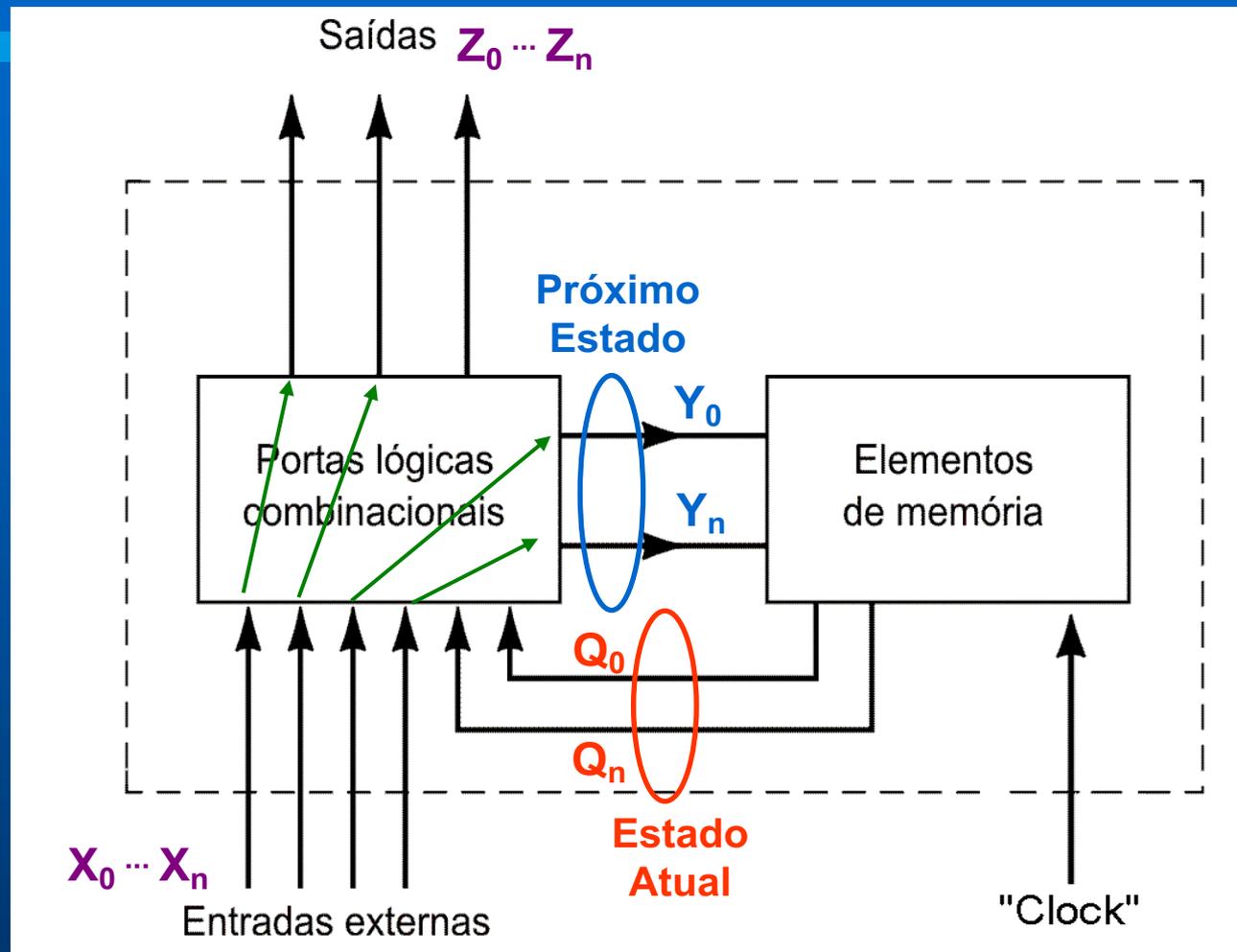


Modelos de Circuitos Sequenciais

Máquina de Mealy

- As entradas interferem nos estados futuros e também na saída;

- As saídas dependem da entrada e do Estado Presente



Moore e Mealy

- Máquinas de Moore:

- As saídas são função apenas do estado presente (não das entradas);
- As entradas só interferem no próximo estado;
- As saídas variam sincronamente;
- Resposta mais lenta ou inexistente à variações na entrada.

- Máquinas de Mealy:

- As saídas são função do estado presente e das entradas atuais;
- As entradas interferem no próximo estado e também na saída;
- As saídas variam assincronamente com as entradas;
- Resposta mais rápida à variações na entrada.

Diagrama de Estados

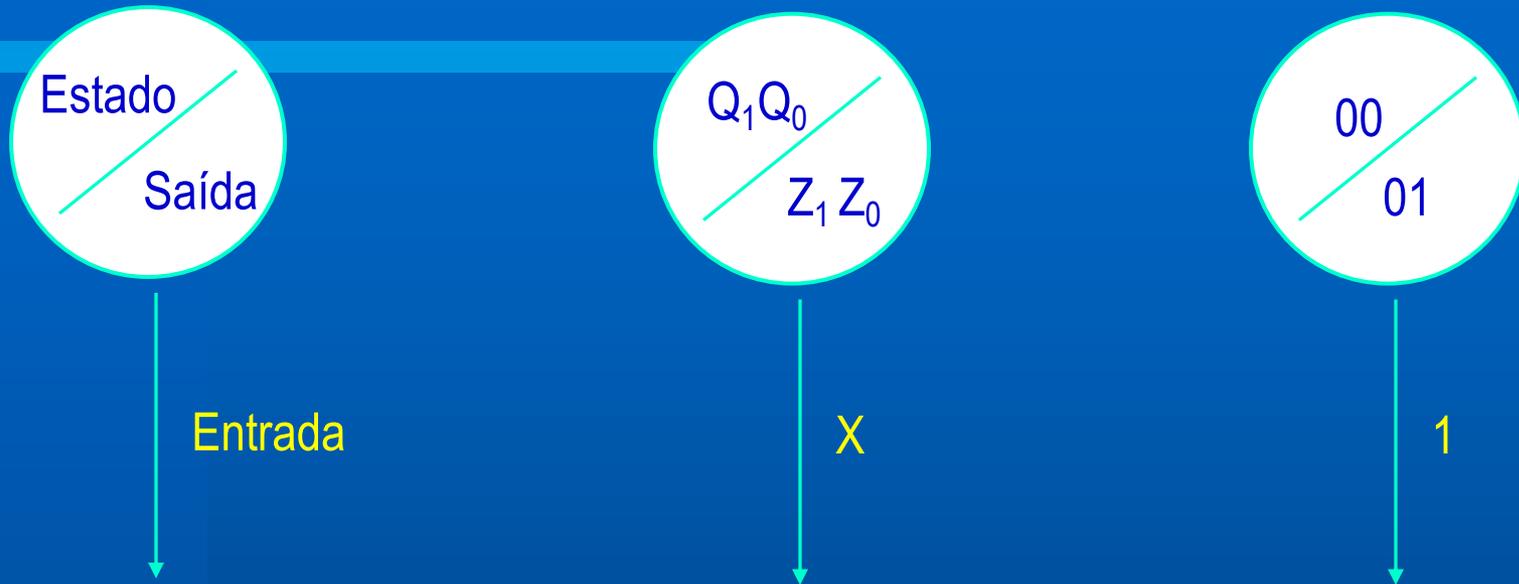
- O Diagrama de Estado ou Diagrama de Fluxo de Estado, é um **grafo** no qual cada **nó** representa um estado e cada **arco** representa uma transição de estados (fluxo);
- A cada pulso de clock, o fluxo avança um estado;

Diagrama de Estados

O diagrama de estados tem formatos diferentes para cada um dos modelos:

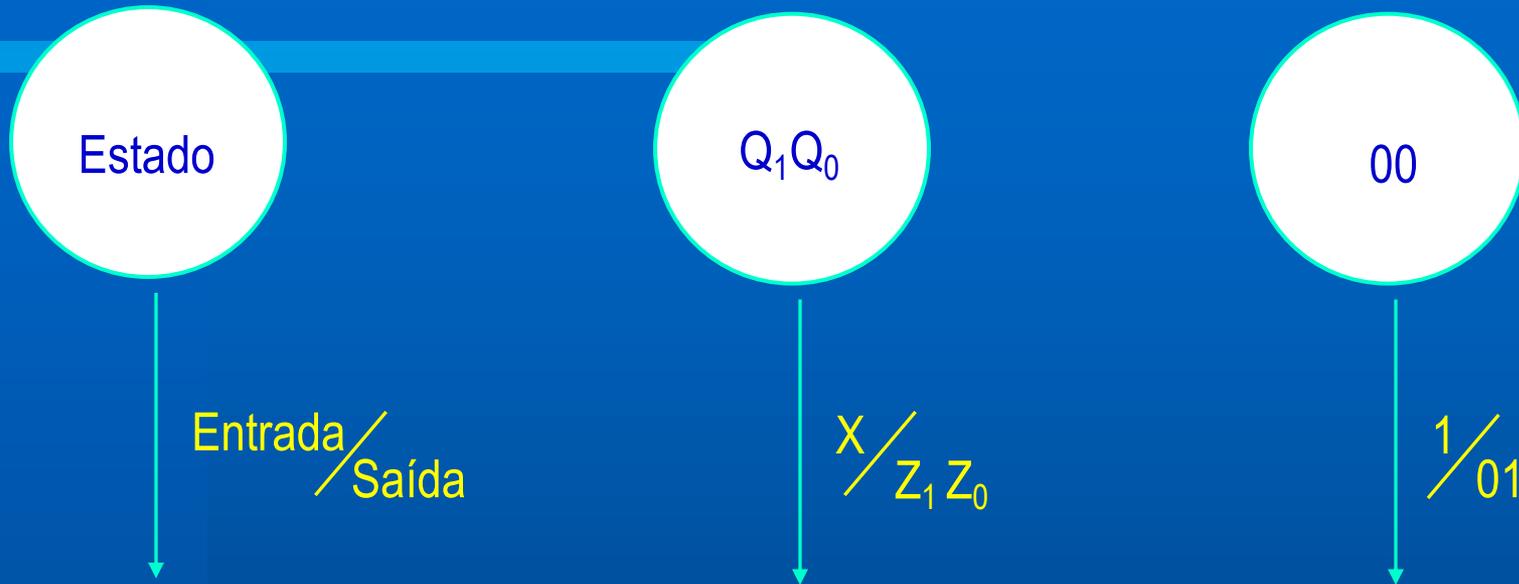
- Máquina de Moore
- Máquina de Mealy

Diagrama de Estados - Moore



- A saída depende exclusivamente do estado (Máquina de Moore);
- A entrada só interfere no próximo estado.

Diagrama de Estados - Mealy



- A saída depende do estado presente e da entrada (Máquina de Mealy);
- A entrada interfere no próximo estado e na saída.

Moore ou Mealy?

- Em geral, a versão Mealy de um circuito sequencial será mais econômica de componentes físicos (*hardware*) do que a versão Moore;
- Como a saída depende da entrada, mudanças na entrada durante o ciclo de “clock” podem afetar a saída imediatamente (perda de sincronismo);
- Isso não ocorre na versão Moore, pois alterações na saída e no estado só ocorrem na transição do “clock” (melhor sincronismo)

Exemplo de Projeto de Circuito Sequencial

Exemplo

- Observar uma fileira de 3 lâmpadas;
- As lâmpadas só acendem uma de cada vez;
- Se as lâmpadas acenderem na sequência 1 – 2 – 3, deve-se soar um alarme.



1



2



3

ALARME !

Exemplo

- A sequência deve ser analisada.
- Se a condição 1-2-3 não for observada, despreza-se até a lâmpada 1 acender novamente;
- Exemplo: sequência: 1 2 2 1 3 2 1 2



1



2



3

Exemplo

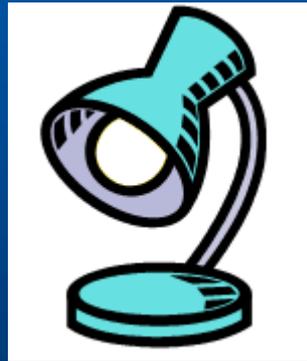
- Quantas Entradas? **4**

- 00 – nenhuma lâmpada acende
- 01 – lâmpada 1 acende
- 10 – lâmpada 2 acende
- 11 – lâmpada 3 acende

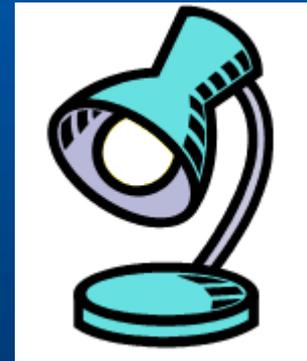
2 bits



1



2



3

Exemplo

- Quantas Saídas? **2**

- 0 – nenhum alarme toca
- 1 – alarme toca

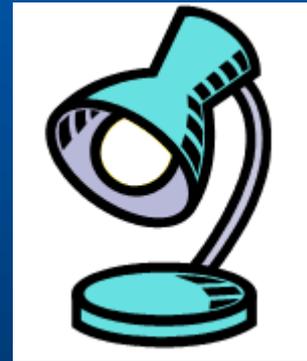
1 bit



1



2

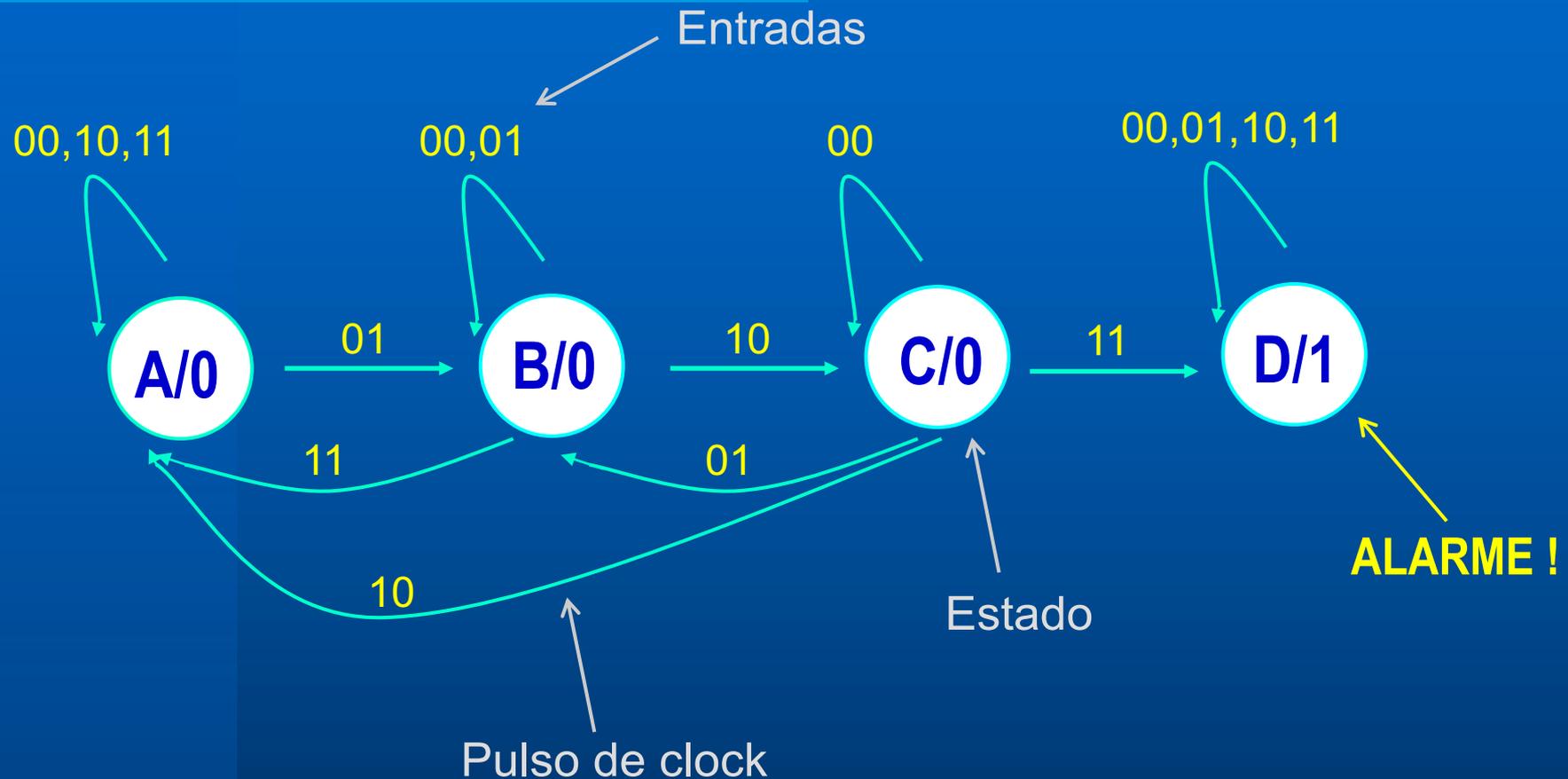


3

Diagrama de Estados

Máquina de Moore

Diagrama de Estados - Moore



Exemplo de Projeto de Circuito Sequencial

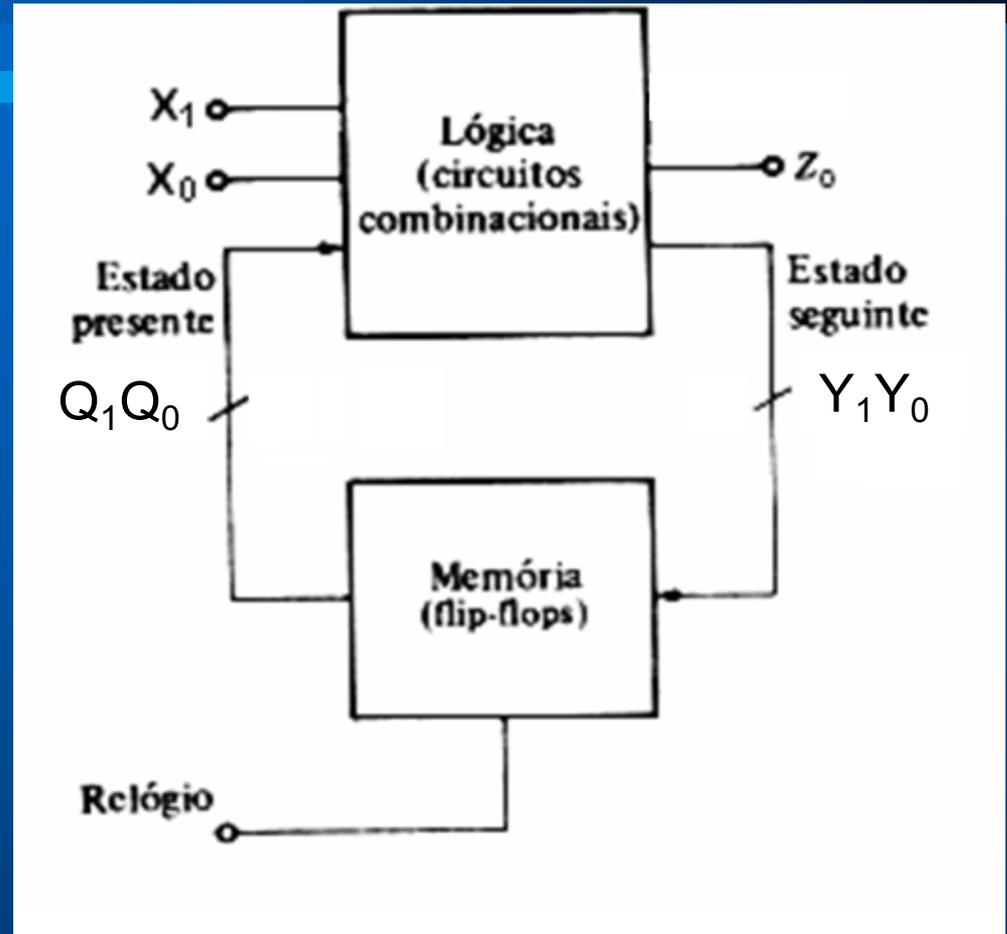
Máquina de Moore

Atribuição de Estados

Formas de Representação

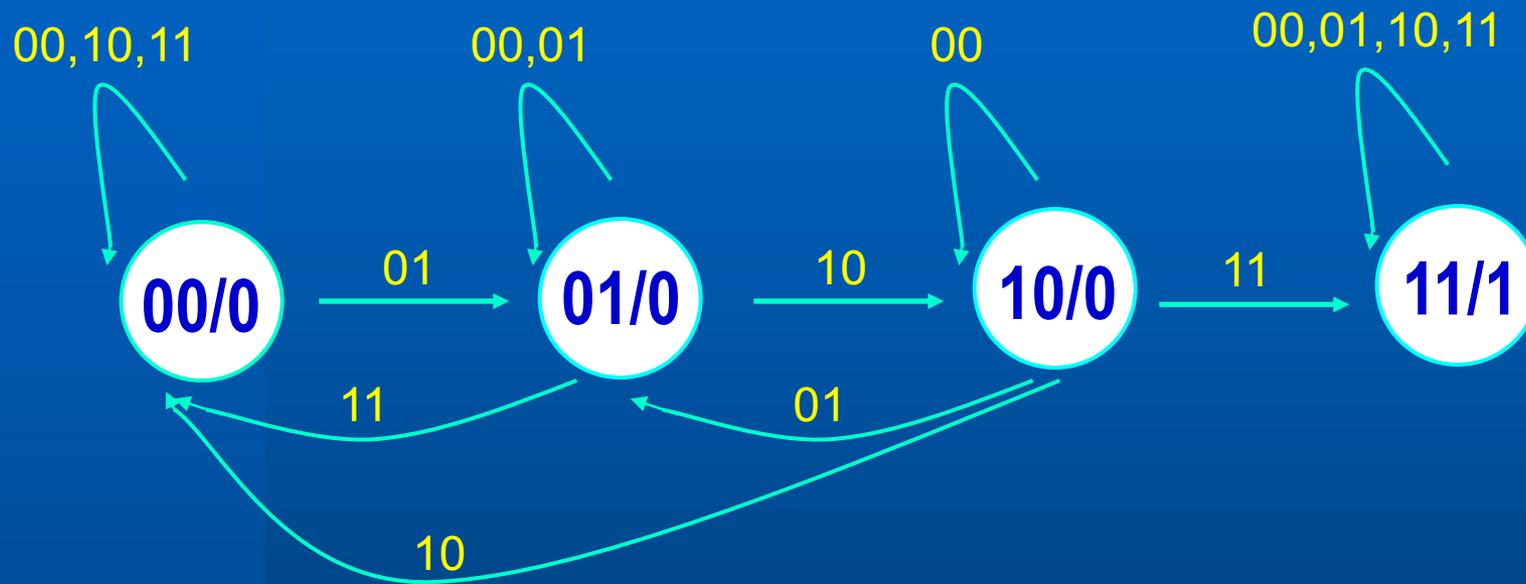
Tabela de Atribuição de Estados

| Estado | Flip-Flop Q_1Q_0 |
|--------|-----------------------|
| A | 0 0 |
| B | 0 1 |
| C | 1 0 |
| D | 1 1 |



Saídas dos Flips-Flops (Q) = Estado Presente (y) = Saída (Z)

Diagrama de Estados Final



Síntese do Circuito Sequencial

- A partir do diagrama de estados, escreve-se a Tabela de Transição de estados e a Tabela de Saída.
- A partir dessa Tabela, projeta-se o circuito sequencial escolhendo qual o tipo de FF que será utilizado (RS, JK, D ou T)
- Circuito combinatório: portas lógicas;
- Circuito de memória: Flip-Flops;

Síntese do circuito sequencial

Máquina de Moore

Circuito Sequencial - Lâmpadas

- 2 entradas (X_1, X_0)
- 1 Saída (Z_0)
- 2 Flip-Flops (Q_1, Q_0)

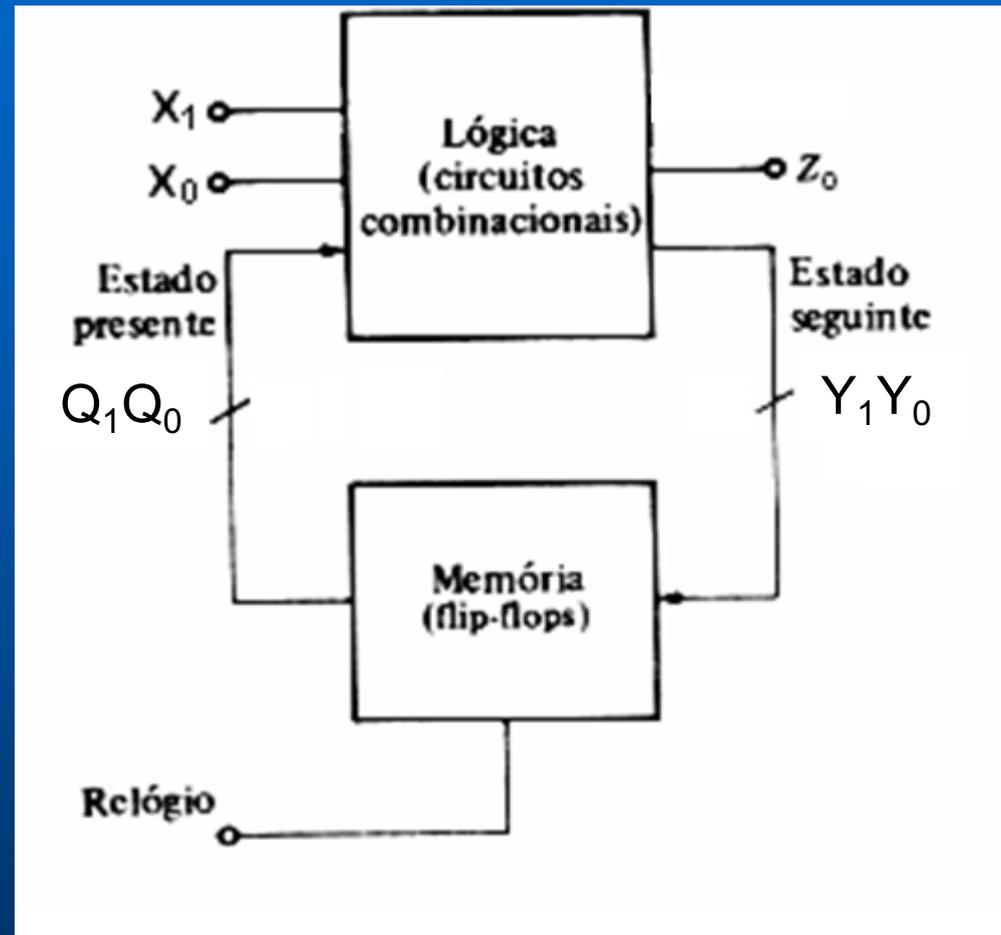


Tabela de Transição de Estados

| Estado Atual $Q_1 Q_0$ | Entrada $X_1 X_0$ | Próximo Estado $Y_1 Y_0$ |
|---------------------------|----------------------|-----------------------------|
| 00 | 00 | 00 |
| 00 | 01 | 01 |
| 00 | 10 | 00 |
| 00 | 11 | 00 |
| 01 | 00 | 01 |
| 01 | 01 | 01 |
| 01 | 10 | 10 |
| 01 | 11 | 00 |
| 10 | 00 | 10 |
| 10 | 01 | 01 |
| 10 | 10 | 00 |
| 10 | 11 | 11 |
| 11 | 00 | 11 |
| 11 | 01 | 11 |
| 11 | 10 | 11 |
| 11 | 11 | 11 |

Escolha do Flip-Flop

Transição de estados para FF RS

| S | R | Q |
|----------|----------|----------|
| 0 | 0 | Q_0 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | * |

| Transição $Q_n \rightarrow Q_{n+1}$ | Entradas S R |
|---|--------------------------------------|
| 0 \rightarrow 0 | |
| 0 \rightarrow 1 | |
| 1 \rightarrow 0 | |
| 1 \rightarrow 1 | |

Transição de estados para FF RS

| S | R | Q |
|----------|----------|----------|
| 0 | 0 | Q_0 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | * |

| Transição $Q_n \rightarrow Q_{n+1}$ | Entradas S R |
|---|--------------------------------------|
| 0 \rightarrow 0 | 0 X |
| 0 \rightarrow 1 | 1 0 |
| 1 \rightarrow 0 | 0 1 |
| 1 \rightarrow 1 | X 0 |

Transição de estados para FF JK

| J | K | Q |
|----------|----------|------------------|
| 0 | 0 | Q_0 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | $\overline{Q_0}$ |

| Transição $Q_n \rightarrow Q_{n+1}$ | Entradas J K |
|---|--------------------------------------|
| 0 \rightarrow 0 | |
| 0 \rightarrow 1 | |
| 1 \rightarrow 0 | |
| 1 \rightarrow 1 | |

Transição de estados para FF JK

| J | K | Q |
|----------|----------|------------------|
| 0 | 0 | Q_0 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | $\overline{Q_0}$ |

| Transição $Q_n \rightarrow Q_{n+1}$ | Entradas J K | |
|---|--------------------------------------|---|
| 0 \rightarrow 0 | 0 | X |
| 0 \rightarrow 1 | 1 | X |
| 1 \rightarrow 0 | X | 1 |
| 1 \rightarrow 1 | X | 0 |

Transição de estados para FF Tipo D

| D | Q |
|---|---|
| 0 | 0 |
| 1 | 1 |

| Transição $Q_n \rightarrow Q_{n+1}$ | D |
|--|---|
| 0 \rightarrow 0 | |
| 0 \rightarrow 1 | |
| 1 \rightarrow 0 | |
| 1 \rightarrow 1 | |

Transição de estados para FF Tipo D

| D | Q |
|----------|----------|
| 0 | 0 |
| 1 | 1 |

| Transição $Q_n \rightarrow Q_{n+1}$ | D |
|---|----------|
| 0 \rightarrow 0 | 0 |
| 0 \rightarrow 1 | 1 |
| 1 \rightarrow 0 | 0 |
| 1 \rightarrow 1 | 1 |

Transição de estados para FF Tipo I

| T | Q |
|----------|------------------|
| 0 | Q_0 |
| 1 | $\overline{Q_0}$ |

| Transição $Q_n \rightarrow Q_{n+1}$ | T |
|---|----------|
| 0 \rightarrow 0 | |
| 0 \rightarrow 1 | |
| 1 \rightarrow 0 | |
| 1 \rightarrow 1 | |

Transição de estados para FF Tipo I

| T | Q |
|----------|------------------|
| 0 | Q_0 |
| 1 | $\overline{Q_0}$ |

| Transição $Q_n \rightarrow Q_{n+1}$ | T |
|---|----------|
| 0 \rightarrow 0 | 0 |
| 0 \rightarrow 1 | 1 |
| 1 \rightarrow 0 | 1 |
| 1 \rightarrow 1 | 0 |

| Estado Atual $Q_1 Q_0$ | Entrada $X_1 X_0$ | Próximo Estado $Y_1 Y_0$ | Flip-Flop Tipo D $D_1 D_0$ |
|---------------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 00 | 00 | 00 | |
| 00 | 01 | 01 | |
| 00 | 10 | 00 | |
| 00 | 11 | 00 | |
| 01 | 00 | 01 | |
| 01 | 01 | 01 | |
| 01 | 10 | 10 | |
| 01 | 11 | 00 | |
| 10 | 00 | 10 | |
| 10 | 01 | 01 | |
| 10 | 10 | 00 | |
| 10 | 11 | 11 | |
| 11 | 00 | 11 | |
| 11 | 01 | 11 | |
| 11 | 10 | 11 | |
| 11 | 11 | 11 | |

| Estado Atual Q ₁ Q ₀ | Entrada X ₁ X ₀ | Próximo Estado Y ₁ Y ₀ | Flip-Flop Tipo D D ₁ D ₀ |
|---|--|---|---|
| 00 | 00 | 00 | 0 0 |
| 00 | 01 | 01 | 0 1 |
| 00 | 10 | 00 | 0 0 |
| 00 | 11 | 00 | 0 0 |
| 01 | 00 | 01 | 0 1 |
| 01 | 01 | 01 | 0 1 |
| 01 | 10 | 10 | 1 0 |
| 01 | 11 | 00 | 0 0 |
| 10 | 00 | 10 | 1 0 |
| 10 | 01 | 01 | 0 1 |
| 10 | 10 | 00 | 0 0 |
| 10 | 11 | 11 | 1 1 |
| 11 | 00 | 11 | 1 1 |
| 11 | 01 | 11 | 1 1 |
| 11 | 10 | 11 | 1 1 |
| 11 | 11 | 11 | 1 1 |

Mapas de Karnaugh

Flip-Flop D_1

| $Q_1Q_0 \backslash X_1X_0$ | 00 | 01 | 11 | 10 |
|----------------------------|----|----|----|----|
| 00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 01 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 11 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 10 | 1 | 0 | 1 | 0 |

$$D_1 = Q_1Q_0 + \bar{X}_1\bar{X}_0Q_1 + X_1X_0Q_1 + X_1\bar{X}_0Q_0$$

Flip-Flop D_0

| $Q_1Q_0 \backslash X_1X_0$ | 00 | 01 | 11 | 10 |
|----------------------------|----|----|----|----|
| 00 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 01 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 11 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 10 | 0 | 1 | 1 | 0 |

$$D_0 = Q_1Q_0 + \bar{X}_1X_0 + X_0Q_1 + \bar{X}_1Q_0$$

Tabela de Saída

Máquina de Moore

- A **Saída** nunca depende do próximo estado
- A **Saída** não depende da entrada (máquina de Moore)
- A **Saída** só depende do estado atual

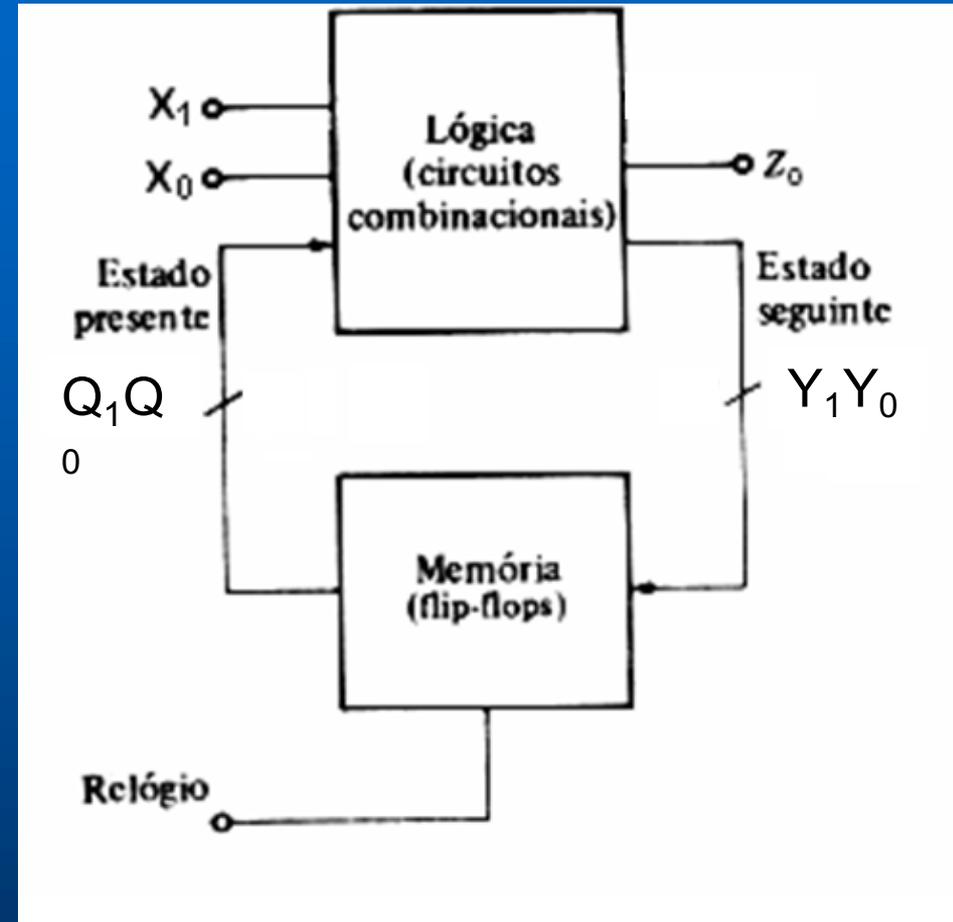


Tabela de Saída

| Estado Atual Q_1Q_0 | Saída Z_0 |
|--------------------------|----------------|
| 00 | 0 |
| 01 | 0 |
| 10 | 0 |
| 11 | 1 |

Saída Z_0

| | | Z_0 | |
|-------|---|-------|---|
| | | 0 | 1 |
| Q_1 | 0 | 0 | 0 |
| | 1 | 0 | 1 |

$$Z_0 = Q_1 Q_0$$

- Máquina de MOORE:

- a saída depende exclusivamente do estado presente;
- a entrada não interfere na saída;

Circuito Sequencial: Máquina de Moore

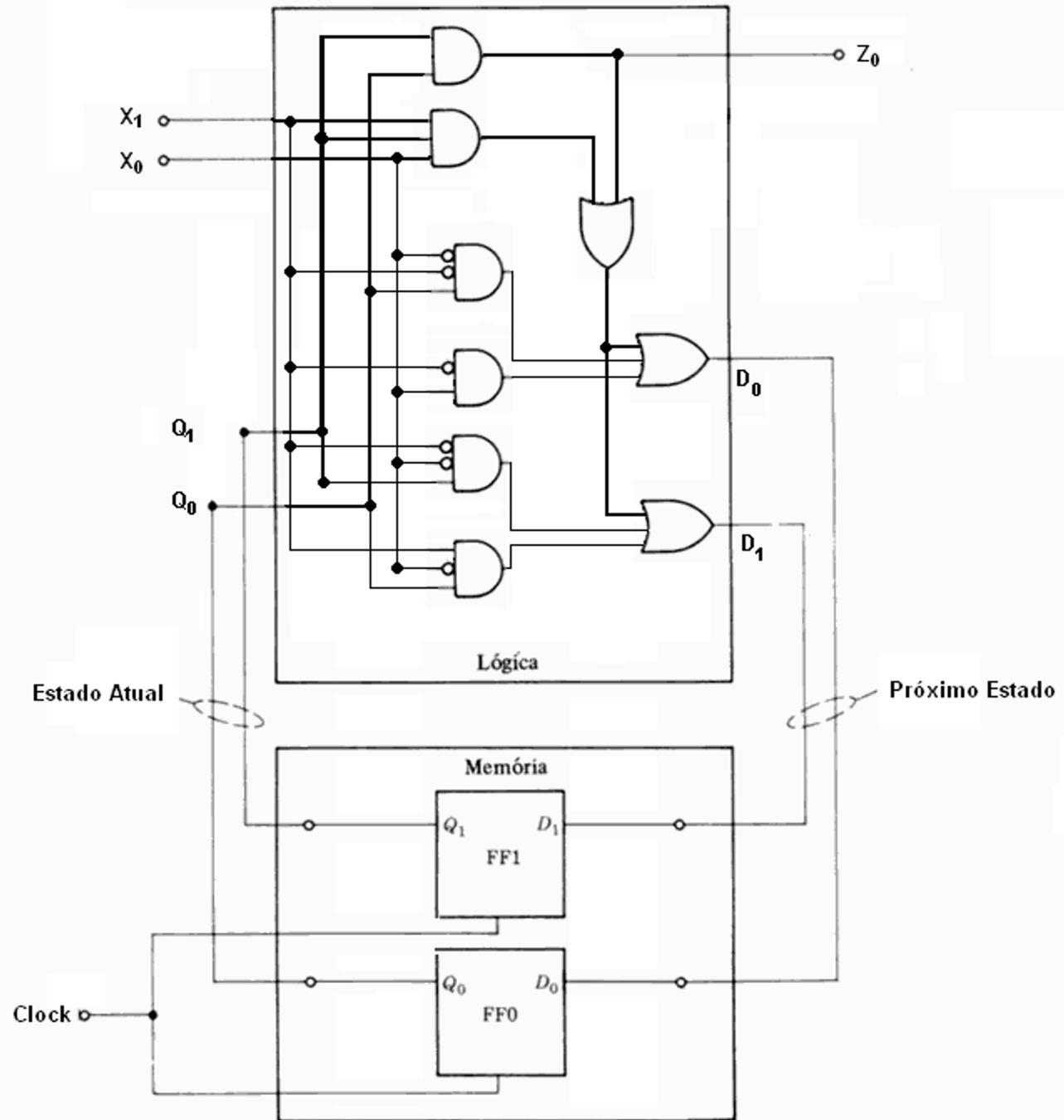
$$D_1 = Q_1 Q_0 + \bar{X}_1 \bar{X}_0 Q_1 + X_1 X_0 Q_1 + X_1 \bar{X}_0 Q_0$$

$$D_0 = Q_1 Q_0 + \bar{X}_1 X_0 + X_0 Q_1 + \bar{X}_1 Q_0$$

$$Z_0 = Q_1 Q_0$$

Circuito Sequencial:

Máquina de Moore



FIM