CEFET

Departamento de Engenharia Elétrica - DEPEL

GELE 7163 Eletrônica Digital

Parte # 4 - Máquinas de Estado Finita

Prof. Alessandro Jacoud Peixoto

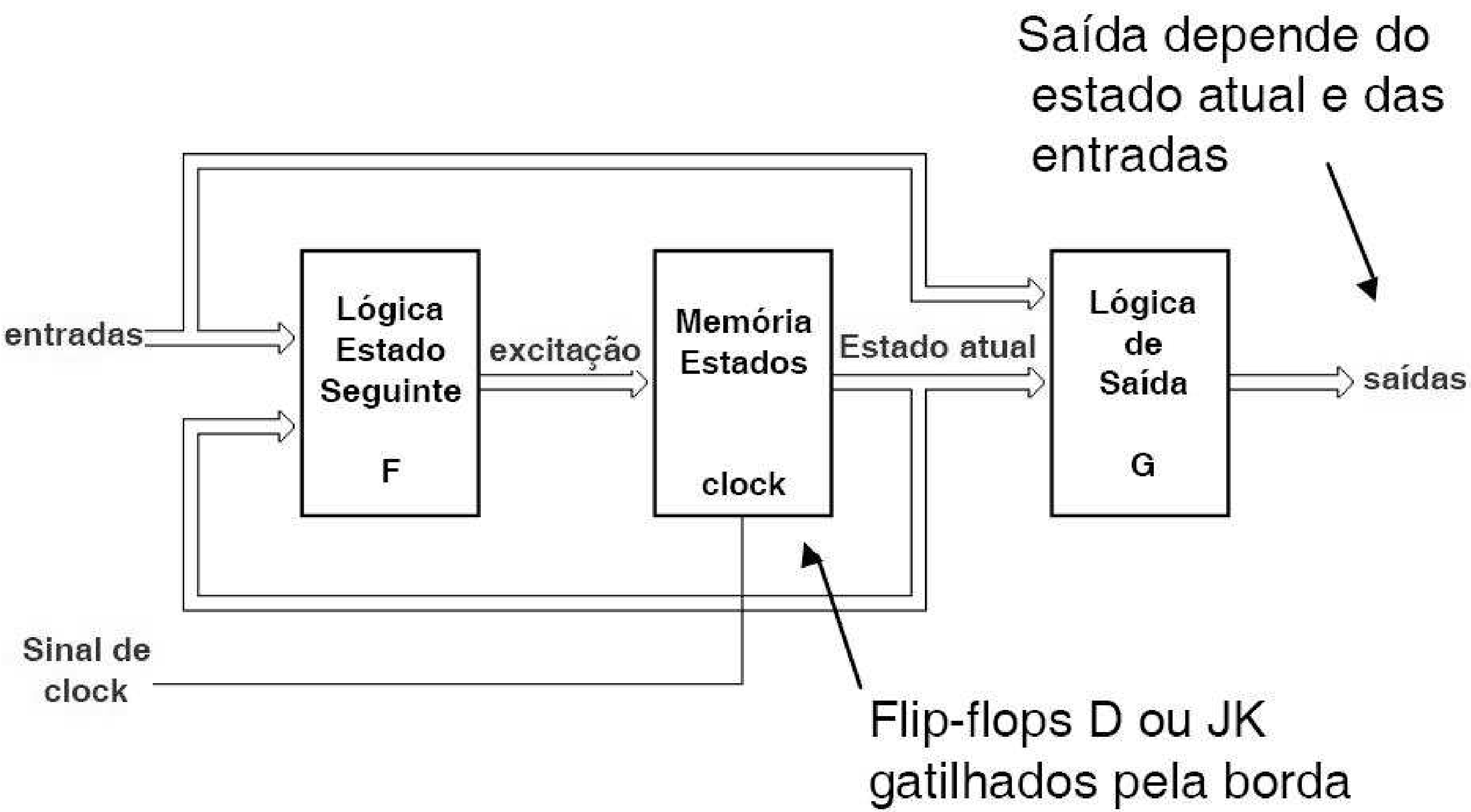
Referências :

- Notas de Aula.
- Mendonça, Alexandre e Zelenovsky, Ricardo, Eletrônica Digital: Curso Prático e Exercícios, MZ Editora Ltda, 2004, ISBN: 85-87385-10-0.
- Tocci, R.J., Widmer, N.S., Moss, G.L. - Sistemas Digitais, Princípios e Aplicações, 10^a Edição, São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007, 804 p., ISBN 9788576050957.
- Ercegovac, Milos , Lang, Tomas - Introdução aos Sistemas Digitais - Bookman.
- Wakerly, John F., Digital Designs Principles and Practices, 3o edição, Prentice Hall, 1990.

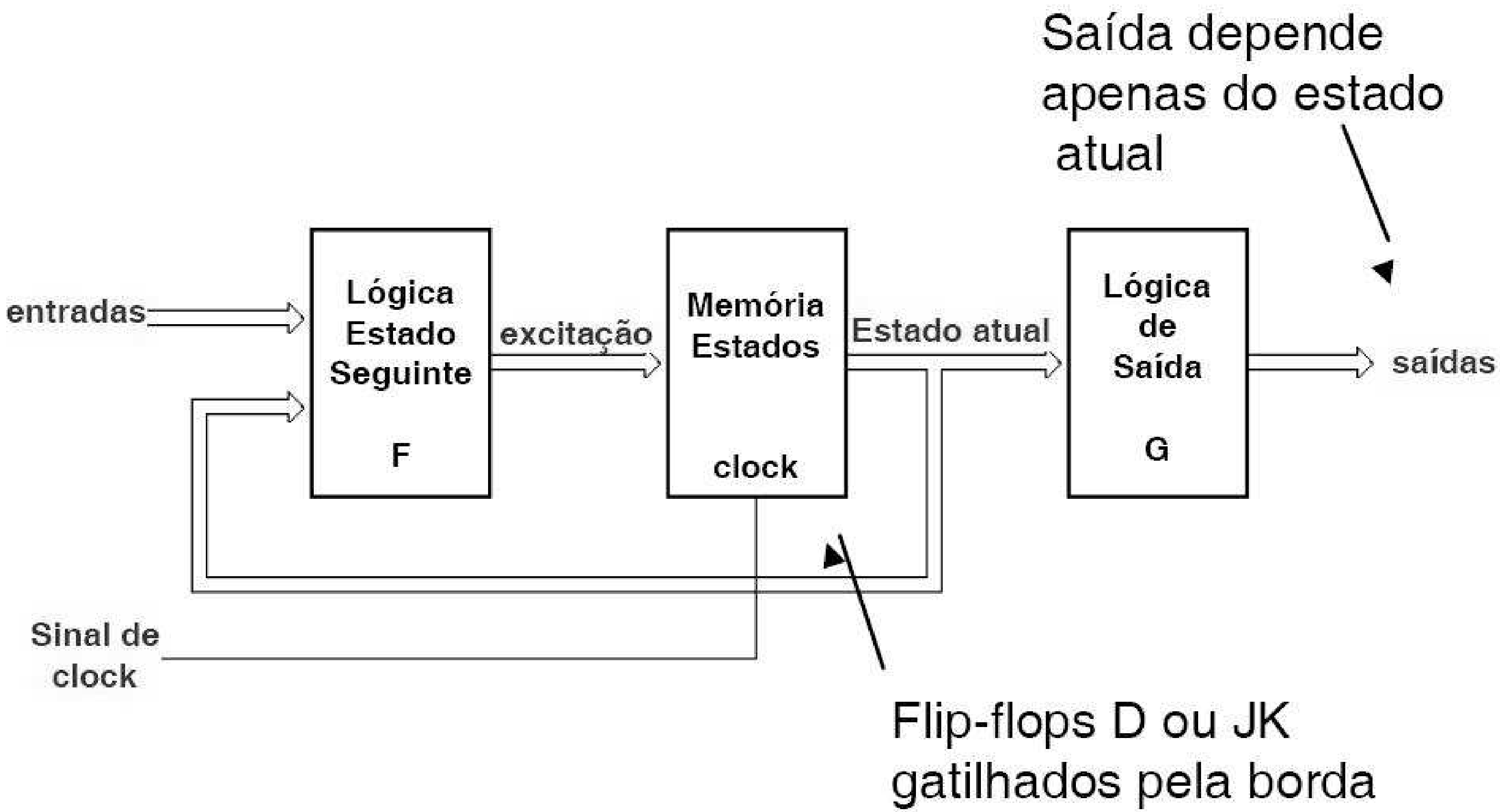
2 - Circuitos Seqüenciais - Sinal de *Clock*

- Chamados “máquina de estados”
- Usam flip-flops gatilhados pela borda
- Todos os flip-flops são gatilhados pelo mesmo sinal de clock, portanto todos mudam de estado simultaneamente

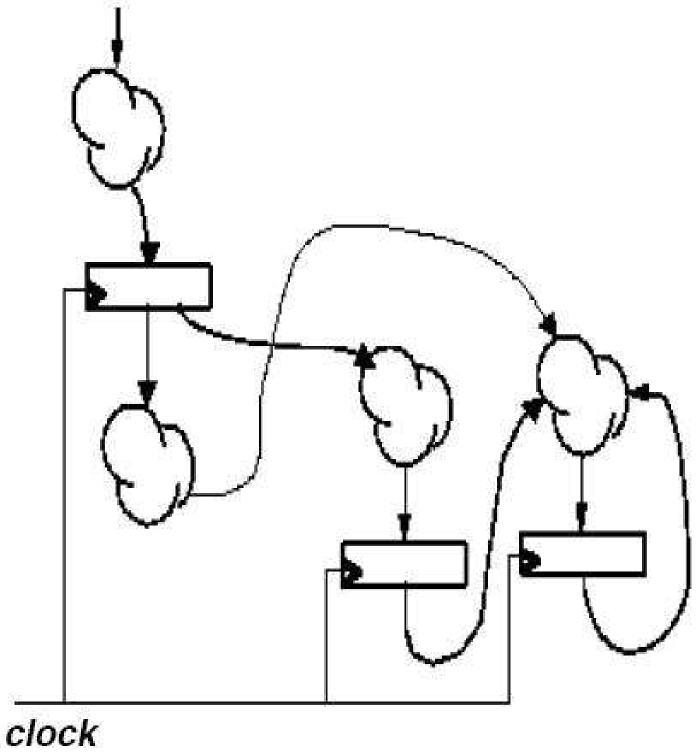
2 - Máquina de Estado de *Mealy*



2 - Máquina de Estado de *Moore*



2 - Circuito Síncrono (*Clock* Único)



- *Receita para circuitos seqüenciais robustos*
  - *As saídas dos circuitos combinacionais são analisadas apenas durante a subida do clock.*
  - *O período do clock deve ser maior do que qualquer atraso combinacional.*
  - *Os estados devem mudar apenas depois que todas as transições lógicas forem finalizadas (nível lógico deve estar estável).*

2 - Lógica Seqüencial ?

- A lógica seqüencial é usada quando precisamos organizar a solução através de uma seqüência de passos.

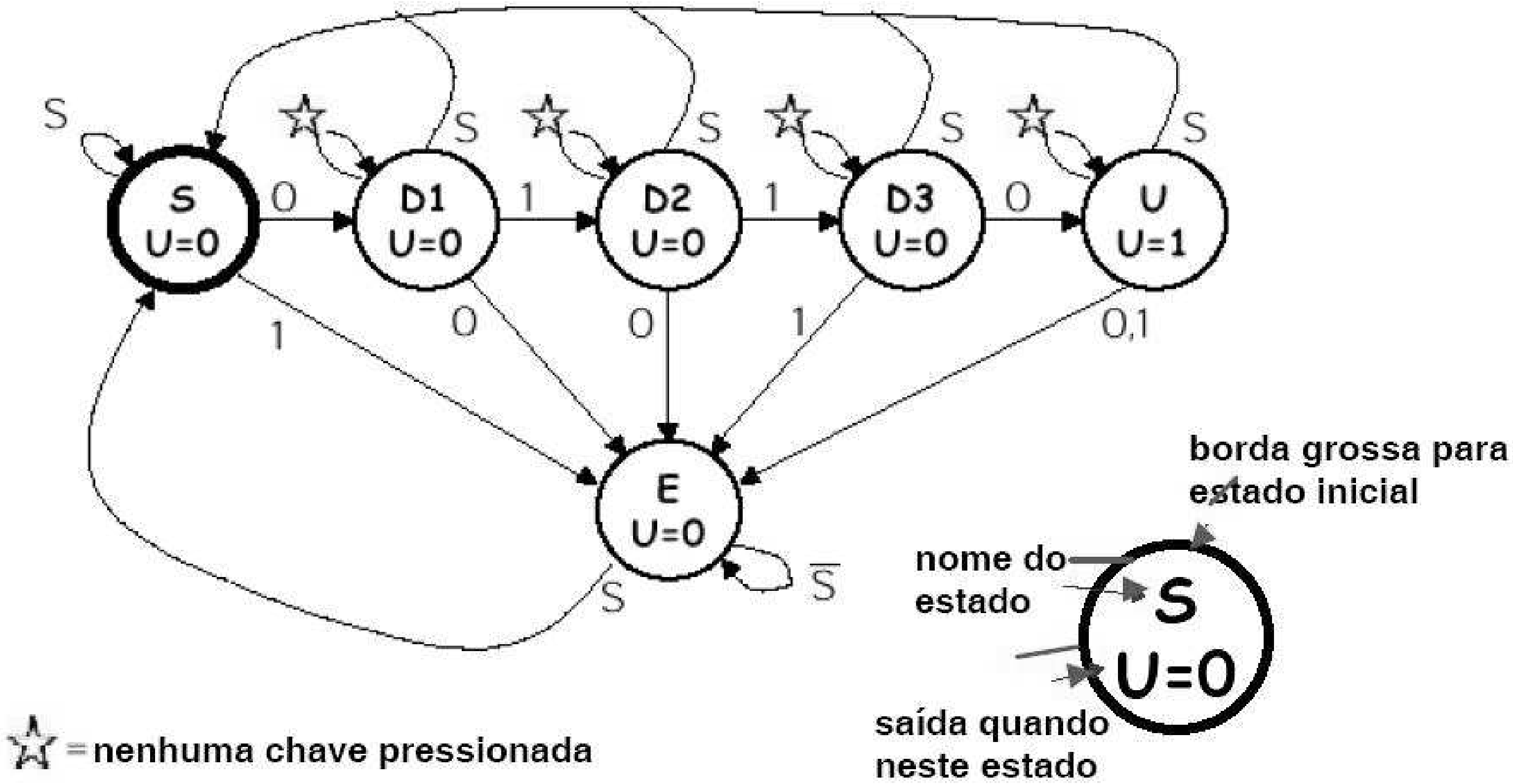
Exemplo: Como abrir uma fechadura com uma combinação digital.
A fechadura possui três botões - "start", "O", "1".

Passo 1: pressione o botão "START"
Passo 2: pressione o botão "O"
Passo 3: pressione o botão "1"
Passo 4: pressione o botão "1"
Passo 5: pressione o botão "O"

O "estado" pode incluir o passo que nós estamos, ou pode incluir resultados dos passos anteriores necessários para completar o passo seguinte

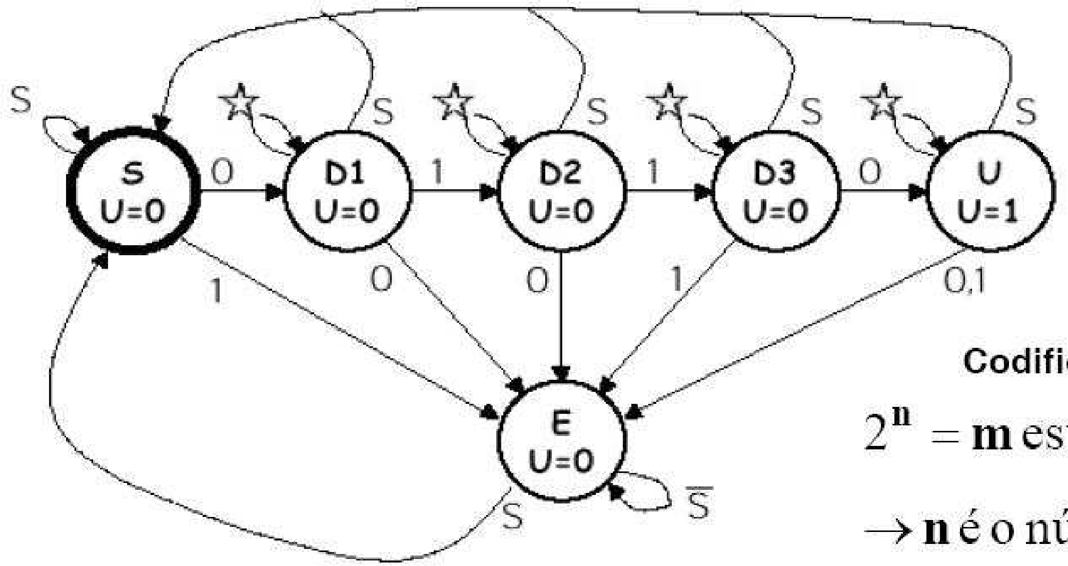
2 - Implementação – Máquina de *Moore*

Diagrama de Estado



obs. verificar que sempre que a chave START é pressionada, a seqüência volta para o estado inicial S.

2 - Diagrama de Estado – *Moore*



Codificador binário

$2^{\mathbf{n}} = \mathbf{m}$ estados possíveis

$\rightarrow$ **n** é o número de bits

6 estados diferentes : codificados por 3 bits

Arcos saindo de um estado devem ser:

(1) ***mutuamente exclusivos***

não pode ter duas opções para um mesmo valor de entrada

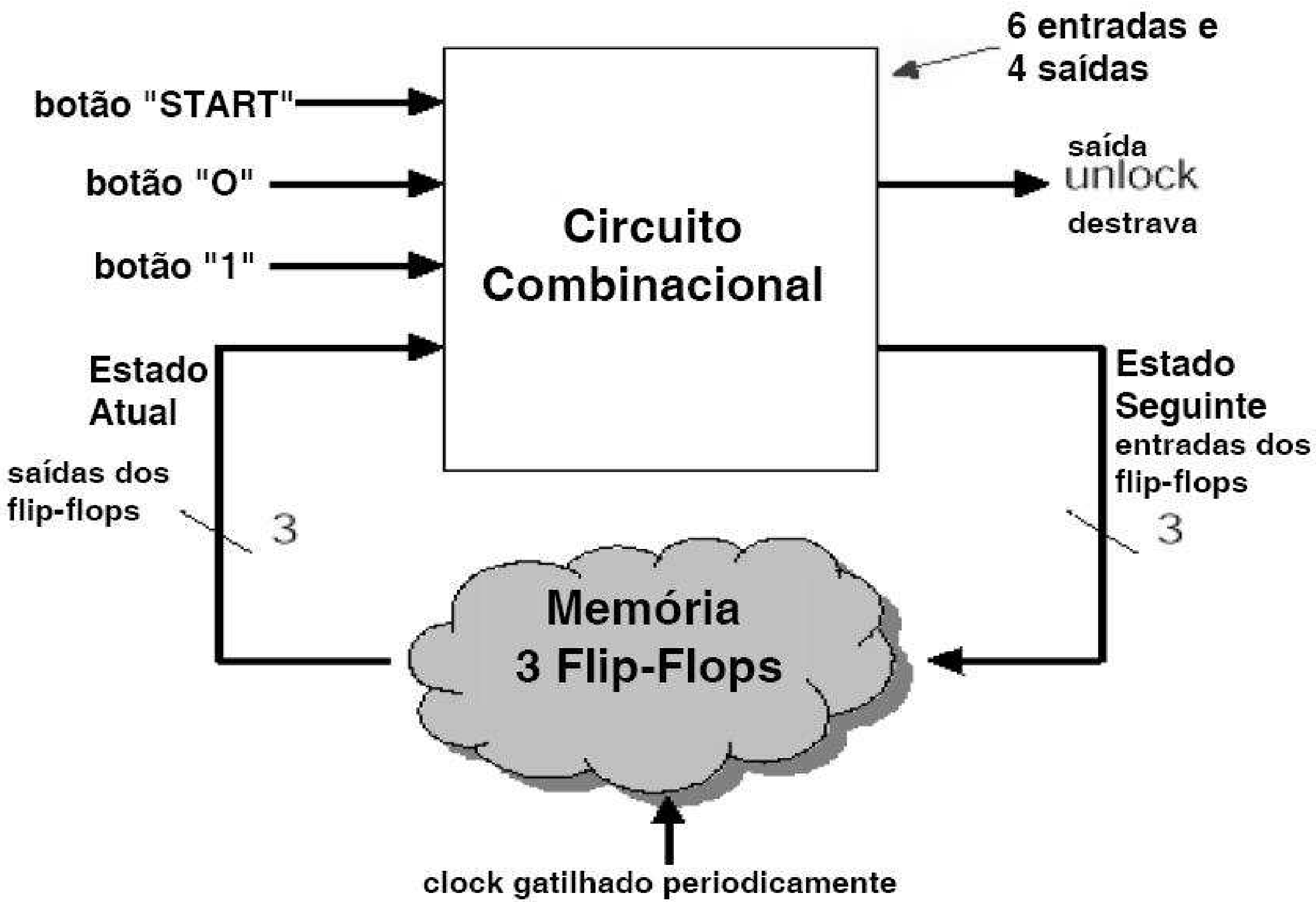
(2) ***coletivamente exaustivo***

todo estado deve especificar o que acontece para cada entrada possível. "*Nada acontece*" significa que o arco deve voltar para o mesmo estado.

2 - Tabela de Transição e Saída

Estado atual $Q_0\ Q_1\ Q_2$		B"start"	B"1"	B"0"	Estado seguinte $(Q_0\ Q_1\ Q_2)^*$		saída U unlock
---		1	---	---	start	000	0
S start	000	0	0	1	digit1	001	0
S start	000	0	1	0	error	101	0
S start	000	0	0	0	start	000	0
D1 digit1	001	0	1	0	digit2	010	0
D1 digit1	001	0	0	1	error	101	0
D1 digit1	001	0	0	0	digit1	001	0
D2 digit2	010	0	1	0	digit3	011	0
D2 digit2	010	0	0	1	error	101	0
D2 digit2	010	0	0	0	digit2	010	0
D3 digit3	011	0	0	1	unlock	100	0
D3 digit3	011	0	1	0	error	101	0
D3 digit3	011	0	0	0	digit3	011	0
U unlock	100	0	1	0	error	101	1
U unlock	100	0	0	1	error	101	1
U unlock	100	0	0	0	unlock	100	1
E error	101	0	---	---	error	101	0

2 - Implementação do *Hardware*



2 - Mapas de *Karnaugh*

- Quando o botão "START" for 1, o circuito irá permanecer ou voltar para o estado inicial '000'. Portanto, podemos ligar o botão "START" no botão "RESET" dos flip-flops.

- Usando flip-flop tipo D - equação característica → $(Q_0\ Q_1\ Q_2)^* = (D_0\ D_1\ D_2)$

D_0

$Q_0 = 0$

Q_1Q_2 \ B1 B0	00	01	11	10
00	0	0	X	1
01	0	1	X	0
11	0	1	X	1
10	0	1	X	0

$Q_0 = 1$

Q_1Q_2 \ B1 B0	00	01	11	10
00	1	1	X	1
01	1	1	1	1
11	X	X	X	X
10	X	X	X	X

$$Q_0^* = D_0 = B1(\overline{Q_1}\,\overline{Q_2} + Q_1Q_2) + B0(Q_2 + Q_1) + Q_0$$

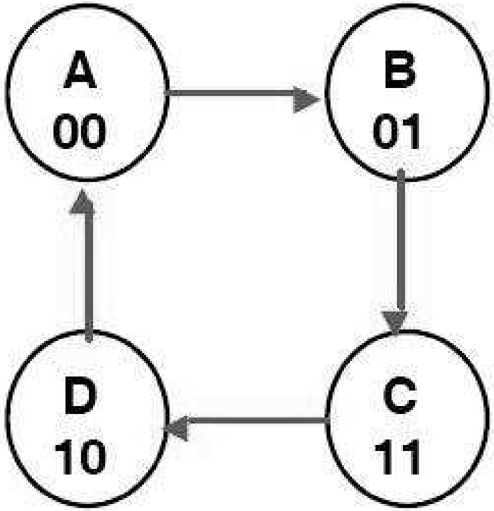
Equação de excitação ou transição

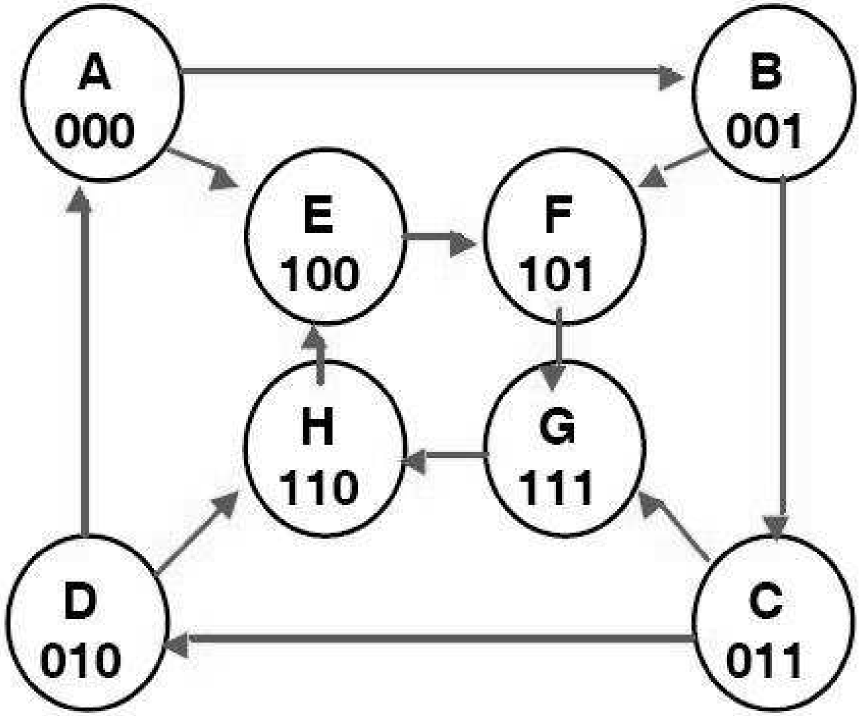
saída U = unlock $= Q_0\overline{Q_2}$

2 - Diagramas Adjacentes (Alternativos)

Objetivo: Minimizar as equações de excitação das entradas dos flip-flops

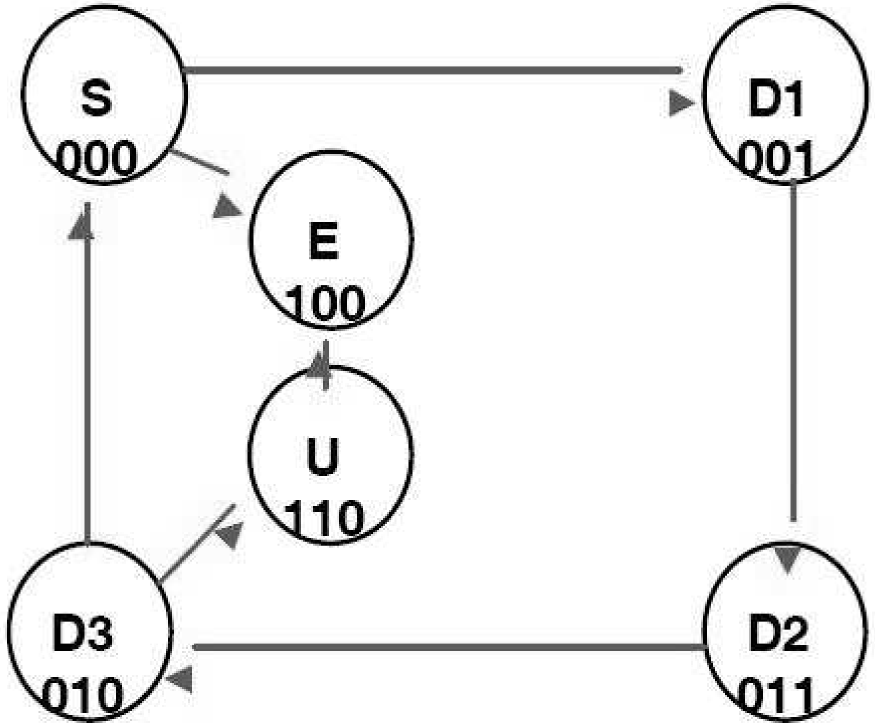
- O código de cada estado é escolhido tal que o código dos estados adjacentes devem diferir de apenas 1 bit (código de Gray)





2 - Exemplo - Fechadura Digital

A única função deste gráfico é escolher o código de cada estado. Ele não substitui o diagrama de estados pois neste gráfico apenas o percurso principal está indicado.



Dica: O estado inicial deve ser sempre o estado "000" pois desta forma para retornar ao estado inicial basta acionar o reset dos flip-flops.

2 - Tabela de Transição (Modificada)

Estado atual $Q_0\,Q_1\,Q_2$			**B**"start"	**B**"1"	**B**"0"	**Estado seguinte** $(Q_0\,Q_1\,Q_2)^*$		**saída U** unlock
---			1	---	---	start	000	0
S	start	000	0	0	1	digit1	001	0
S	start	000	0	1	0	error	100	0
S	start	000	0	0	0	start	000	0
D1	digit1	001	0	1	0	digit2	011	0
D1	digit1	001	0	0	1	error	100	0
D1	digit1	001	0	0	0	digit1	001	0
D2	digit2	011	0	1	0	digit3	010	0
D2	digit2	011	0	0	1	error	100	0
D2	digit2	011	0	0	0	digit2	011	0
D3	digit3	010	0	0	1	unlock	110	0
D3	digit3	010	0	1	0	error	100	0
D3	digit3	010	0	0	0	digit3	010	0
U	unlock	110	0	1	0	error	100	1
U	unlock	110	0	0	1	error	100	1
U	unlock	110	0	0	0	unlock	110	1
E	error	100	0	---	---	error	100	0

2 - Mapas de *Karnaugh* (Modificados)

- Usando flip-flop tipo D $\rightarrow (Q_0\ Q_1\ Q_2)^* = (D_0\ D_1\ D_2)$

D_0

$Q_0 = 0$

Q_1Q_2 \ B1 B0	00	01	11	10
00	0	0	X	1
01	0	1	X	0
11	0	1	X	0
10	0	1	X	1

$Q_0 = 1$

Q_1Q_2 \ B1 B0	00	01	11	10
00	1	1	1	1
01	X	X	X	X
11	X	X	X	X
10	1	1	X	1

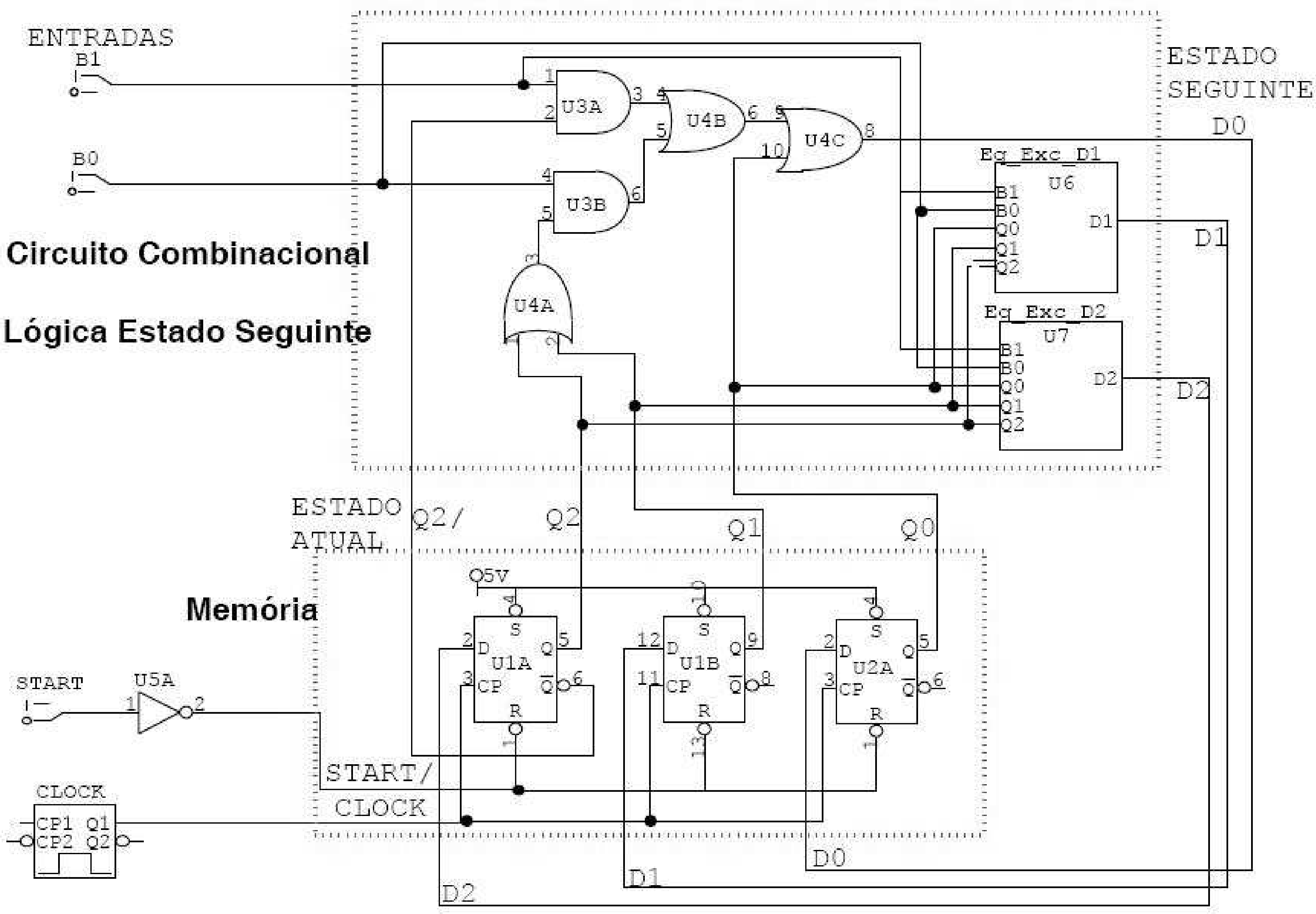
$$Q_0^* = D_0 = B1\overline{Q_2} + B0(Q_1 + Q_2) + Q_0$$

saída U = unlock $= Q_0 Q_1$

Equação de excitação ou transição para o caso anterior:

$$Q_0^* = D_0 = B1(\overline{Q_1}\,\overline{Q_2} + Q_1 Q_2) + B0(Q_2 + Q_1) + Q_0$$

2 - Circuito Resultante



2 - Tabela de Excitação para J-K

- Usar a tabela de transição
- Usar a tabela de aplicação para FF JK
  - a tabela de aplicação é construída a partir da equação característica, $Q* = J \bullet \overline{Q} + \overline{K} \bullet Q$
- substituir o par de valores JK correspondente da tabela de aplicação para cada bit de estado na tabela de transição

Q	Q*	J	K
0	0	0	X
0	1	1	X
1	0	X	1
1	1	X	0

Tabela de aplicação FF JK

2 - Tabela de Transição, Excitação e Saída (J-K)

Estado atual	$Q_0\ Q_1\ Q_2$	B"start"	B"1"	B"0"	Transição	$(Q_0\ Q_1\ Q_2)^*$	saída U	J_0	K_0	J_1	K_1	J_2	K_2
---		1	---	---	start	000	0	acionar reset					
S start	000	0	0	1	digit1	001	0	0	x	0	x	1	x
S start	000	0	1	0	error	100	0	1	x	0	x	0	x
S start	000	0	0	0	start	000	0	0	x	0	x	0	x
D1 digit1	001	0	1	0	digit2	011	0	0	x	1	x	x	0
D1 digit1	001	0	0	1	error	100	0	1	x				
D1 digit1	001	0	0	0	digit1	001	0	0	x				
D2 digit2	011	0	1	0	digit3	010	0	0	x				
D2 digit2	011	0	0	1	error	100	0	1	x				
D2 digit2	011	0	0	0	digit2	011	0	0	x				
D3 digit3	010	0	0	1	unlock	110	0	1	x				
D3 digit3	010	0	1	0	error	100	0	1	x				
D3 digit3	010	0	0	0	digit3	010	0	0	x				
U unlock	110	0	1	0	error	100	1	x	0				
U unlock	110	0	0	1	error	100	1	x	0				
U unlock	110	0	0	0	unlock	110	1	x	0				
E error	100	0	---	---	error	100	0	x	0				

2 - Mapas de *Karnaugh* (J-K)

- Usando flip-flop tipo JK $\rightarrow$ calcular equações de excitação para J_0 K_0 J_1 K_1 J_2 K_2

J_0

$Q_0 = 0$

Q_1Q_2 \ B1 B0	00	01	11	10
00	0	0	X	1
01	0	1	X	0
11	0	1	X	0
10	0	1	X	1

$Q_0 = 1$

Q_1Q_2 \ B1 B0	00	01	11	10
00	X	X	X	X
01	X	X	X	X
11	X	X	X	X
10	X	X	X	X

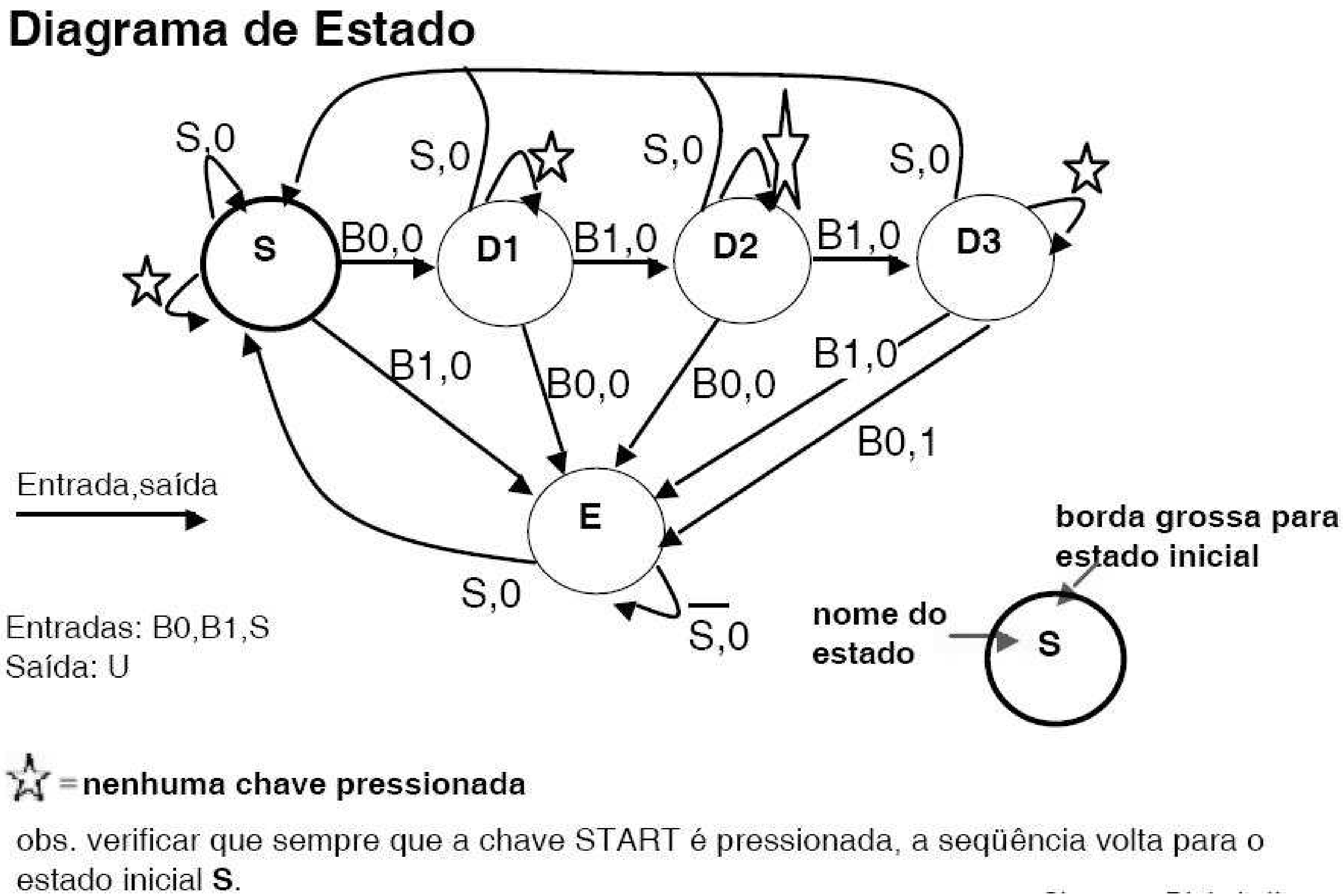
$$J_0 = B1\overline{Q_2} + B0(Q_1 + Q_2) + Q_0$$

$$K_0 = 0$$

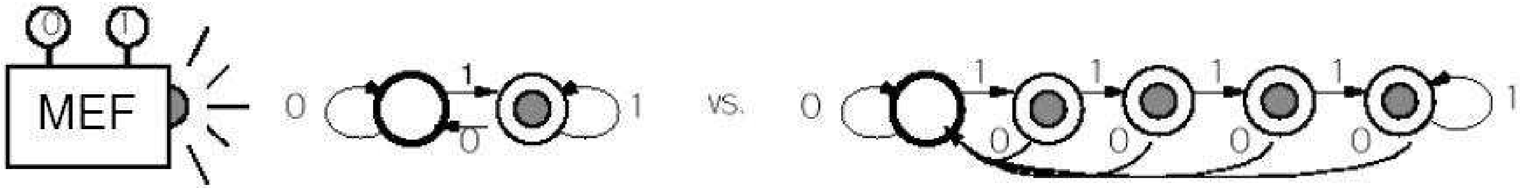
saída U = unlock $= Q_0 Q_1$

neste caso não houve simplificação em relação ao flip-flop tipo D a equação de excitação é a mesma

2 - Implementação – Máquina de *Mealy*



2 - Equivalência



Os diagramas são diferentes?

De forma alguma! Externamente eles são idênticos.

> MEF são equivalentes se para todas as seqüência de entrada a seqüência de saída gerada for a mesma

Objetivo da engenharia:

- construir uma MEF que funciona …
- querer a mais simples (portanto a mais barata) MSE equivalente