



# Máquinas de Moore e Mealy

Sistemas Digitais 2016/2017

Pedro Salgueiro  
pds@di.uevora.pt



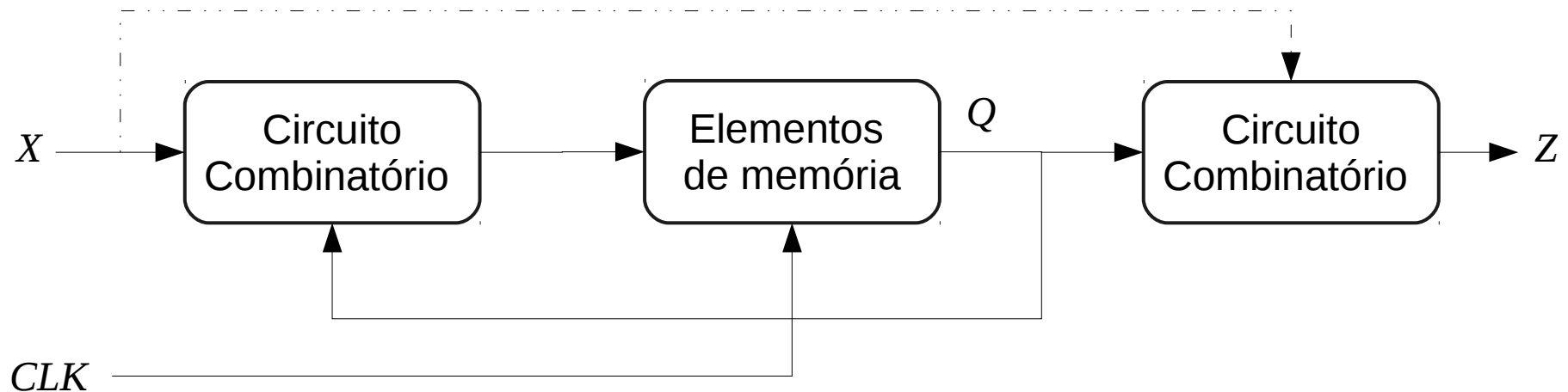
## Sumário

- Máquinas de estados
- Máquinas de Moore
- Máquinas de Mealy
- Exemplos



## Máquinas de estado

- As saídas são determinadas em função
  - Do estado actual
  - Opcionalmente
    - Dos valores lógicos presentes nas entradas





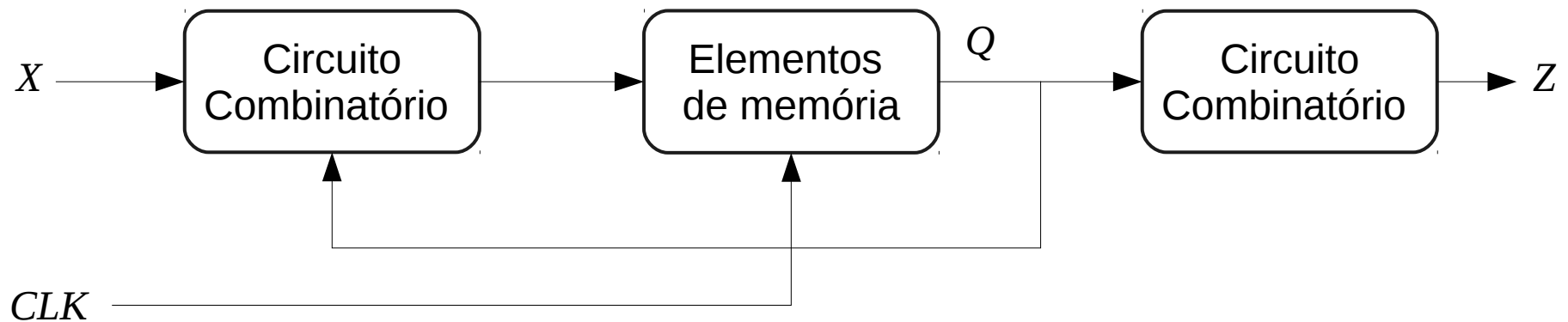
## Máquinas de estados

---

- Máquinas de Moore
  - Saídas dependem unicamente do estado actual
- Máquinas de Mealy
  - Saídas dependem:
    - Estado actual
    - **e das** entradas

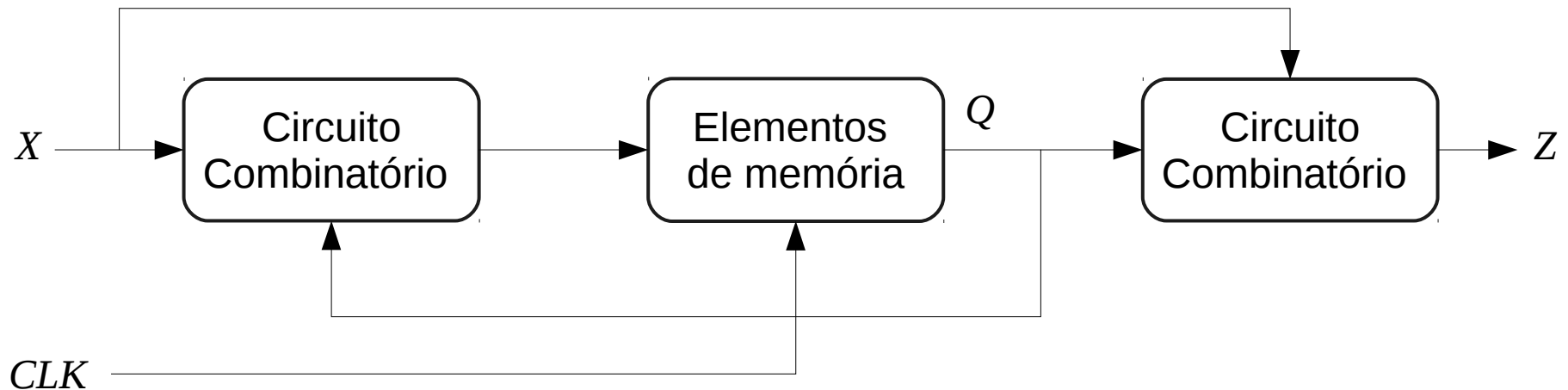


## Máquina de Moore





## Máquina de Mealy



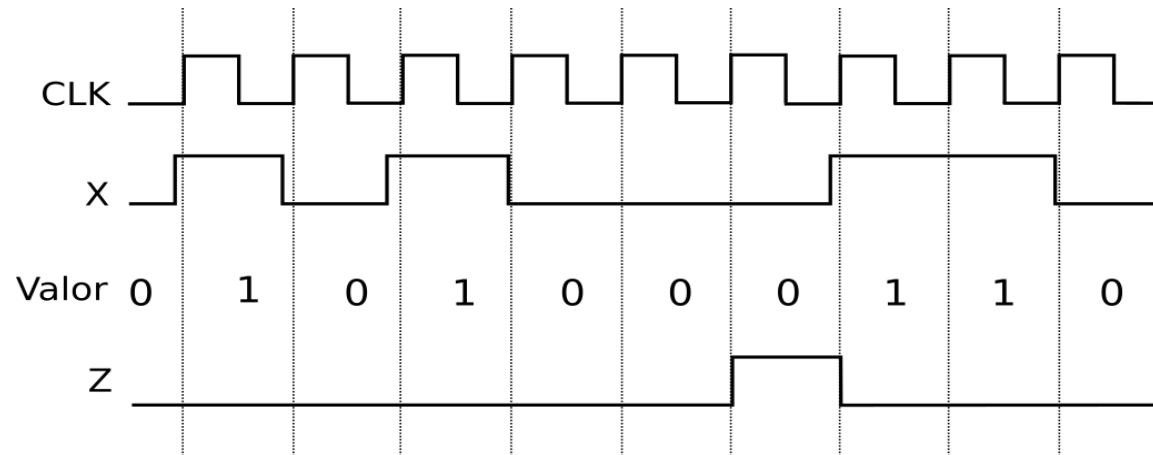


## Exemplo

Pretende-se construir um circuito detector da sequência **000**. O circuito tem apenas uma entrada X e uma saída Z que deverá estar activa durante um ciclo de relógio em resposta à detecção da sequência correcta.

- Visualização

- Formas de onda



- Sequência de bits

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| X | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Z | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |



## Exemplo

Pretende-se construir um circuito detector da sequência 000. O circuito tem apenas uma entrada  $X$  e uma saída  $Z$  que deverá estar activa durante um ciclo de relógio em resposta à detecção da sequência correcta.

- Síntese do circuito
  - 1) N° de estados
    - 4
      - Fora de sequência
      - 1 para cada zero detectado
  - 2) Diagrama de estados
    - Escolher a situação inicial ( $X=1$  ou  $X=0$ )
    - Desenhar a situação que satisfaz o problema ( $Z=1$ )
    - Completar com as restantes situações





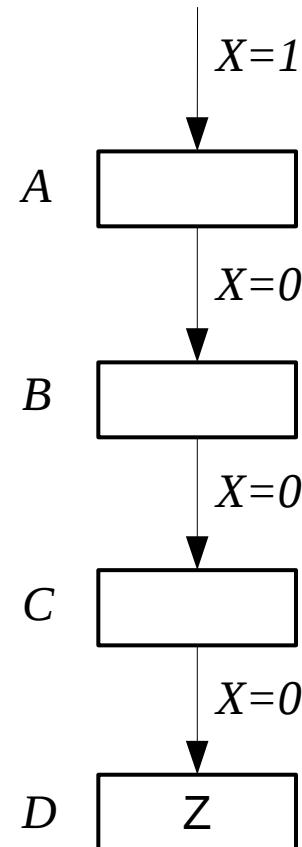
## Exemplo

- Situação inicial

- $X=1$

- Estados

| Estado | Descrição             |
|--------|-----------------------|
| A      | Fora de sequência     |
| B      | Recebido o primeiro 0 |
| C      | Recebido o segundo 0  |
| D      | Sequência completa    |

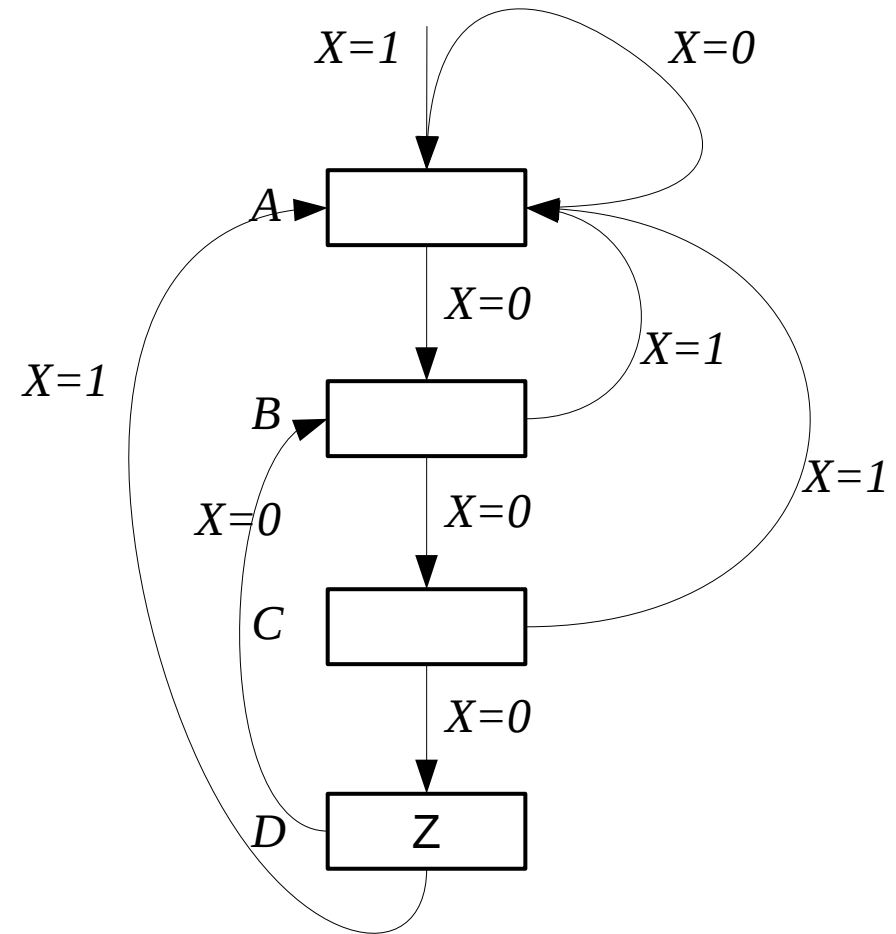




## Exemplo

- Restantes casos
  - Situação inicial:  $X=1$

| Estado | Descrição             |
|--------|-----------------------|
| A      | Fora de sequência     |
| B      | Recebido o primeiro 0 |
| C      | Recebido o segundo 0  |
| D      | Sequência completa    |

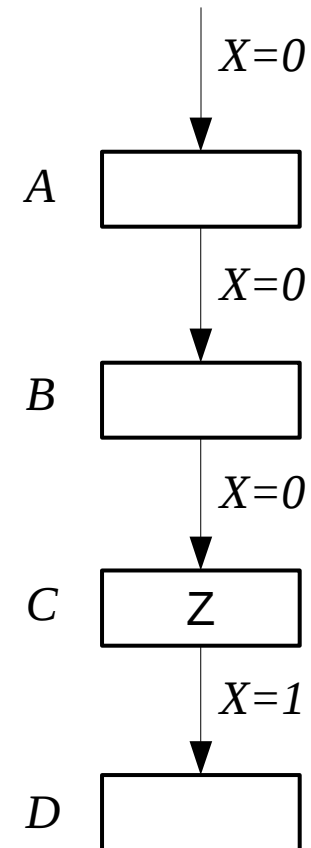




## Exemplo

- Situação inicial
  - $X=0$
- Estados

| Estado | Descrição             |
|--------|-----------------------|
| A      | Recebido o primeiro 0 |
| B      | Recebido o segundo 0  |
| C      | Sequência completa    |
| D      | Fora de sequência     |

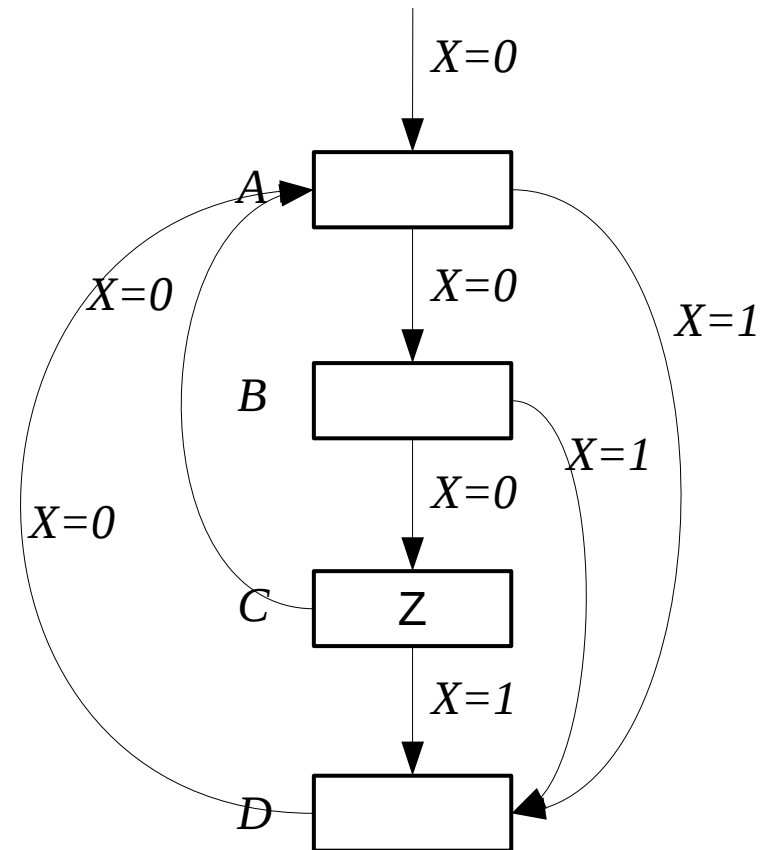




## Exemplo

- Situação inicial
  - $X=0$

| Estado | Descrição             |
|--------|-----------------------|
| A      | Recebido o primeiro 0 |
| B      | Recebido o segundo 0  |
| C      | Sequência completa    |
| D      | Fora de sequência     |



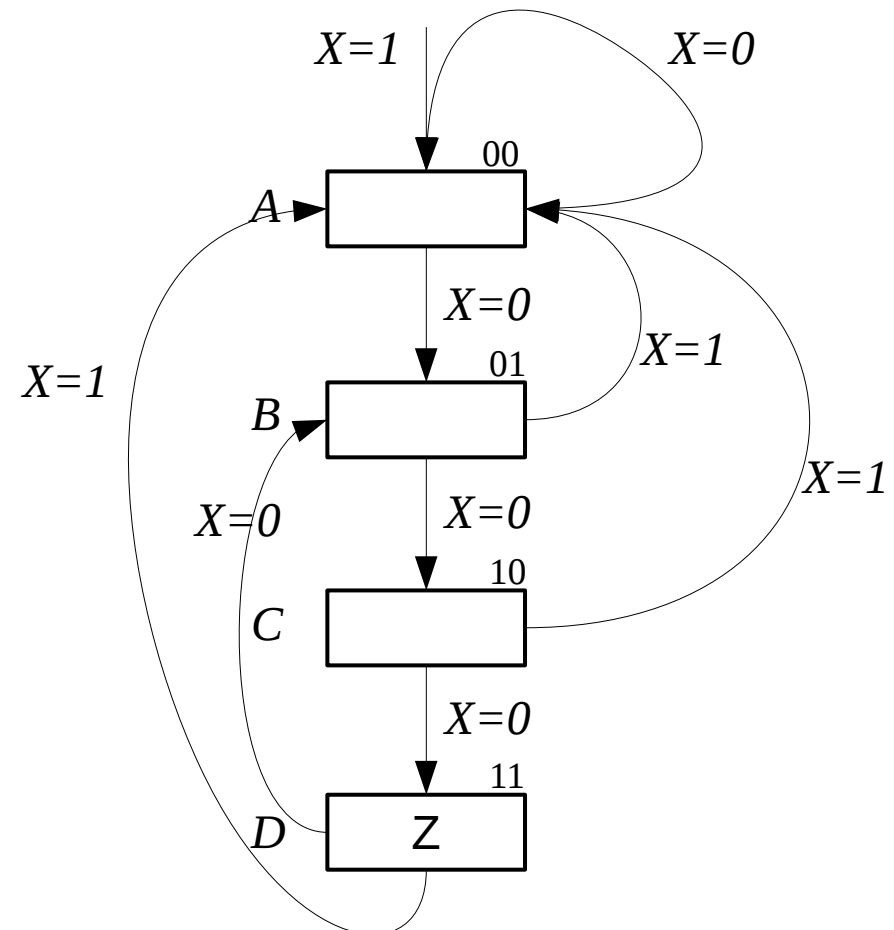


## Exemplo

- Codificação

- Situação inicial:  $X=1$

| Estado | Codificação |
|--------|-------------|
| A      | 00          |
| B      | 01          |
| C      | 10          |
| D      | 11          |

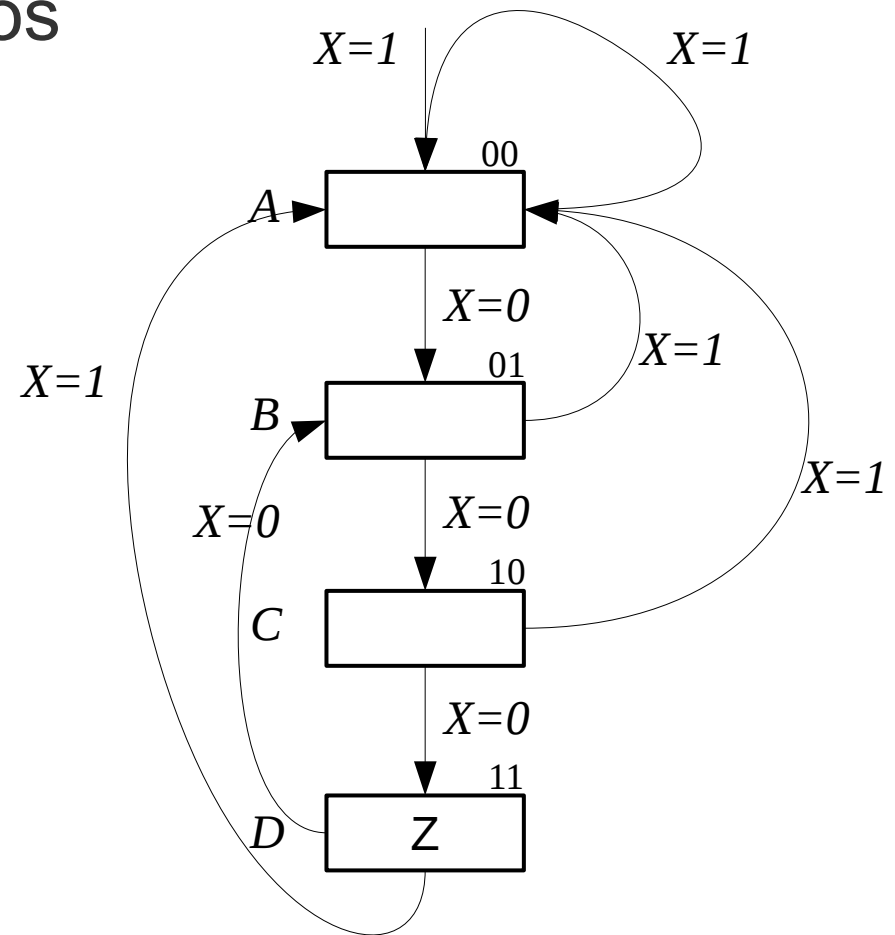




## Exemplo

- Tabela de transição de estados
  - Situação inicial:  $X=1$

| X | Estado Actual | Estado Seguinte | Z |
|---|---------------|-----------------|---|
| 0 | A             | B               | 0 |
| 1 | A             | A               | 0 |
| 0 | B             | C               | 0 |
| 1 | B             | A               | 0 |
| 0 | C             | D               | 0 |
| 1 | C             | A               | 0 |
| 0 | D             | B               | 1 |
| 1 | D             | A               | 1 |

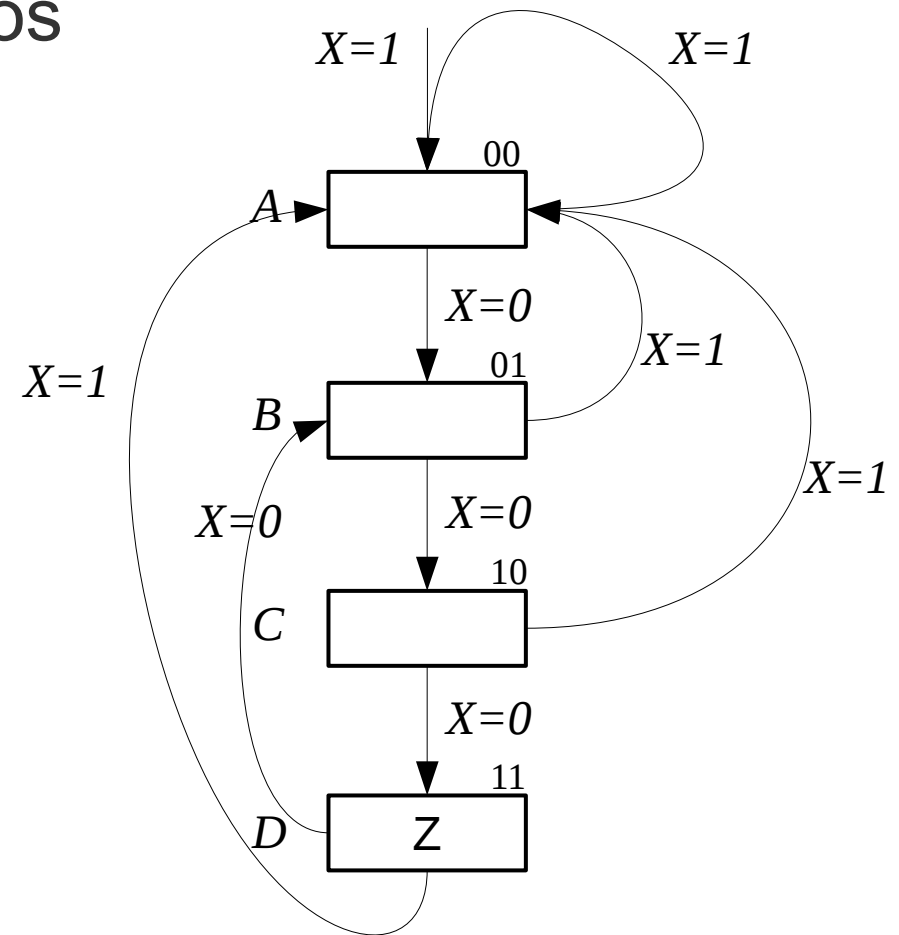




## Exemplo

- Tabela de transição de estados
  - Situação inicial:  $X=1$

| X | Estado Actual | Estado Seguinte | Z |
|---|---------------|-----------------|---|
| 0 | 00            | 01              | 0 |
| 1 | 00            | 00              | 0 |
| 0 | 01            | 10              | 0 |
| 1 | 01            | 00              | 0 |
| 0 | 10            | 11              | 0 |
| 1 | 10            | 00              | 0 |
| 0 | 11            | 01              | 1 |
| 1 | 11            | 00              | 1 |





## Exemplo

- Tabela de transição de estados

|   | Estado Actual | Estado Seguinte |   |
|---|---------------|-----------------|---|
| X | $Q_1^n Q_0^n$ | $Q_1^n Q_0^n$   | Z |
| 0 | 0 0           | 0 1             | 0 |
| 1 | 0 0           | 0 0             | 0 |
| 0 | 0 1           | 1 0             | 0 |
| 1 | 0 1           | 0 0             | 0 |
| 0 | 1 0           | 1 1             | 0 |
| 1 | 1 0           | 0 0             | 0 |
| 0 | 1 1           | 0 1             | 1 |
| 1 | 1 1           | 0 0             | 1 |

- Tabela de excitação de FF T

| $Q^*$ | Q | T |
|-------|---|---|
| 0     | 0 | 0 |
| 0     | 1 | 1 |
| 1     | 0 | 1 |
| 1     | 1 | 0 |

$T_1$

| $Q_1^n Q_0^n$ | 00 | 01 | 11 | 10 |
|---------------|----|----|----|----|
| X             |    |    |    |    |
| 0             | 0  | 1  | 1  | 0  |
| 1             | 0  | 0  | 1  | 1  |

$T_0$

| $Q_1^n Q_0^n$ | 00 | 01 | 11 | 10 |
|---------------|----|----|----|----|
| X             |    |    |    |    |
| 0             | 1  | 1  | 0  | 1  |
| 1             | 0  | 1  | 1  | 0  |

Z

| $Q_1^n$ | $Q_0^n$ | 0 | 1 |
|---------|---------|---|---|
| 0       | 0       | 0 | 0 |
| 1       | 0       | 0 | 1 |





## Exemplo

$T_1$

|     |   |               |    |    |    |
|-----|---|---------------|----|----|----|
|     |   | $Q_1^n Q_0^n$ |    |    |    |
|     |   | 00            | 01 | 11 | 10 |
| $X$ | 0 | 0             | 1  | 1  | 0  |
|     | 1 | 0             | 0  | 1  | 1  |

$$T_1 = Q_0 \bar{X} + Q_1 X$$

$T_0$

|     |   |               |    |    |    |
|-----|---|---------------|----|----|----|
|     |   | $Q_1^n Q_0^n$ |    |    |    |
|     |   | 00            | 01 | 11 | 10 |
| $X$ | 0 | 1             | 1  | 0  | 1  |
|     | 1 | 0             | 1  | 1  | 0  |

$$T_0 = \bar{Q}_1 \bar{X} + Q_0 X + \bar{Q}_0 \bar{X}$$

$Z$

|         |   |         |   |
|---------|---|---------|---|
|         |   | $Q_0^n$ |   |
|         |   | 0       | 1 |
| $Q_1^n$ | 0 | 0       | 0 |
|         | 1 | 0       | 1 |

$$Z = Q_1 Q_0$$



## Exemplo

Pretende-se construir um circuito detector da sequência **1010**. O circuito tem apenas uma entrada  $X$  e uma saída  $Z$  que deverá estar activa durante um ciclo de relógio em resposta à detecção da sequência correcta. Este detector deve permitir a detecção de sequências encadeadas.

- Visualização
  - Sequência de bits

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| X | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| Z | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |



## Exemplo

Pretende-se construir um circuito detector da sequência 1010. O circuito tem apenas uma entrada  $X$  e uma saída  $Z$  que deverá estar activa durante um ciclo de relógio em resposta à detecção da sequência correcta. Este detector deve permitir a detecção de sequências encadeadas:

- Máquina de Moore
  - Número de estados:
    - 5

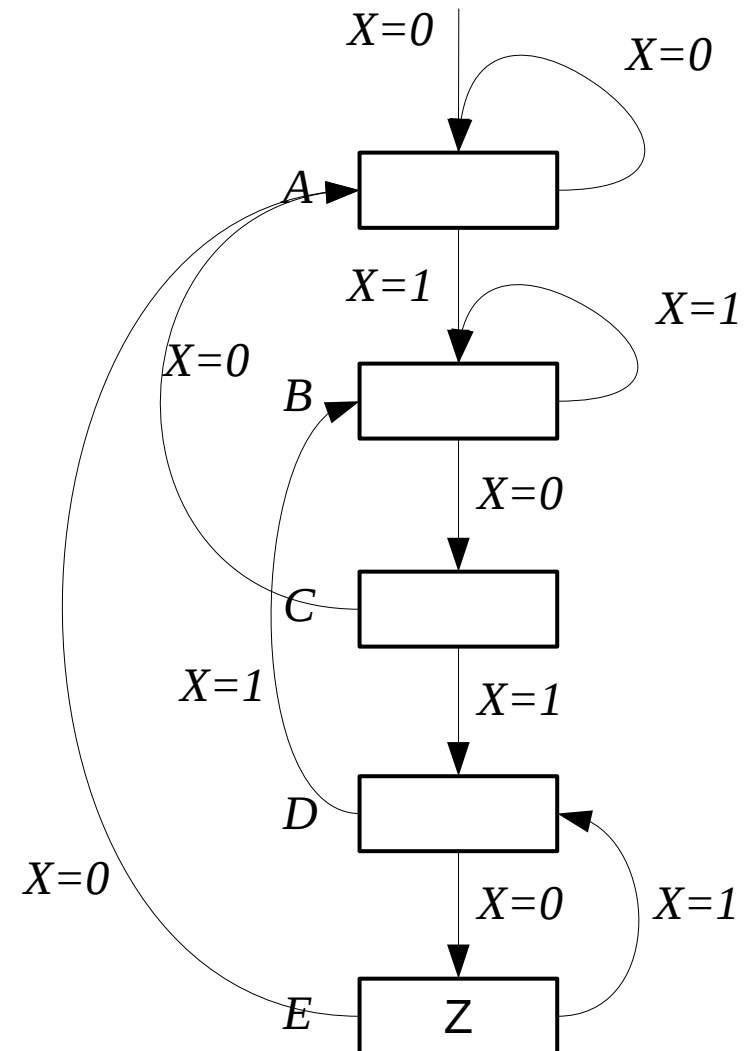
| Estado | Descrição          |
|--------|--------------------|
| A      | Fora de sequência  |
| B      | Recebido 1         |
| C      | Recebido 10        |
| D      | Recebido 101       |
| E      | Sequência completa |



## Exemplo

- Máquina de Moore
  - Estados

| Estado | Descrição          |
|--------|--------------------|
| A      | Fora de sequência  |
| B      | Recebido 1         |
| C      | Recebido 10        |
| D      | Recebido 101       |
| E      | Sequência completa |

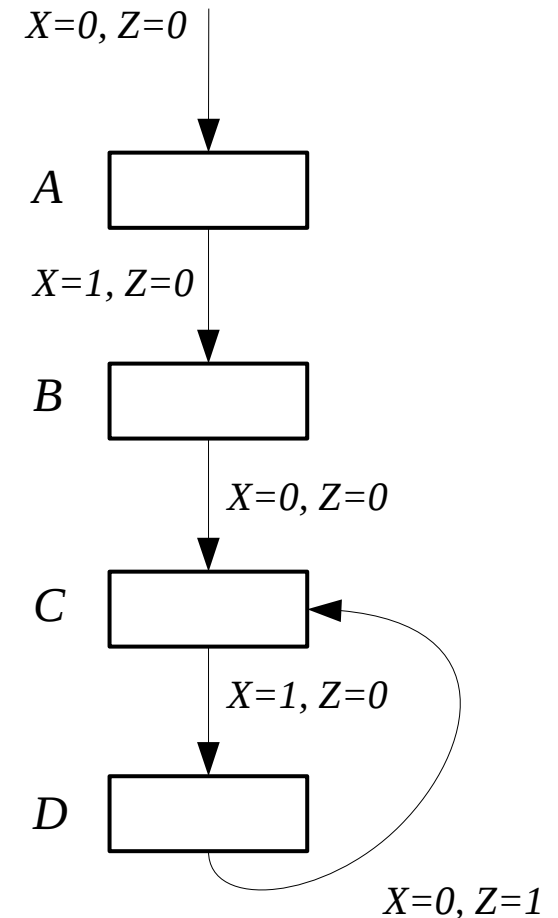




## Exemplo

- Máquina de Mealy
  - Saída depende
    - Estado
    - Entrada
  - Saída representada na transição
  - Número de estados
    - 4

| Estado | Descrição         |
|--------|-------------------|
| A      | Fora de sequência |
| B      | Recebido 1        |
| C      | Recebido 10       |
| D      | Recebido 101      |

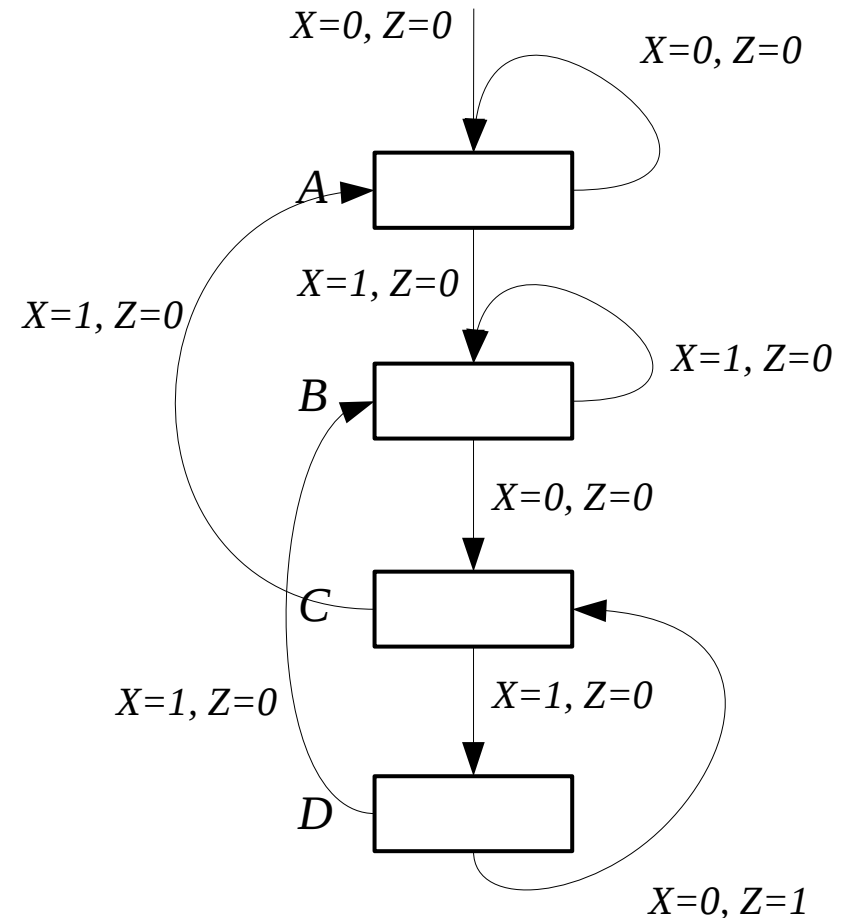




## Exemplo

- Máquina de Mealy
  - Saída depende
    - Estado
    - Entrada
  - Saída representada na transição
  - Número de estados
    - 4

| Estado | Descrição         |
|--------|-------------------|
| A      | Fora de sequência |
| B      | Recebido 1        |
| C      | Recebido 10       |
| D      | Recebido 101      |

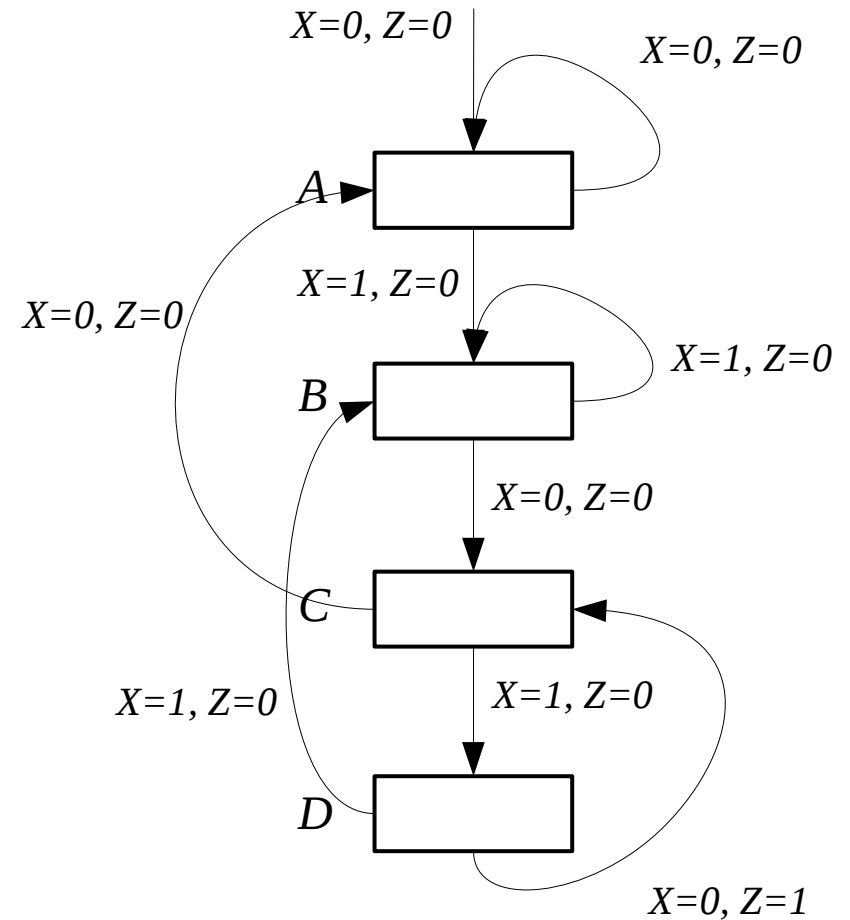




## Exemplo

- Tabela de transição de estados

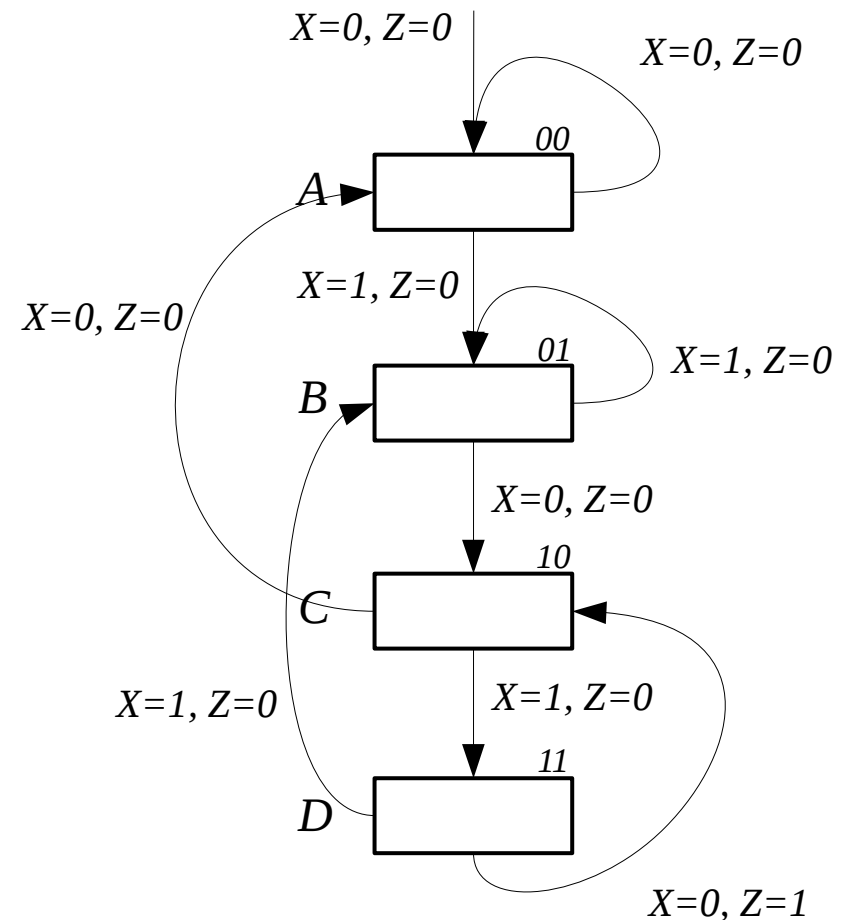
| X | Estado Actual | Estado Seguinte | Z |
|---|---------------|-----------------|---|
| 0 | A             | A               | 0 |
| 1 | A             | B               | 0 |
| 0 | B             | C               | 0 |
| 1 | B             | B               | 0 |
| 0 | C             | A               | 0 |
| 1 | C             | D               | 0 |
| 0 | D             | C               | 1 |
| 1 | D             | B               | 0 |



## Exemplo

- Tabela de transição de estados

|   | Estado Actual | Estado Seguinte |   |
|---|---------------|-----------------|---|
| x | $Q_1^n Q_0^n$ | $Q_1^n Q_0^n$   | z |
| 0 | 0 0           | 0 0             | 0 |
| 1 | 0 0           | 0 1             | 0 |
| 0 | 0 1           | 1 0             | 0 |
| 1 | 0 1           | 0 1             | 0 |
| 0 | 1 0           | 0 0             | 0 |
| 1 | 1 0           | 1 1             | 0 |
| 0 | 1 1           | 1 0             | 1 |
| 1 | 1 1           | 0 1             | 0 |





## Exemplo

- Tabela de transição de estados

|   | Estado Actual | Estado Seguinte       |   |
|---|---------------|-----------------------|---|
| x | $Q_1^n Q_0^n$ | $Q_1^{n+1} Q_0^{n+1}$ | z |
| 0 | 00            | 00                    | 0 |
| 1 | 00            | 01                    | 0 |
| 0 | 01            | 10                    | 0 |
| 1 | 01            | 01                    | 0 |
| 0 | 10            | 00                    | 0 |
| 1 | 10            | 11                    | 0 |
| 0 | 11            | 10                    | 1 |
| 1 | 11            | 01                    | 0 |

- Tabela excitação FF SR

| $Q^*$ | Q | S | R |
|-------|---|---|---|
| 0     | 0 | 0 | - |
| 0     | 1 | 1 | 0 |
| 1     | 0 | 0 | 1 |
| 1     | 1 | - | 0 |

| $Q_1^n Q_0^n$ |   | 00 | 01 | 11 | 10 |
|---------------|---|----|----|----|----|
| x             | 0 | 0  | 1  | x  | 0  |
|               | 1 | 0  | 0  | 0  | x  |

$$S_1 = Q_0 \bar{X}$$

| $Q_1^n Q_0^n$ |   | 00 | 01 | 11 | 10 |
|---------------|---|----|----|----|----|
| x             | 0 | x  | 0  | 0  | 1  |
|               | 1 | x  | x  | 1  | 0  |

$$R_1 = \bar{Q}_0 \bar{X} + Q_0 X$$



## Exemplo

- Tabela de transição de estados

|   | Estado Actual | Estado Seguinte |   |
|---|---------------|-----------------|---|
| x | $Q_1^n Q_0^n$ | $Q_1^n Q_0^n$   | z |
| 0 | 00            | 00              | 0 |
| 1 | 00            | 01              | 0 |
| 0 | 01            | 10              | 0 |
| 1 | 01            | 01              | 0 |
| 0 | 10            | 00              | 0 |
| 1 | 10            | 11              | 0 |
| 0 | 11            | 10              | 1 |
| 1 | 11            | 01              | 0 |

$$S_0 = X$$

| $Q_1^n Q_0^n$ |   | 00 | 01 | 11 | 10 |
|---------------|---|----|----|----|----|
| x             | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  |
|               | 1 | 1  | x  | x  | 1  |

$$R_0 = \bar{X}$$

| $Q_1^n Q_0^n$ |   | 00 | 01 | 11 | 10 |
|---------------|---|----|----|----|----|
| x             | 0 | x  | 1  | 1  | x  |
|               | 1 | 0  | 0  | 0  | 0  |

- Tabela exticação FF SR

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

$$Z = Q_1 Q_0 \bar{X}$$

| $Q_1^n Q_0^n$ |   | 00 | 01 | 11 | 10 |
|---------------|---|----|----|----|----|
| x             | 0 | 0  | 0  | 1  | 0  |
|               | 1 | 0  | 0  | 0  | 0  |



## Máquinas de Moore e Mealy

- Diferenças
  - Moore: as saídas são função exclusiva do estado;
  - Mealy: as saídas são função do estado e das entradas;
- De forma geral
  - Máquinas de Mealy
    - Necessitam de menos *hardware*
  - Máquinas de Moore
    - Função de saída mais simples
    - Mais fácil de detectar erros