



UNIDADE CURRICULAR: Arquitetura de Computadores

CÓDIGO: 21010

DOCENTE: Nelson Russo

A preencher pelo estudante

NOME: Tiago Miguel do Nascimento Coimbra

N.º DE ESTUDANTE: 2500190

CURSO: Licenciatura de Engenharia Informática

Auto-avaliação:

Critérios	Alinea A	Alínea B	Alínea C	Alínea D
Funcionalidade (50%)				n/a
Modularidade (20%)				
Apresentação (10%)				
Relatório (20%)				

Auto-avaliação de acordo com o avaliador: +0.1 na nota do e-fólio

Critérios de correção:

- Funcionalidade: penalizações de funcionamento incorreto divulgadas no lançamento de notas
- Modularidade: utilização correta de macros no simulador
- Apresentação:
 - 0.5 linhas na horizontal/vertical, excepto no display de 7 segmentos
 - 0.5 boa apresentação geral do circuito (posição de componentes e forma das macros)
- Relatório:
 - 0.5 Opções tomadas bem especificadas e justificadas
 - Todos os cálculos realizados descritos

TRABALHO / RESOLUÇÃO:

A) RELÉ DE SEGURANÇA

1. Especificação e Estados

O relé de segurança recebe quatro entradas digitais E1, E2, E e R e fornece três saídas L1, L2 e Q.

- E1, E2 - sinais de emergência (1 = emergência não detetada, 0 = falha).
- E - Enable (autoriza a ativação do relé).
- R - Reset (repõe situação segura após emergência).
- L1, L2 - indicam o estado atual do relé.
- Q - informa os circuitos a jusante se existe condição segura de operação.

Foi escolhida uma máquina de Moore com dois bits de estado Y1 e Y0, escolhidos para coincidirem com L1 e L2.

Estado	Significado	L1	L2	Q	Codificação (Y1 Y0)
S0	Não pronto	0	0	0	00
S1	Pronto a ativar	0	1	0	01
S2	Ativado	1	0	1	10
S3	Emergência detetada	1	1	0	11

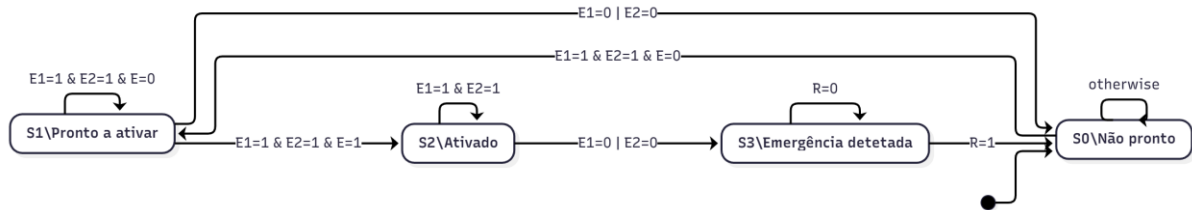
Logo:

- $L1 = Y1$
- $L2 = Y0$
- $Q = Y_1 \cdot \overline{Y_0}$ (ativo apenas em S2).

2. Diagrama de Estados (Descrição)

- S0 (00) - não pronto. Se $E1 = 1, E2 = 1, E = 0$ passa a S1; caso contrário mantém-se em S0.
- S1 (01) - pronto a ativar. Se $E1 = 0$ ou $E2 = 0$ volta a S0. Se $E1 = 1, E2 = 1, E = 1$ passa a S2; se $E1 = 1, E2 = 1, E = 0$ mantém-se em S1.
- S2 (10) - ativado. Se $E1 = 0$ ou $E2 = 0$ passa a S3; se $E1 = 1, E2 = 1$ mantém-se em S2.

- S3 (11) - emergência detetada. Se $R = 1$) volta a S0; se $R = 0$ mantém-se em S3.



3. Tabela de Transições Compacta

Usando x como “*don’t care*” nas entradas que não influenciam o próximo estado:

Y1	Y0	E1	E2	E	R	Y1 ⁺	Y0 ⁺	Observação
0	0	1	1	0	x	0	1	S0 → S1
0	0	x	x	x	x	0	0	S0 → S0
0	1	0	x	x	x	0	0	S1 → S0
0	1	x	0	x	x	0	0	S1 → S0
0	1	1	1	1	x	1	0	S1 → S2
0	1	1	1	0	x	0	1	S1 → S1
1	0	0	x	x	x	1	1	S2 → S3
1	0	x	0	x	x	1	1	S2 → S3
1	0	1	1	x	x	1	0	S2 → S2
1	1	x	x	x	0	1	1	S3 → S3
1	1	x	x	x	1	0	0	S3 → S0

4. Equações de Próximo Estado e Escolha dos Flip-Flops

Foram usados dois flip-flops D, FF_Y1 e FF_Y0, com relógio comum CLK. Para simplificar define-se:

- $EMOK = E1 \cdot E2$
- $EMNOK = \overline{E1} + \overline{E2}$

A partir da tabela obtêm-se as funções de excitação:

$$D_1 = Y_1(\overline{Y_0} + \overline{R}) + \overline{Y_1}Y_0EMOK \cdot ED_0 = \overline{Y_1}EMOK \cdot \overline{E} + Y_1\overline{Y_0}EMNOK + Y_1Y_0 \cdot \overline{R}$$

Estas expressões foram implementadas com portas AND, OR e NOT. As saídas são realizadas por ligações diretas (L1, L2) e uma porta AND para $Q = Y_1 \cdot \overline{Y_0}$.

5. Testes de Validação (Exemplo)

Teste 1 - Sequência normal ($S0 \rightarrow S1 \rightarrow S2 \rightarrow S2$)

tempo	E1	E2	E	R	Y1Y0	Estado	L1	L2	Q
t0	0	0	0	0	00	S0 -Não pronto	0	0	0
t1	1	1	0	0	01	S1 -Pronto	0	1	0
t2	1	1	1	0	10	S2 -Ativado	1	0	1
t3	1	1	1	0	10	S2 -Ativado	1	0	1

No Teste 1 simulou-se a sequência normal de funcionamento: a partir de S0, com E1=E2=1 e E=0 o sistema passa a S1 (pronto); ativando E=1 passa para S2 (ativado, Q=1) e mantém-se nesse estado enquanto as emergências se mantiverem ativas.

Teste 2 -Falha de emergência em S1 e em S2

tempo	E1	E2	E	R	Y1Y0	Estado	L1	L2	Q
t0	0	0	0	0	00	S0 -Não pronto	0	0	0
t1	1	1	0	0	01	S1 -Pronto	0	1	0
t2	0	1	0	0	00	S0 -Não pronto (falha em S1)	0	0	0
t3	1	1	0	0	01	S1 -Pronto	0	1	0
t4	1	1	1	0	10	S2 -Ativado	1	0	1
t5	0	1	1	0	11	S3 -Emergência detetada	1	1	0

No Teste 2 verificou-se que uma falha em qualquer emergência provoca o regresso a um estado seguro: em S1 a perda de E1 faz regressar a S0; em S2, uma falha de emergência leva a S3 (emergência detetada) e Q volta a zero.

tempo	E1	E2	E	R	Y1Y0	Estado	L1	L2	Q
t0	0	1	1	0	11	S3 -Emergência detetada	1	1	0
t1	0	1	1	1	00	S0 -Não pronto (reset)	0	0	0

No Teste 3 confirmou-se que, a partir de S3, o sinal de reset R=1 faz a máquina regressar a S0, independentemente dos restantes sinais, cumprindo o comportamento especificado.

B) CONTADOR DE 0 A 99

1. Especificação

Pretende-se um contador síncrono que conte de 0 a 99 em código BCD, apresentando o valor em dois displays de 7 segmentos. Quando atinge 99, o contador deve manter-se neste valor até ser ativado o sinal de reset R.

Entradas: CLK, R.

Saídas internas: D3..D0 (dezenas em BCD), U3..U0 (unidades em BCD).

Saídas externas: segmentos a..g de cada display.

2. Arquitetura Geral

O circuito foi implementado numa macro CONTO_99 com três blocos internos:

1. Dois contadores síncronos 0-9 (CNT0_9), um para as unidades e outro para as dezenas, realizados com quatro flip-flops JK cada.
2. Lógica de deteção de 9 e de 99 e inibição de relógio.
3. Dois módulos BCD7 para conversão BCD \rightarrow 7 segmentos.

3. Contadores 0-9 e Deteção de 99

Cada CNT0_9 percorre a sequência BCD

$$0000 \rightarrow 0001 \rightarrow \dots \rightarrow 1001 \rightarrow 0000$$

com um bloco RESET_10 que deteta o código 1010 e força o retorno a 0000.

Os códigos 9 (1001) são detetados por:

- $MAX9_U = U_3 \cdot \overline{U_2} \cdot \overline{U_1} \cdot U_0$
- $MAX9_D = D_3 \cdot \overline{D_2} \cdot \overline{D_1} \cdot D_0$

O valor 99 resulta de:

$$MAX99 = MAX9_U \cdot MAX9_D$$

O relógio efetivo de cada contador é então:

- $CLK_U = CLK \cdot \overline{MAX99}$
- $CLK_D = CLK \cdot \overline{MAX99}$

Quando $MAX99 = 0$ a contagem decorre normalmente; quando $MAX99 = 1$ os contadores deixam de receber impulsos e o valor 99 mantém-se até novo reset.

4. Conversores BCD→7 Segmentos (BCD7)

Cada módulo BCD7 recebe um nibble BCD e gera os segmentos a..g de um display common cathode. As funções de cada segmento foram obtidas a partir da tabela BCD 0-9 → a..g e simplificadas com mapas de Karnaugh de 4 variáveis, originando expressões do tipo soma de produtos, por exemplo:

$$a = f_a(B_3, B_2, B_1, B_0), \quad g = f_g(B_3, B_2, B_1, B_0).$$

Os dois BCD7 são idênticos, sendo o superior ligado às dezenas D3..D0 e o inferior às unidades U3..U0.

5. Testes de Validação

Foram realizados testes de simulação no Digital Works para verificar o comportamento do contador.

Teste 1 -Contagem normal

tempo	CLK (flanco)	R	D3D2D1D0	U3U2U1U0	Valor
t0	—	1	0000	0000	00
t1	↑	0	0000	0000	00
t2	↑	0	0000	0001	01
...	...	0

O contador incrementa corretamente as unidades e faz o transporte para as dezenas (por exemplo, de 09 para 10, 19 para 20, etc.).

Teste 2 -Atingir e manter o estado 99

tempo	CLK (flanco)	R	D3D2D1D0	U3U2U1U0	Valor	MAX99
t0	—	1	0000	0000	00	0
...	...	0	0
t100	↑	0	1001	1001	99	1
t101	↑	0	1001	1001	99	1

Após atingir 99, $MAX99 = 1$ inibe os relógios dos dois contadores e o valor mantém-se estável até novo reset.

Teste 3 -Reset a partir de 99

tempo	CLK (flanco)	R	D3D2D1D0	U3U2U1U0	Valor
t0	—	0	1001	1001	99
t1	—	1	0000	0000	00

Com $R = 1$ o contador regressa ao estado 00 e, quando o relógio volta a ser aplicado com $R = 0$, retoma a contagem normal a partir de 0.

C) ATUAÇÕES DOS CANAIS DE EMERGÊNCIA

1. Objetivo e Macros Usadas

Pretende-se mostrar ao CEO quantas vezes foi atuado cada canal de emergência:

- Canal 1 - cogumelo de emergência (E1).
- Canal 2 - barreira de infravermelhos (E2).

Para isso são reutilizadas macros das alíneas anteriores:

- Macro Relé de Segurança (alínea a), com E1, E2, E, R, CLK e saídas L1, L2, Q.
- Macro M-CONTO_99 (alínea b), que encapsula o contador 0-99 e os BCD7.

Na alínea c) usam-se duas instâncias da macro M-CONTO_99:

- M-CONTO_99_E1 - contador de atuações do canal E1.
- M-CONTO_99_E2 - contador de atuações do canal E2.

O sinal de reset global R é ligado à macro do relé e às duas macros M-CONTO_99, garantindo que o sistema e as estatísticas voltam a 00 em simultâneo.

2. Detetor de Atuação (Flanco de Descida)

A cada atuação relevante corresponde uma transição de 1 para 0 em E1 ou E2. Para gerar apenas um impulso de contagem por atuação, mesmo que o botão fique premido ou a barreira permaneça interrompida, foi usado um detetor de flanco de descida para cada canal, comandado por CLK_Global.

Para E1:

- Primeiro flip-flop D: armazena o valor atual $E1_{atual}$ com $E1_{atual}^+ = E1$.
- Segundo flip-flop D: armazena o valor anterior $E1_{antigo}$ com $E1_{antigo}^+ = E1_{atual}$.
- O impulso de contagem é: $PULSE_{E1} = E1_{antigo} \cdot \overline{E1_{atual}}$
- O relógio da macro é $CLK_{E1} = PULSE_{E1}$.

De modo idêntico para E2:

- $PULSE_{E2} = E2_{antigo} \cdot \overline{E2_{atual}}$, $CLK_{E2} = PULSE_{E2}$.

Assim, cada atuação física no cogumelo ou na barreira gera um único pulso para a respetiva macro M-CONTO_99, incrementando o contador de 0-99.

3. Integração com o Relé e Testes

Os sinais E1 e E2 alimentam simultaneamente a macro do Relé de Segurança (que gere os estados S0-S3 e a saída Q) e os detetores de atuação que produzem PULSE_E1 e PULSE_E2.

Teste 1 - Atuações apenas em E1 (cogumelo)

tempo	E1	E2	E	R	Contador E1	Contador E2	Observação
t0	1	1	1	0	00	00	Sistema em operação
t1	0	1	1	0	01	00	1. ^a atuação do cogumelo
t2	0	1	1	0	01	00	Mantém premido

Teste 2 - Atuações apenas em E2 (barreira)

tempo	E1	E2	E	R	Contador E1	Contador E2	Observação
t0	1	1	1	0	01	00	Estado inicial
t1	1	0	1	0	01	01	1. ^a interrupção da barreira

Teste 3 - Reset das Estatísticas

tempo	E1	E2	E	R	Contador E1	Contador E2
t0	1	1	1	0	05	03
t1	1	1	1	1	00	00

Os resultados confirmam que o relé mantém o comportamento da alínea a) e que cada macro M-CONTO_99 registra corretamente o número de atuações do canal respectivo.