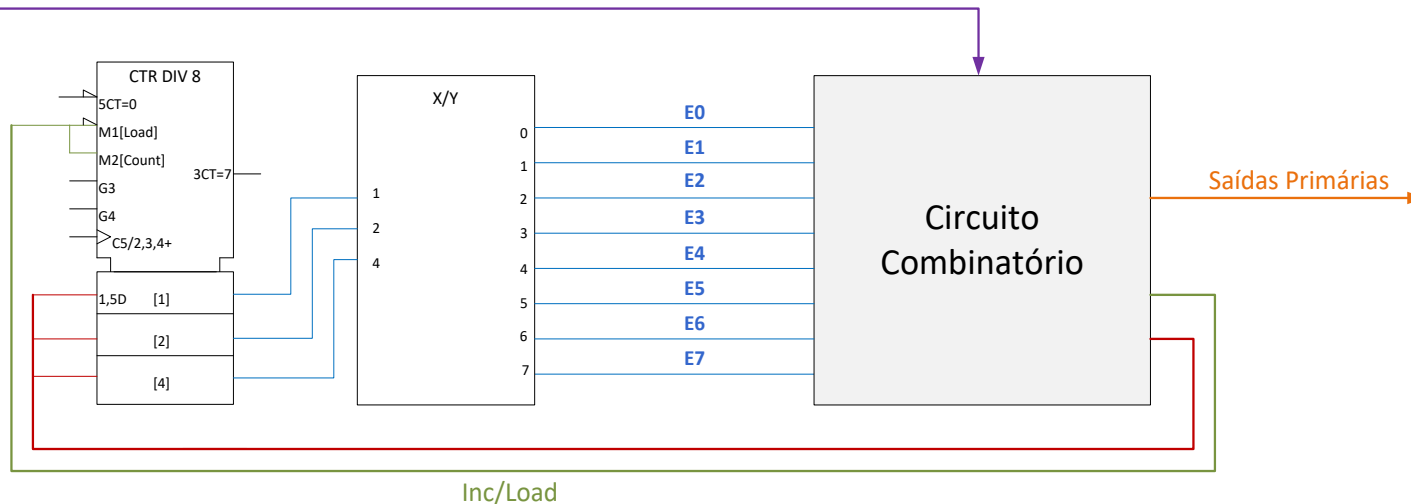


Sistemas Digitais (SD)

Síntese de Circuitos Sequenciais: Projecto utilizando contadores

Entradas Primárias





■ Na aula anterior:

- ▶ Especificação e projecto de circuitos sequenciais síncronos:
 - Minimização do número de estados
- ▶ Exemplo (Mealy)



SEMANA	TEÓRICA 1	TEÓRICA 2	PROBLEMAS/LABORATÓRIO
17/Fev a 21/Fev	Introdução	Sistemas de Numeração	
24/Fev a 28/Fev	CARNAVAL	Álgebra de Boole	P0
02/Mar a 06/Mar	Elementos de Tecnologia	Funções Lógicas	VHDL
9/Mar a 13/Mar	Minimização de Funções	Minimização de Funções	L0
16/Mar a 20/Mar	Def. Circuito Combinatório; Análise Temporal	Circuitos Combinatórios	P1
23/Mar a 27/Mar	Circuitos Combinatórios	Circuitos Combinatórios	L1
30/Mar a 03/Abr	Circuitos Sequenciais: Latches	Circuitos Sequenciais: Flip-Flops	P2
06/Abr a 10/Abr	FÉRIAS DA PÁScoa	FÉRIAS DA PÁScoa	FÉRIAS DA PÁScoa
13/Abr a 17/Abr	Caracterização Temporal	Registos	L2
20/Abr a 24/Abr	Contadores	Circuitos Sequenciais Síncronos	P3
27/Abr a 01/Mai	Síntese de Circuitos Sequenciais Síncronos	Síntese de Circuitos Sequenciais Síncronos	L3
04/Mai a 08/Mai	Exercícios	Memórias	P4
11/Mai a 15/Mai	Máq. Estado Microprogramadas: Circuito de Dados e Circuito de Controlo	Máq. Estado Microprogramadas: Microprograma	L4
18/Mai a 22/Mai	Circuitos de Controlo, Transferência e Processamento de Dados de um Processador	Lógica Programável	P5
25/Mai a 29/Mai	P6	P6	L5

Teste 1

■ Tema da aula de hoje:

- ▶ Exemplo (Moore)
- ▶ Projecto de circuitos sequenciais baseados em contadores

□ Bibliografia:

- **M. Mano, C. Kime:** Secções 5.4 a 5.7
- **G. Arroz, J. Monteiro, A. Oliveira:** Secção 7.1 a 7.5

- Exemplo: Projecto de um Contador Ascendente/Descendente Síncrono de Módulo 5 (PADM5)

Diagrama de Estados

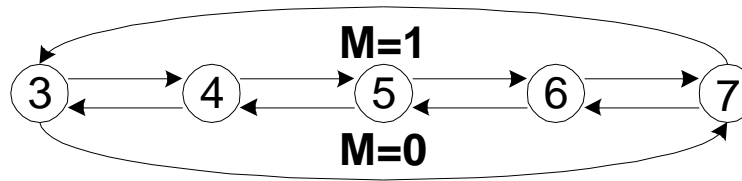
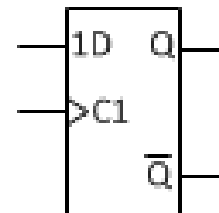


Tabela de Transição de Estados

Estado Presente (n)			Estado Seguinte (n+1)					
			M=0			M=1		
Q2	Q1	Q0	Q2	Q1	Q0	Q2	Q1	Q0
0	1	1	1	1	1	1	0	0
1	0	0	0	1	1	1	0	1
1	0	1	1	0	0	1	1	0
1	1	0	1	0	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	0	1	1

■ Contadores PADM5 (cont)

- ▶ Síntese das Funções de Entrada do FF0



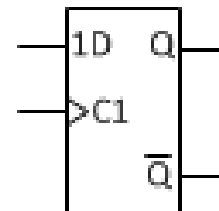
Estado Presente (n)			Q(n+1) = D(n)					
			M=0			M=1		
Q ₂	Q ₁	Q ₀	D ₂	D ₁	D ₀	D ₂	D ₁	D ₀
0	1	1	1	1	1	1	0	0
1	0	0	0	1	1	1	0	1
1	0	1	1	0	0	1	1	0
1	1	0	1	0	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	0	1	1

Q ₁ Q ₀		M Q ₂			
		00	01	11	10
M Q ₂	00	X	X	1	X
	01	1	0	0	1
	11	1	0	1	1
	10	X	X	0	X

$$D_0 = M Q_2 Q_1 + \bar{Q}_0 + \bar{M} \bar{Q}_2$$

■ Contadores PADM5 (cont)

- ▶ Síntese das Funções de Entrada do FF1



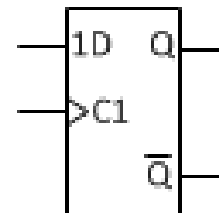
Estado Presente (n)			Q(n+1) = D(n)					
			M=0			M=1		
Q ₂	Q ₁	Q ₀	D ₂	D ₁	D ₀	D ₂	D ₁	D ₀
0	1	1	1	1	1	1	0	0
1	0	0	0	1	1	1	0	1
1	0	1	1	0	0	1	1	0
1	1	0	1	0	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	0	1	1

M Q ₂ \ Q ₁ Q ₀		Q ₁ Q ₀			
		00	01	11	10
00	X	X	1	X	
01	1	0	1	0	
11	0	1	1	1	
10	X	X	0	X	

$$D_1 = \overline{M} \overline{Q_1} \overline{Q_0} + M \overline{Q_1} Q_0 + \overline{M} Q_1 Q_0 + M Q_2 Q_1$$

■ Contadores PADM5 (cont)

- ▶ Síntese das Funções de Entrada do FF2



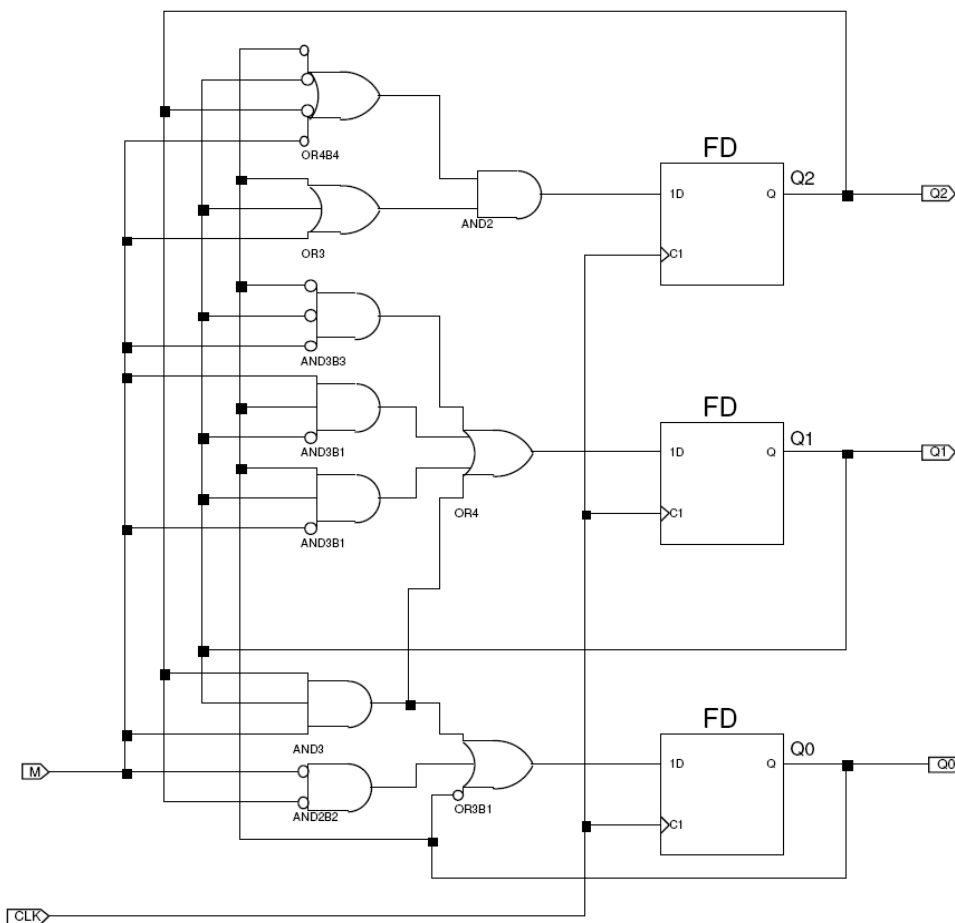
Estado Presente (n)			Q(n+1) = D(n)					
			M=0			M=1		
Q ₂	Q ₁	Q ₀	D ₂	D ₁	D ₀	D ₂	D ₁	D ₀
0	1	1	1	1	1	1	0	0
1	0	0	0	1	1	1	0	1
1	0	1	1	0	0	1	1	0
1	1	0	1	0	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	0	1	1

M Q ₂ \ Q ₁ Q ₀		Q ₁ Q ₀			
		00	01	11	10
00	X	X	1	X	
01	0	1	1	1	
11	1	1	0	1	
10	X	X	1	X	

$$D_2 = (\overline{M} + \overline{Q_2} + \overline{Q_1} + \overline{Q_0}) \cdot (M + Q_1 + Q_0)$$

■ Contadores PADM5 (cont)

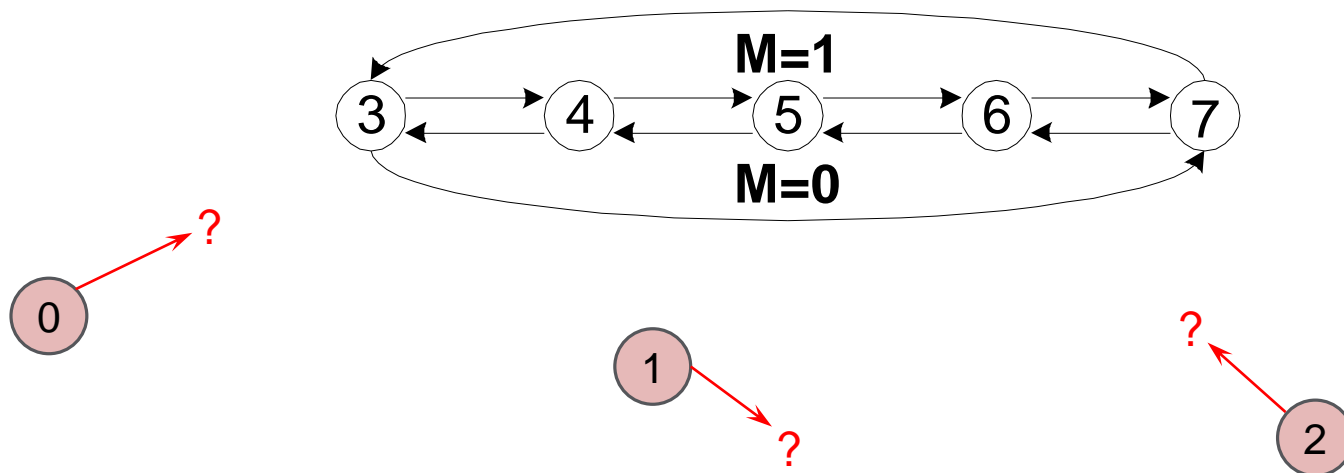
► Diagrama Lógico



■ Contadores PADM5 (cont)

- ▶ O que acontece se a máquina transitar para um estado fora da gama prevista (lock-out)?

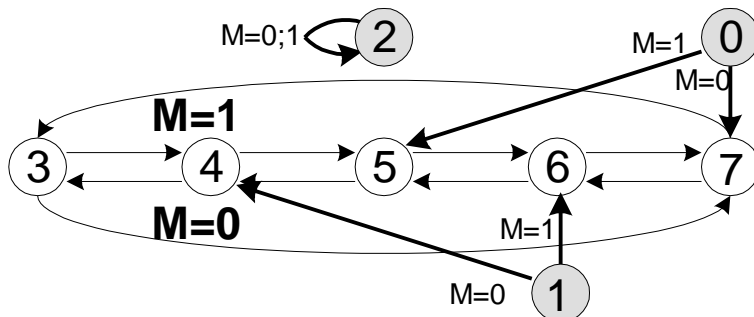
Diagrama de Estados



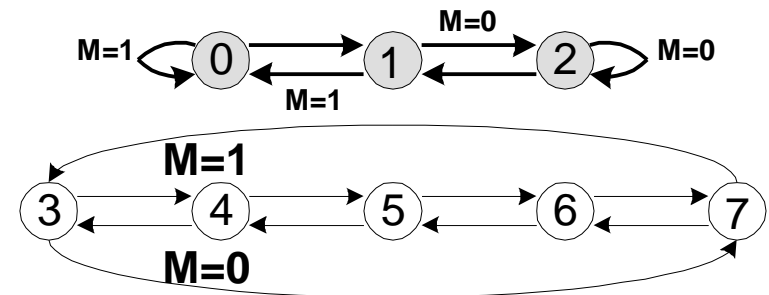
■ “LOCK-OUT” (revisão)

- ▶ Estados de LOCK-OUT: no caso de não serem utilizados todos os estados disponíveis, pode ocorrer a situação do contador se encontrar num estado não desejado (fora da sequência de contagem) devido a ruído no circuito ou à não imposição de estado inicial.
- ▶ Nessa situação ou o contador entra na sequência de contagem pretendida ou fica indefinidamente no exterior (Lock-Out).

Exemplo de Lock-Out (1)



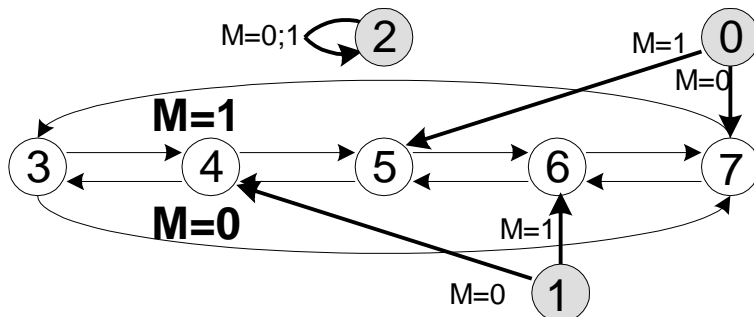
Exemplo de Lock-Out (2)



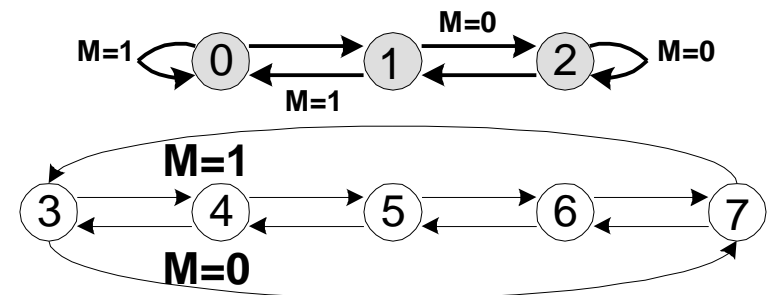
■ “LOCK-OUT” (revisão)

- ▶ **Solução 1:** impor a transição de qualquer estado externo para um estado da sequência de contagem
- ▶ **Solução 2:** considerar uma entrada extra, de inicialização, que coloque o sistema num dos estados de contagem pretendido.

Exemplo de Lock-Out (1)



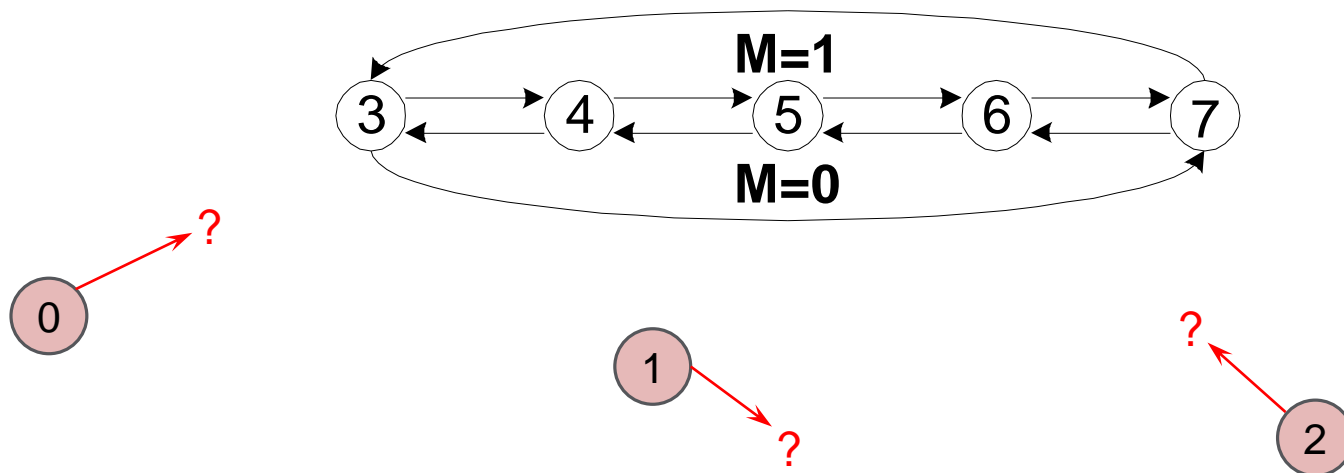
Exemplo de Lock-Out (2)



■ Contadores PADM5 (cont)

- ▶ O que acontece se a máquina transitar para um estado fora da gama prevista (lock-out)?

Diagrama de Estados



■ Contadores PADM5 (cont)

- ▶ O que acontece se a máquina transitar para um estado fora da gama prevista (lock-out)?

Funções de Excitação dos FFs

$$D_2 = (\overline{M} + \overline{Q}_2 + \overline{Q}_1 + \overline{Q}_0) \cdot (M + Q_1 + Q_0)$$

$$D_1 = \overline{M} \overline{Q}_1 \overline{Q}_0 + M \overline{Q}_1 Q_0 + \overline{M} Q_1 Q_0 + M Q_2 Q_1$$

$$D_0 = M Q_2 Q_1 + \overline{Q}_0 + \overline{M} \overline{Q}_2$$

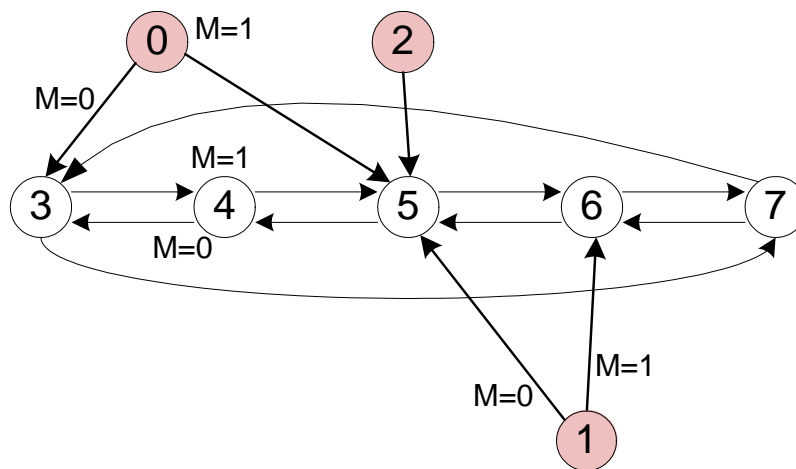
Tabela de Transição de Estados

Estado Presente (n)			Q(n+1) = D(n)					
			M=0			M=1		
Q2	Q1	Q0	D2	D1	D0	D2	D1	D0
0	0	0	0	1	1	1	0	1
0	0	1	1	0	1	1	1	0
0	1	0	1	0	1	1	0	1
0	1	1	1	1	1	1	0	0
1	0	0	0	1	1	1	0	1
1	0	1	1	0	0	1	1	0
1	1	0	1	0	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	0	1	1

Estados fora da gama prevista

■ Contadores PADM5 (cont)

- ▶ O que acontece se a máquina transitar para um estado fora da gama prevista (lock-out)?



Os estados, não considerados para efeito da contagem (S0, S1 e S2), permitem passar a máquina para a sequência de contagem pretendida ao fim de um ciclo de relógio.

■ Contadores PADM5 (cont)

- ▶ Projecto com Flip-Flops JK

Diagrama de Estados

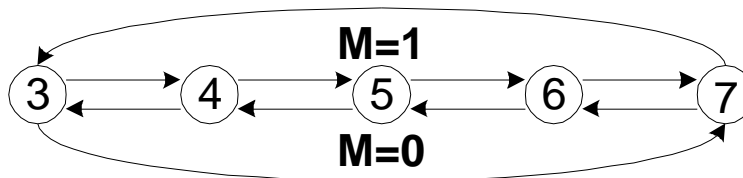


Tabela de Transição de Estados

Estado Presente (n)			Estado Seguinte (n+1)					
			M=0			M=1		
Q2	Q1	Q0	Q2	Q1	Q0	Q2	Q1	Q0
0	1	1	1	1	1	1	0	0
1	0	0	0	1	1	1	0	1
1	0	1	1	0	0	1	1	0
1	1	0	1	0	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	0	1	1

■ Contadores PADM5 (cont)

- ▶ Projecto com Flip-Flops JK

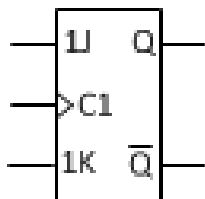


Tabela de Excitação do FF JK

$Q_n \rightarrow Q_{n+1}$	J	K
0 → 0	0	X
0 → 1	1	X
1 → 0	X	1
1 → 1	X	0

Tabela de Transição de Estados

Estado Presente (n)			Estado Seguinte (n+1)																	
			M=0								M=1									
Q2	Q1	Q0	Q2	Q1	Q0	J2	K2	J1	K1	J0	K0	Q2	Q1	Q0	J2	K2	J1	K1	J0	K0
0	1	1	1	1	1	1	X	X	0	X	0	1	0	0	1	X	X	1	X	1
1	0	0	0	1	1	X	1	1	X	1	X	1	0	1	X	0	0	X	1	X
1	0	1	1	0	0	X	0	0	X	X	1	1	1	0	X	0	1	X	X	1
1	1	0	1	0	1	X	0	X	1	1	X	1	1	1	X	0	X	0	1	X
1	1	1	1	1	0	X	0	X	0	X	1	0	1	1	X	1	X	0	X	0

■ Contadores PADM5 (cont)

► Síntese das Funções de Entrada do FF0: J0 e K0

Estado Presente (n)			Estado Seguinte (n+1)																	
			M=0								M=1									
Q2	Q1	Q0	Q2	Q1	Q0	J2	K2	J1	K1	J0	K0	Q2	Q1	Q0	J2	K2	J1	K1	J0	K0
0	1	1	1	1	1	1	X	X	0	X	0	1	0	0	1	X	X	1	X	1
1	0	0	0	1	1	X	1	1	X	1	X	1	0	1	X	0	0	X	1	X
1	0	1	1	0	0	X	0	0	X	X	1	1	1	0	X	0	1	X	X	1
1	1	0	1	0	1	X	0	X	1	1	X	1	1	1	X	0	X	0	1	X
1	1	1	1	1	0	X	0	X	0	X	1	0	1	1	X	1	X	0	X	0

J₀:

M Q ₂		Q ₁ Q ₀			
		00	01	11	10
00	X	X	X	X	
01	1	X	X	1	
11	1	X	X	1	
10	X	X	X	X	

K₀:

M Q ₂		Q ₁ Q ₀			
		00	01	11	10
00	X	X	0	X	
01	X	1	1	X	
11	X	1	0	X	
10	X	X	1	X	

$$J_0 = 1$$

$$K_0 = \bar{Q}_1 + \bar{M} Q_2 + M \bar{Q}_2$$

■ Contadores PADM5 (cont)

► Síntese das Funções de Entrada do FF1: J1 e K1

Estado Presente (n)			Estado Seguinte (n+1)																	
			M=0								M=1									
Q2	Q1	Q0	Q2	Q1	Q0	J2	K2	J1	K1	J0	K0	Q2	Q1	Q0	J2	K2	J1	K1	J0	K0
0	1	1	1	1	1	1	X	X	0	X	0	1	0	0	1	X	X	1	X	1
1	0	0	0	1	1	X	1	1	X	1	X	1	0	1	X	0	0	X	1	X
1	0	1	1	0	0	X	0	0	X	X	1	1	1	0	X	0	1	X	X	1
1	1	0	1	0	1	X	0	X	1	1	X	1	1	1	X	0	X	0	1	X
1	1	1	1	1	0	X	0	X	0	X	1	0	1	1	X	1	X	0	X	0

J₁:

M Q ₂	Q ₁ Q ₀			
	00	01	11	10
00	X	X	X	X
01	1	0	X	X
11	0	1	X	X
10	X	X	X	X

K₁:

M Q ₂	Q ₁ Q ₀			
	00	01	11	10
00	X	X	0	X
01	X	X	0	1
11	X	X	0	0
10	X	X	1	X

$$J_1 = \bar{M} \bar{Q}_0 + M Q_0$$

$$K_1 = \bar{M} \bar{Q}_0 + M \bar{Q}_2$$

■ Contadores PADM5 (cont)

► Síntese das Funções de Entrada do FF2: J2 e K2

Estado Presente (n)			Estado Seguinte (n+1)																	
			M=0								M=1									
Q2	Q1	Q0	Q2	Q1	Q0	J2	K2	J1	K1	J0	K0	Q2	Q1	Q0	J2	K2	J1	K1	J0	K0
0	1	1	1	1	1	1	X	X	0	X	0	1	0	0	1	X	X	1	X	1
1	0	0	0	1	1	X	1	1	X	1	X	1	0	1	X	0	0	X	1	X
1	0	1	1	0	0	X	0	0	X	X	1	1	1	0	X	0	1	X	X	1
1	1	0	1	0	1	X	0	X	1	1	X	1	1	1	X	0	X	0	1	X
1	1	1	1	1	0	X	0	X	0	X	1	0	1	1	X	1	X	0	X	0

J₂:

M Q ₂	Q ₁ Q ₀			
	00	01	11	10
00	X	X	1	X
01	X	X	X	X
11	X	X	X	X
10	X	X	1	X

K₂:

M Q ₂	Q ₁ Q ₀			
	00	01	11	10
00	X	X	X	X
01	1	0	0	0
11	0	0	1	0
10	X	X	X	X

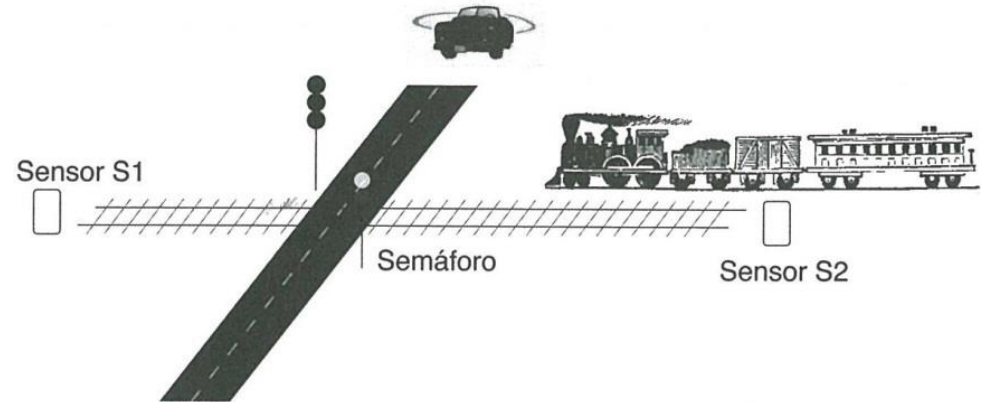
$$J_2 = 1$$

$$K_2 = \bar{M} \bar{Q}_1 \bar{Q}_0 + M Q_1 Q_0$$



CONTROLADORES BASEADOS EM CONTADORES

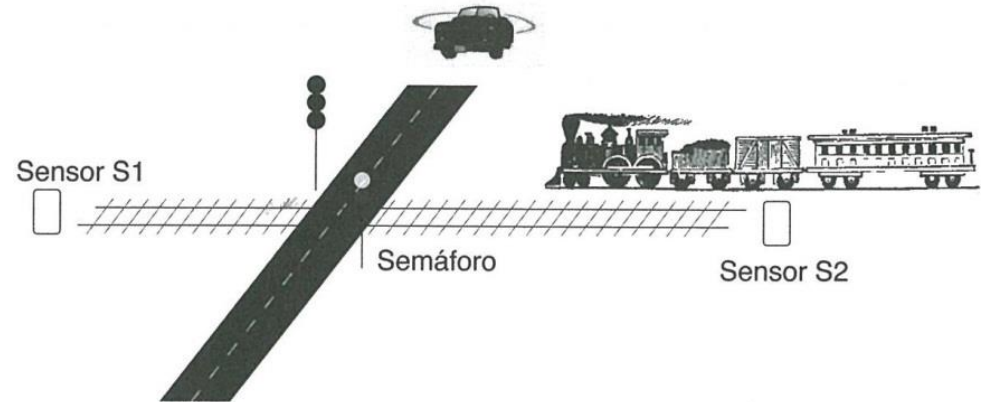
■ Exemplo: sistema de controlo de passagem de nível



► Premissas:

- Via férrea única
- Os automóveis não devem atravessar a linha enquanto o comboio se aproxima
- Dois sensores (S1 e S2), activados quando o comboio passa nas respectivas posições
- Sensores suficientemente afastados da passagem de nível

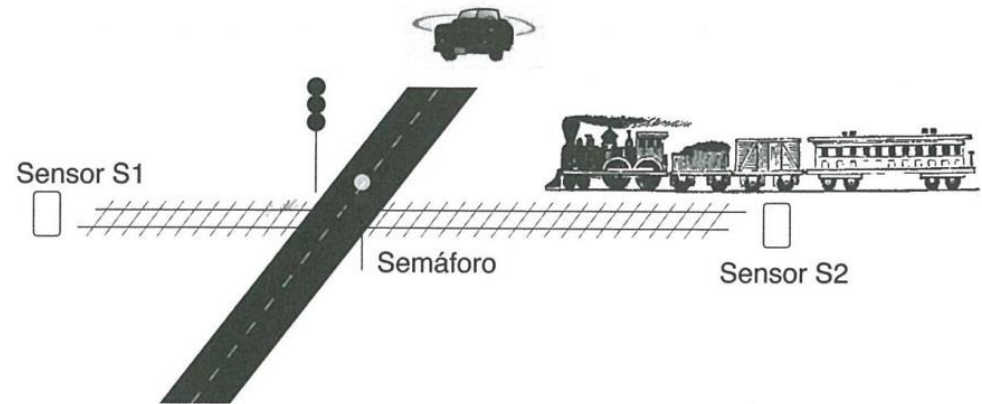
■ Exemplo: sistema de controlo de passagem de nível



► Funcionamento:

- Semáforos **verdes**, até que um comboio se aproxima, activando um dos sensores;
- Quando é detectada a aproximação de um comboio, os semáforos devem passar para **amarelo** e manter-se em **amarelo** durante um tempo pré-determinado, após o qual mudam para **vermelho**;
- Os semáforos devem manter-se **vermelhos** até que o comboio active o sensor do lado oposto àquele que activou quando se aproximou, mudando novamente para **verde** quando isso se verificar.

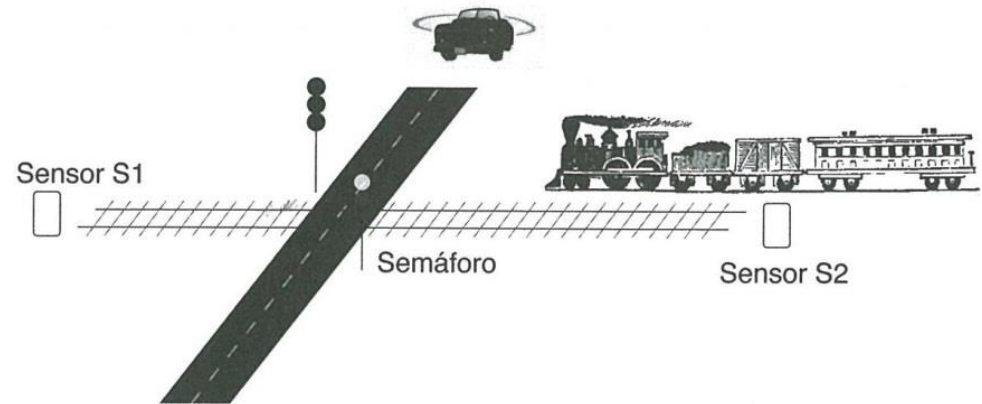
- Exemplo: sistema de controlo de passagem de nível



- ▶ Funcionamento (cont.):

- Para controlar o tempo que os semáforos devem ficar **amarelos**, o controlador tem acesso a um contador, que aceita uma entrada de *Reset* (ArranqueTemp) e que gera na sua saída um valor 1, quando passou o tempo desejado para a duração do sinal **amarelo**;

■ Exemplo: sistema de controlo de passagem de nível



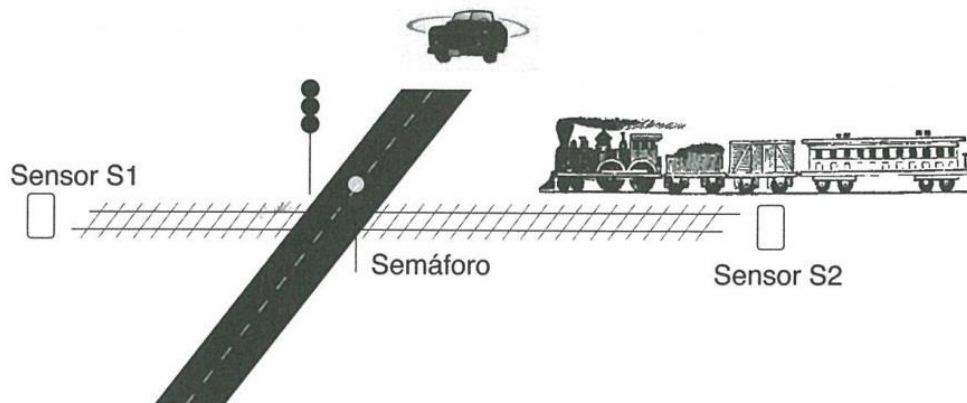
► Simplificações:

- Sendo uma linha de via única, nunca aparecem ao mesmo tempo comboios nas duas direcções;
- Os comboios nunca mudam de direcção;
- Os sensores são activados apenas por comboios.

■ Exemplo: sistema de controlo de passagem de nível

▶ Entradas:

- S1
- S2
- Temp (tempo expirou)



▶ Saídas:

- Verde
- Amarelo
- Vermelho
- ArranqueTemp (inicia tempo)

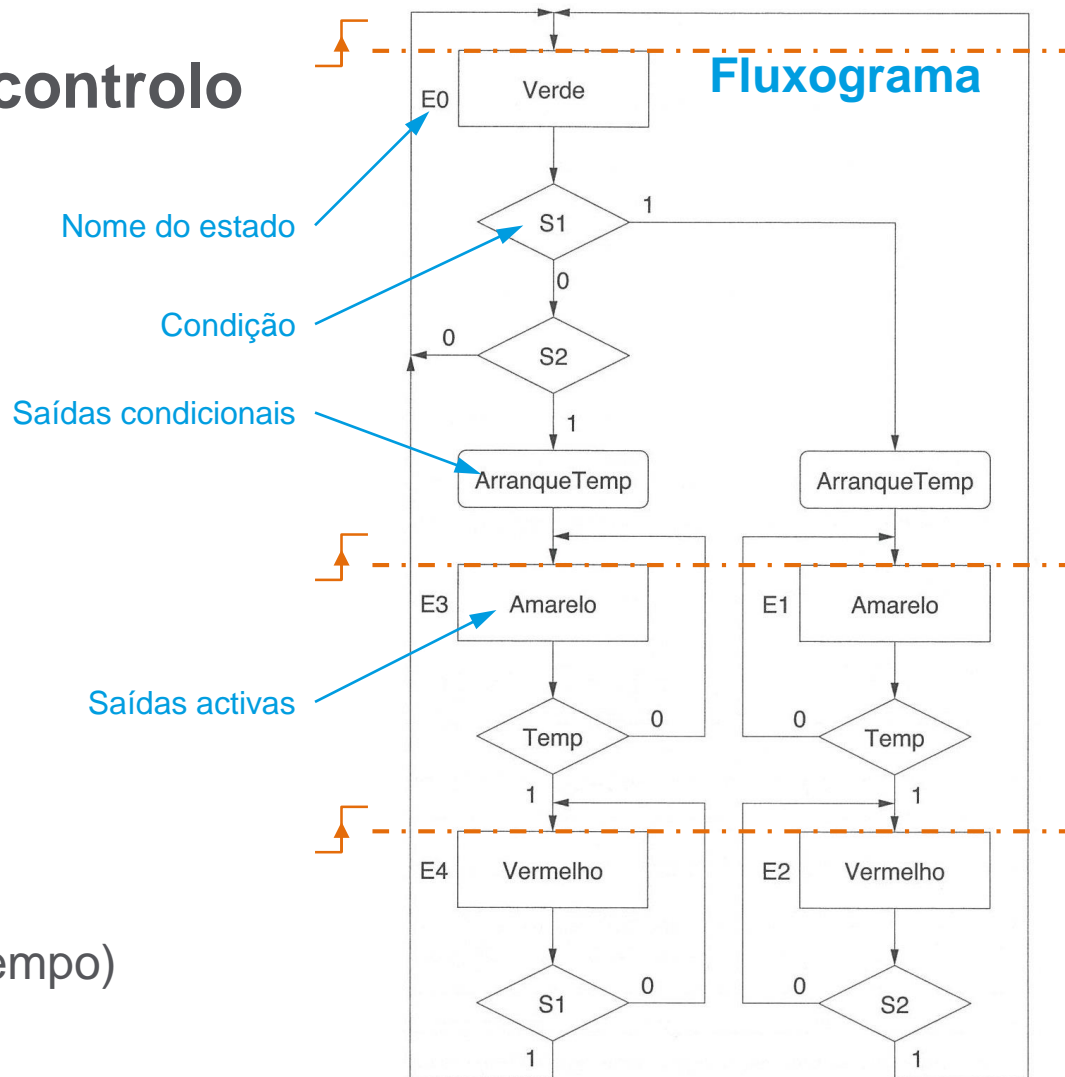
Exemplo: sistema de controlo de passagem de nível

▶ Entradas:

- S1
- S2
- Temp (tempo expirou)

▶ Saídas:

- Verde
- Amarelo
- Vermelho
- ArranqueTemp (inicia tempo)



■ Exemplo: sistema de controlo de passagem de nível

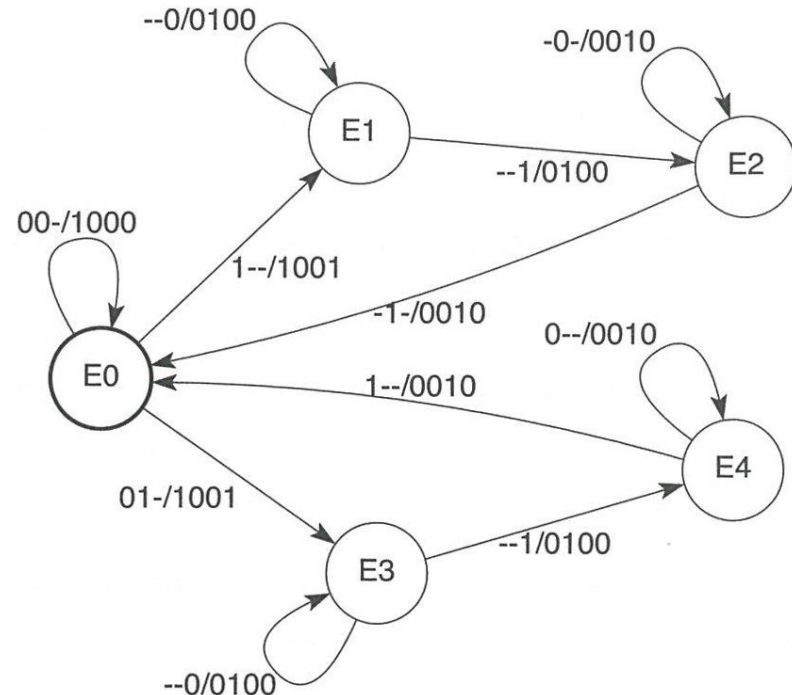
▶ Entradas:

- S1
- S2
- Temp (tempo expirou)

▶ Saídas:

- Verde
- Amarelo
- Vermelho
- ArranqueTemp (inicia tempo)

Diagrama de Estados



■ Controladores baseados em contadores

► Observações:

- Muitos circuitos de controlo caracterizam-se por sequências mais ou menos regulares de estados nos fluxogramas/diagramas de estado que caracterizam o seu funcionamento
- Muitos circuitos de controlo possuem um número elevado de entradas e um número elevado de saídas. Contudo:
 - o número de entradas amostradas em cada estado é frequentemente muito inferior;
 - o número de saídas activas em cada estado é, em geral, uma pequena fracção do número total de saídas do circuito.

Exemplos:

- sinais de carregamento de registos
- controlos de encaminhamento de dados

que apenas estão activos numa pequena fracção dos instantes de tempo necessários ao funcionamento.

■ Exemplo: sistema de controlo de passagem de nível

- ▶ Sequência regular de estados

+

- ▶ Poucas entradas amostradas em cada estado

+

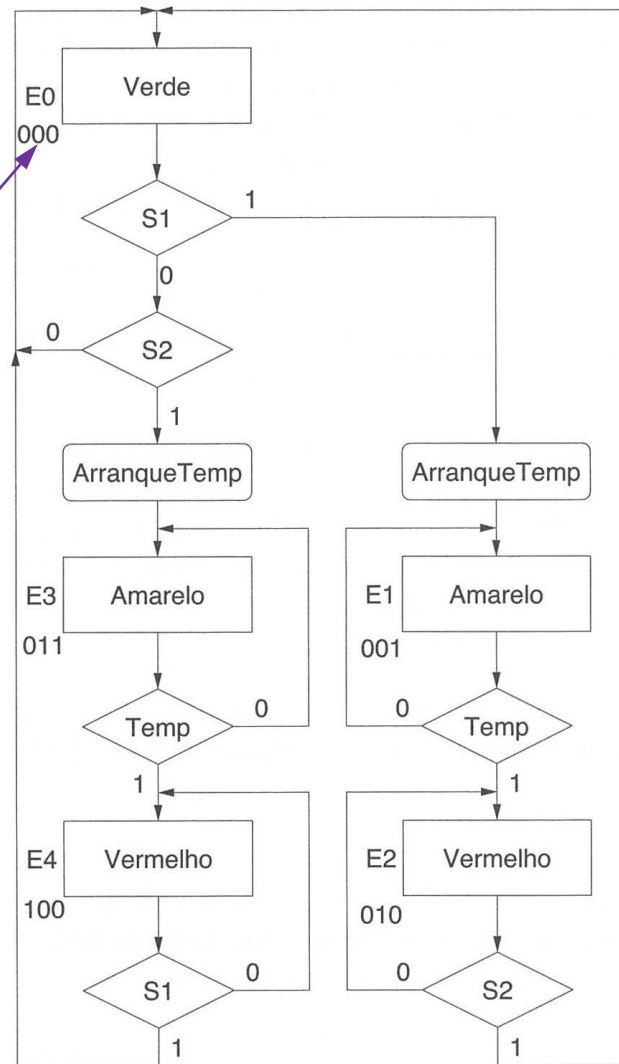
- ▶ Poucas saídas activas em cada estado



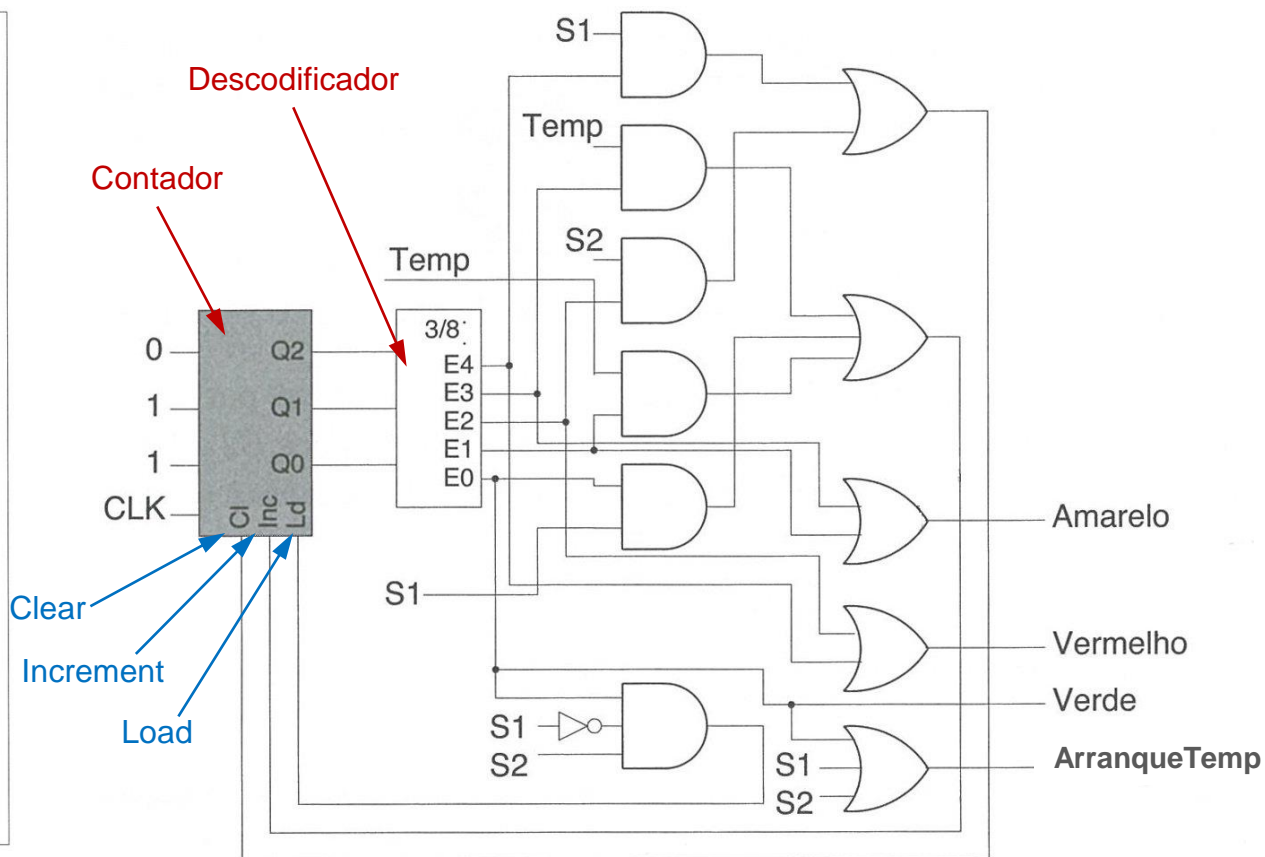
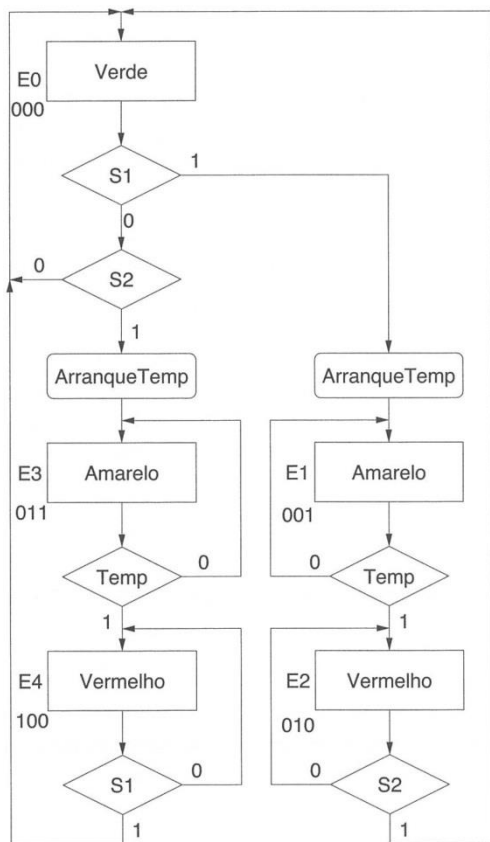
Implementação:

Contador + Descodificador

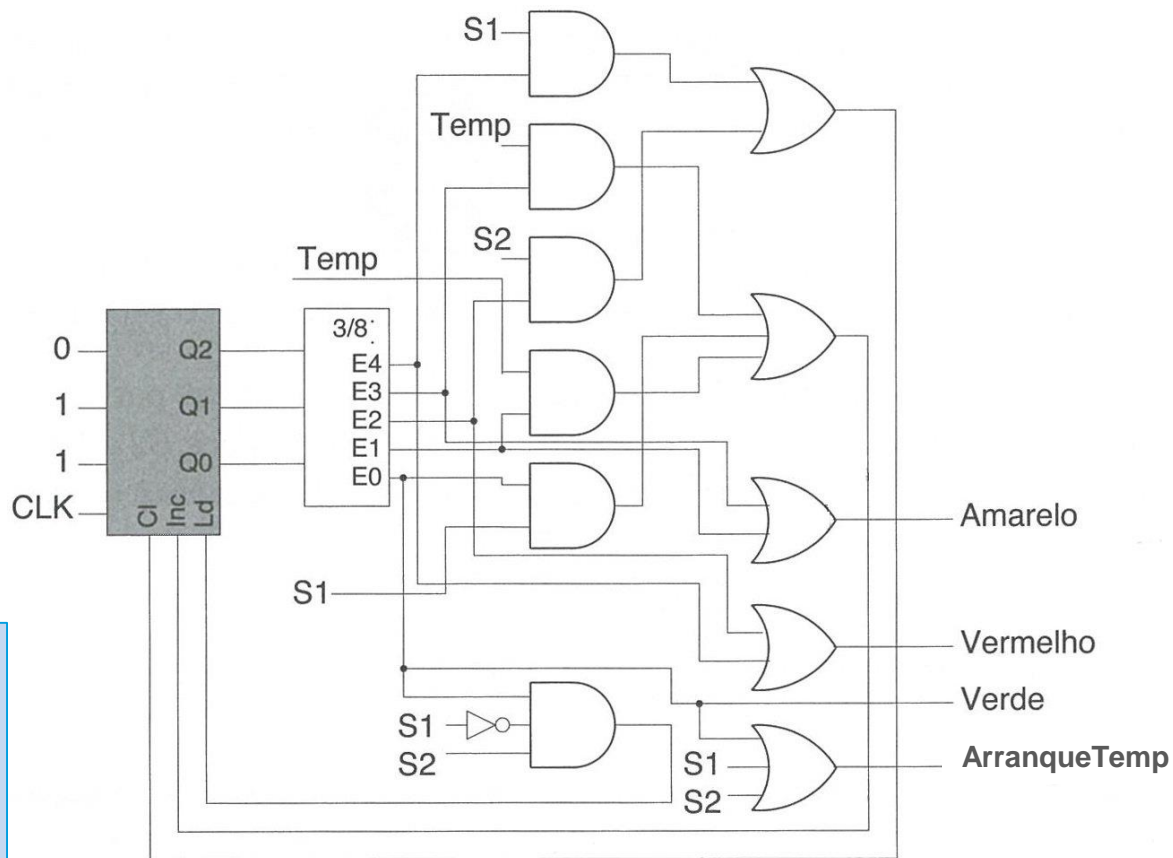
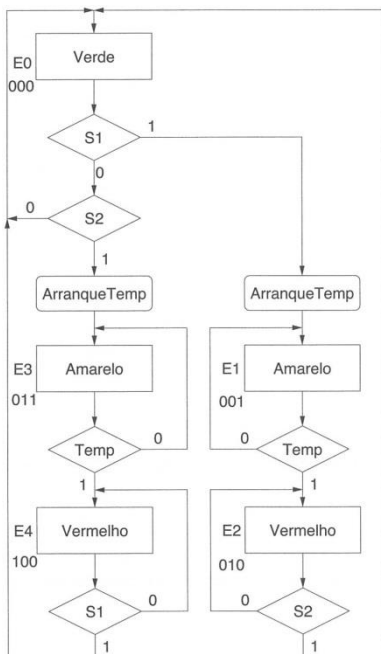
Codificação do estado



Exemplo: sistema de controlo de passagem de nível



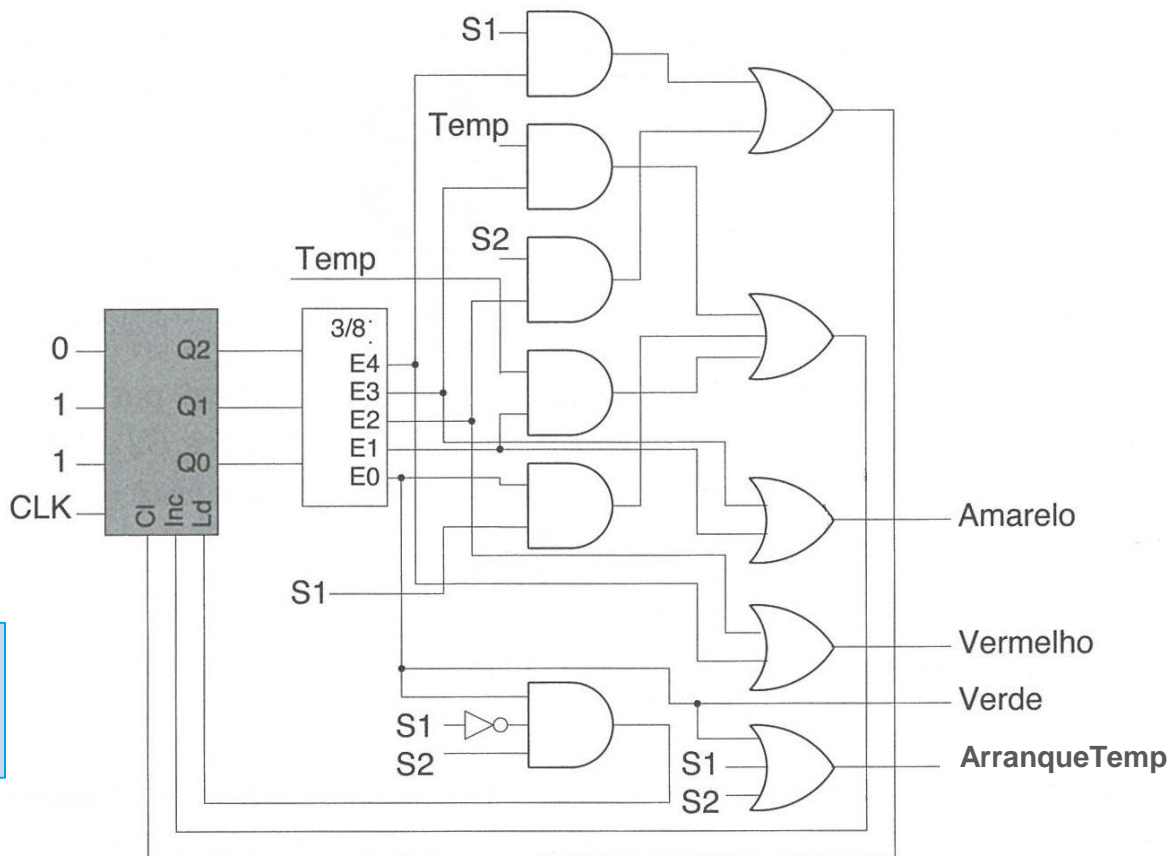
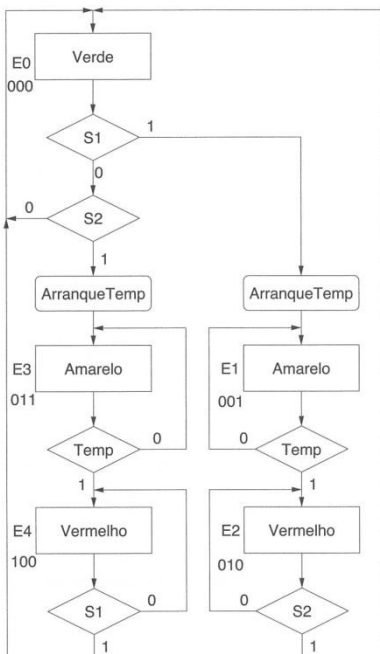
Exemplo: sistema de controlo de passagem de nível



O contador transita para o estado **000** (*Clear*) a partir de um outro estado quando está no:

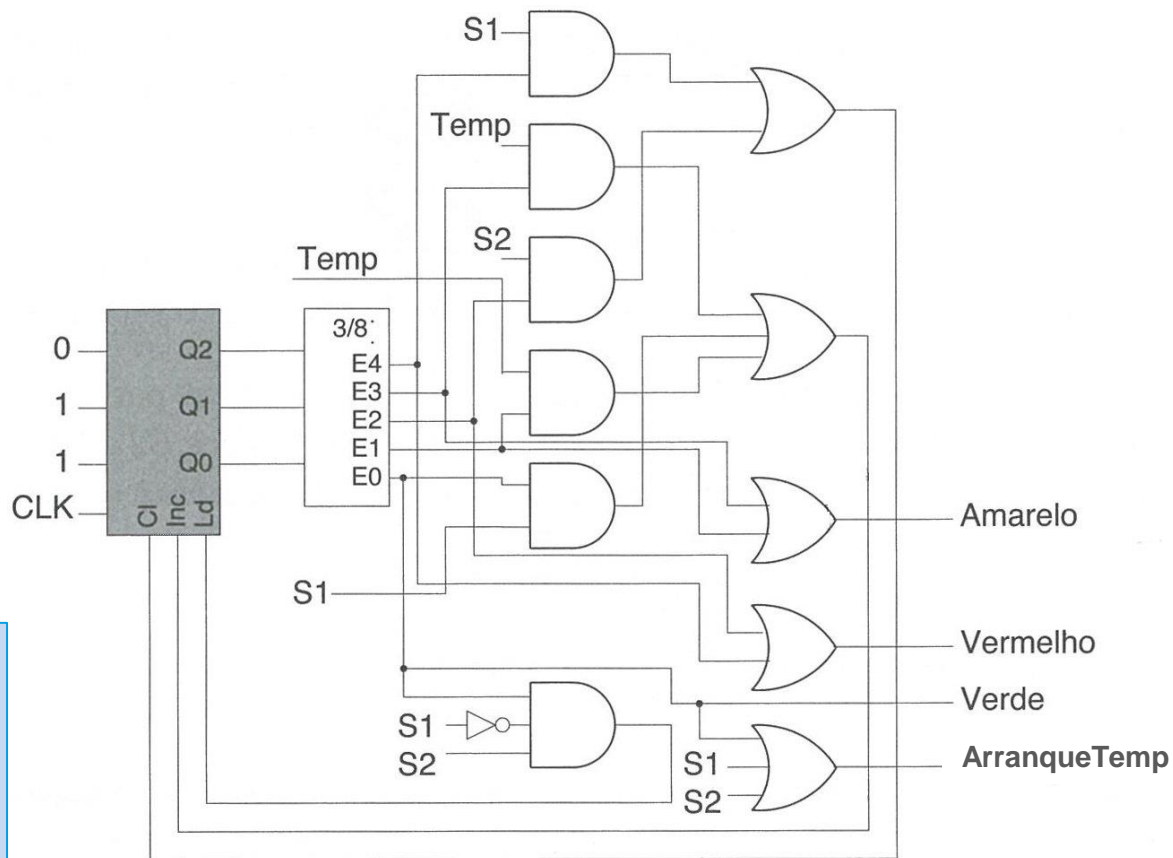
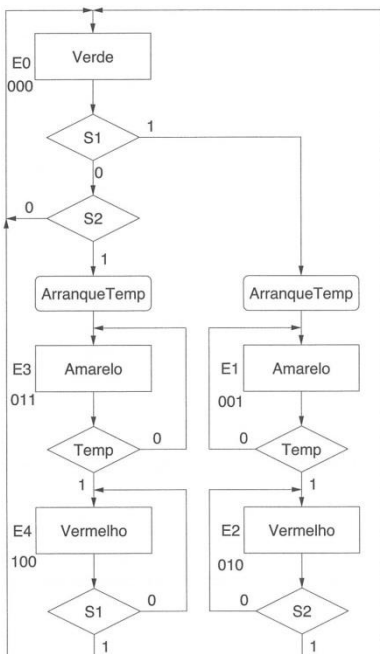
- Estado E2 e S2=1
- Estado E4 e S1=1

Exemplo: sistema de controlo de passagem de nível



O contador deverá saltar directamente para o estado **011** (*Load*) quando está no estado E0 e S1=0 e S2=1

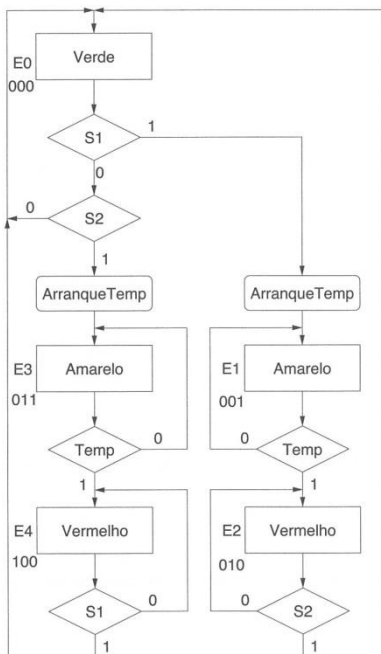
Exemplo: sistema de controlo de passagem de nível



O contador deverá contar (*Inc*) quando está no:

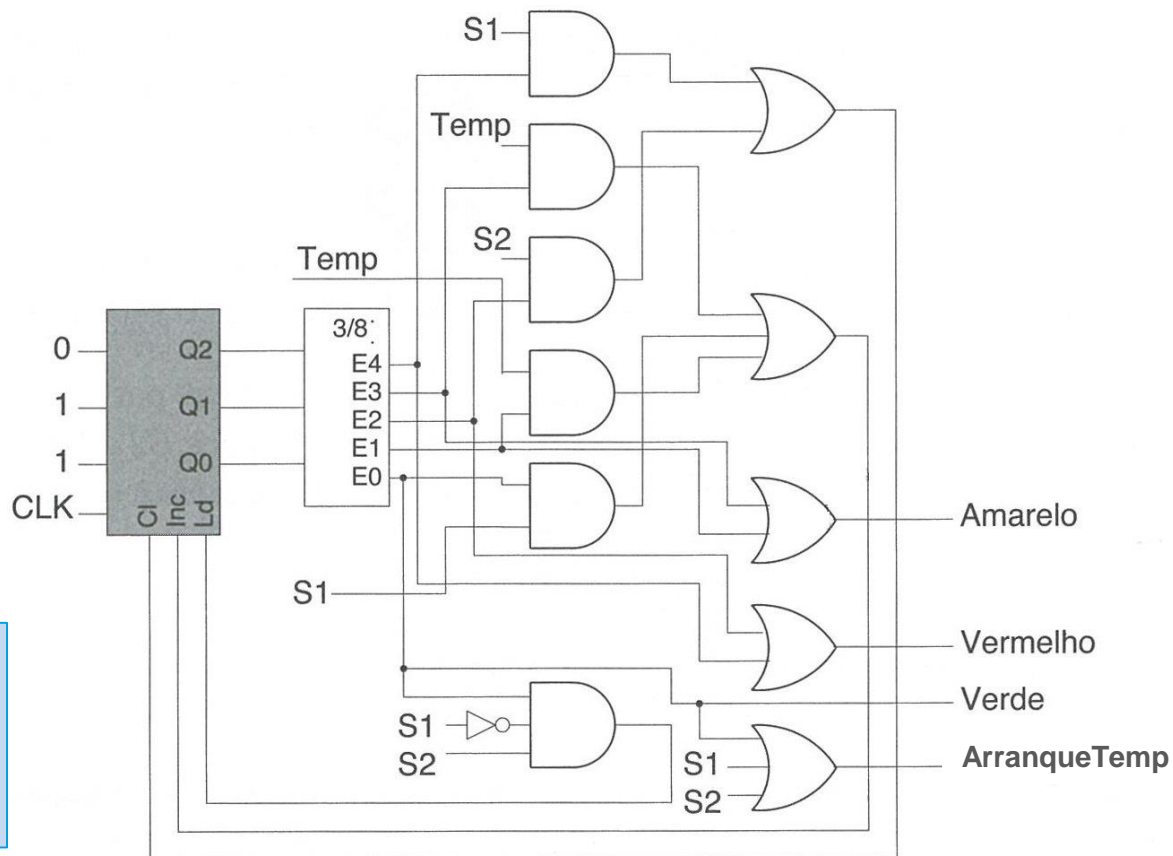
- Estado E0 e S1=1
- Estado E1 e Temp=1
- Estado E3 e Temp=1

Exemplo: sistema de controlo de passagem de nível

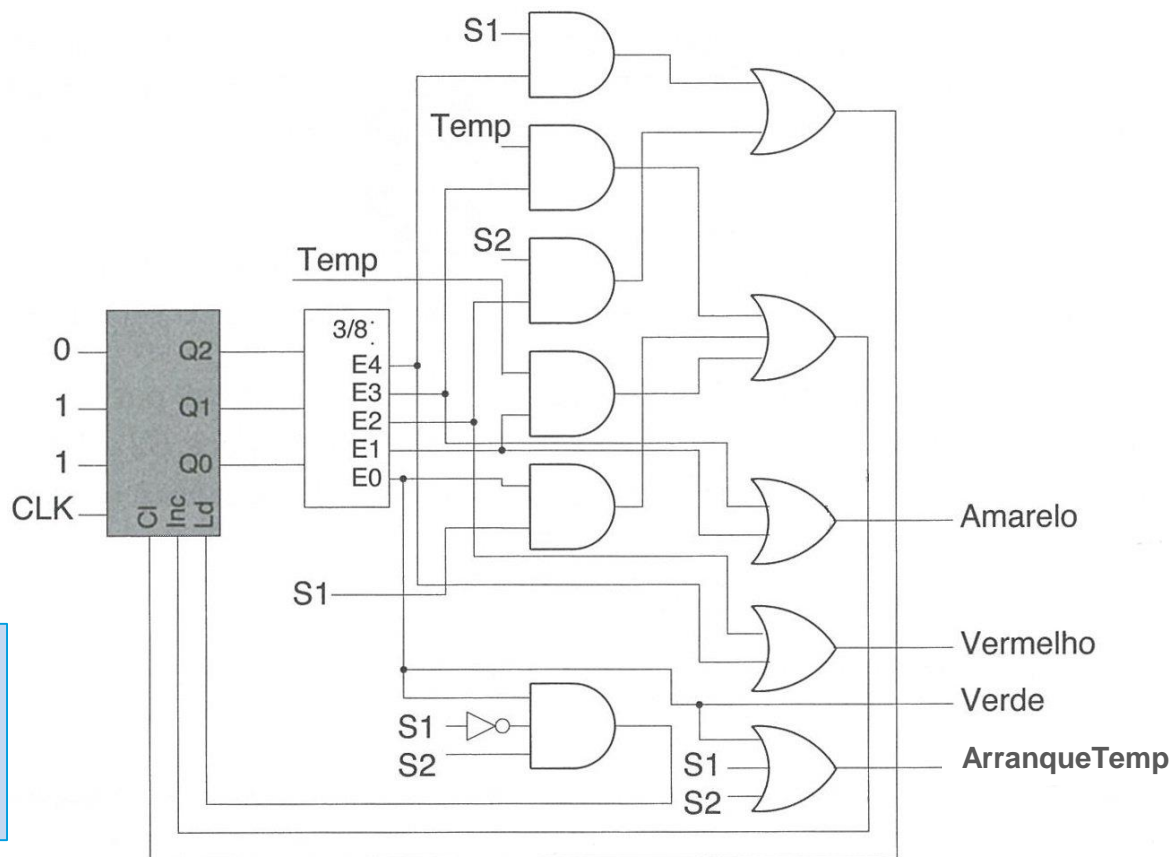
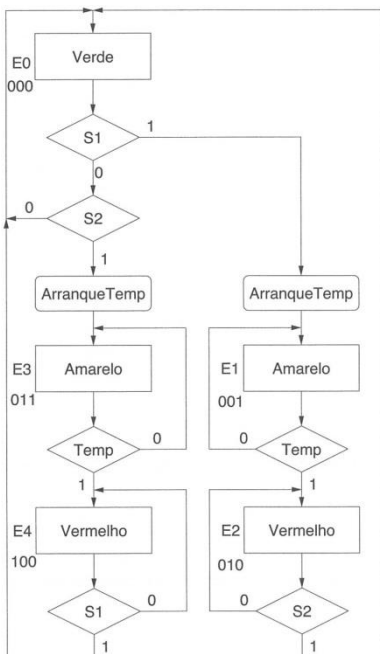


Saídas:

- Verde=1 quando E0
- Amarelo=1 quando E1 ou E3
- Vermelho=1 quando E2 ou E4



Exemplo: sistema de controlo de passagem de nível

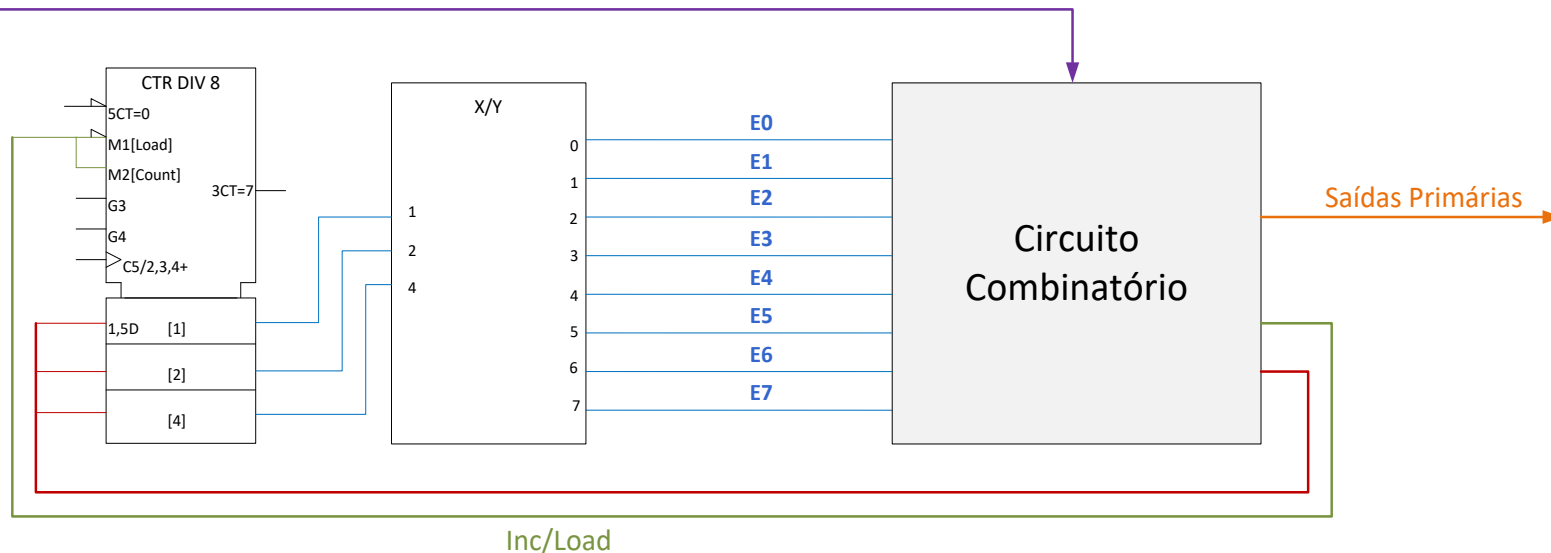


Exercício:

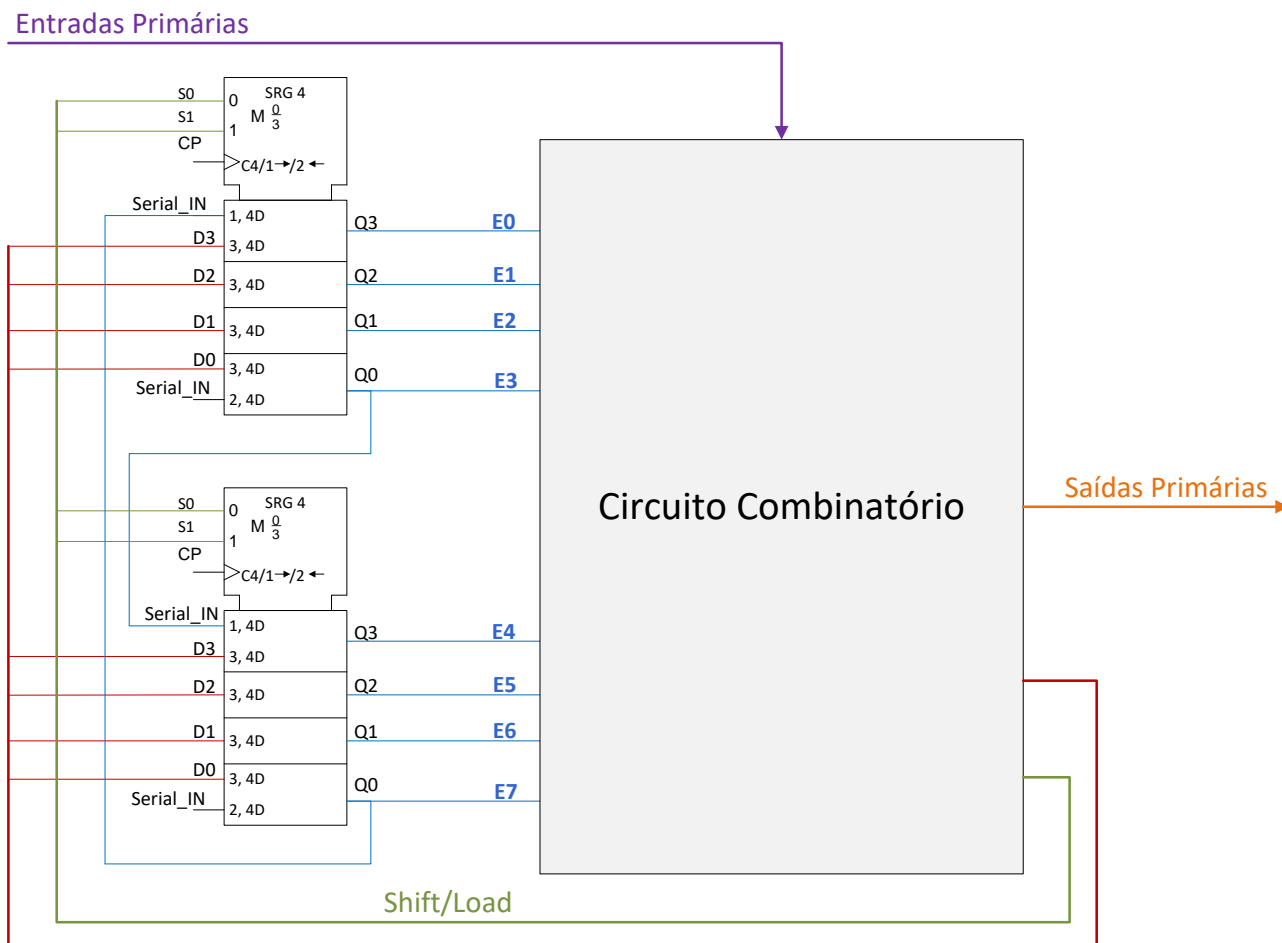
- O circuito tem um erro no cálculo do valor da saída ArranqueTemp. Qual é a solução correcta?

- Configuração genérica baseada em contador + decodificador

Entradas Primárias



- **Configuração genérica baseada em registos de deslocamento**



■ Tema da Próxima Aula:

▶ Memórias:

- Circuitos e tecnologias de memória:
 - RAM:
 - Estática
 - Dinâmica
 - ROM
- Planos de memória
- Mapa de memória
- Hierarquia de memória

Agradecimentos

Algumas páginas desta apresentação resultam da compilação de várias contribuições produzidas por:

- Nuno Roma
- Guilherme Arroz
- Horácio Neto
- Nuno Horta
- Pedro Tomás