

CIRCUITOS DIGITAIS

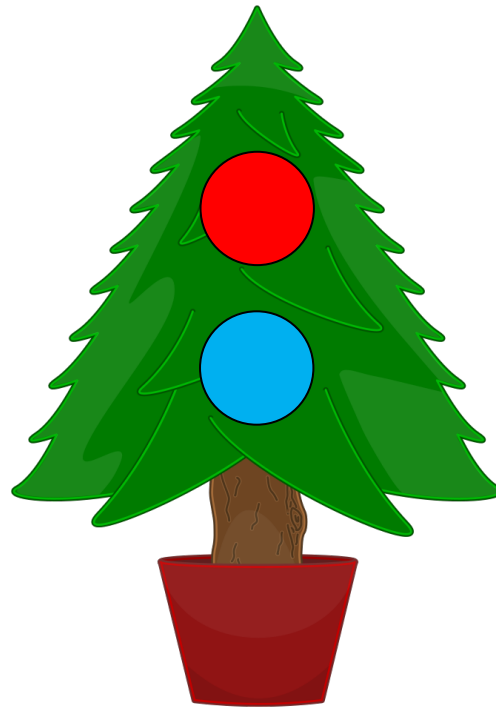
MÁQUINAS DE ESTADO

Prof. Marcelo Grandi Mandelli

`mgmandelli@unb.br`

Exemplo 1

- Projete uma máquina de estados de **Moore** para um sistema de acendimento de luzes de uma árvore de natal:
 - Há duas luzes na árvore de natal: uma **VERMELHA** e uma **AZUL**.



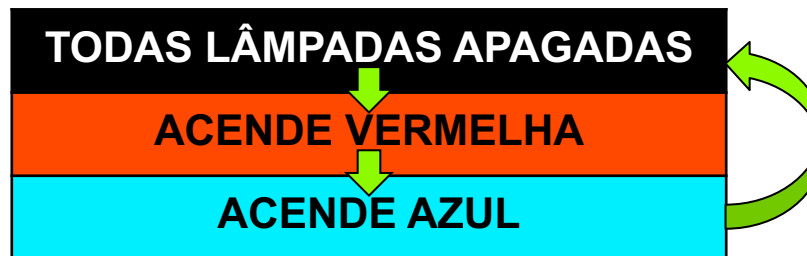
Exemplo 1

- Ao se ligar o sistema todas as luzes iniciam apagadas.
- Há dois modos de acendimento das luzes, controlados por um botão **M** :

- Se **M = 0**, as lâmpadas piscam ao mesmo tempo, seguindo o ciclo:



- Se **M = 1**, somente uma lâmpada é acesa por vez, seguindo o ciclo:



Projeto de Máquinas de Estados Finitos

Passos para o Projeto de Máquinas de Estados:

- 1. Obter a tabela de transição de estados (pode-se obter através de um diagrama de estados)**
- 2. Codificar os estados → modificar tabela de transição de estados**
- 3. Escolher um flip-flop para o circuito**
- 4. Obter a(s) equação(s) de entrada para o FF escolhido e a(s) equações da(s) saída(s) → simplificar, se necessário**
- 5. Desenhar circuito lógico com FFs e portas lógicas de acordo com as equações booleanas**

Exemplo 1

□ Precisamos definir as entradas e saídas do circuito

□ Entradas:

- **M** → define o modo de acendimento das luzes

□ Saídas:

- Luz **VERMELHA** → **LV**

□ Estados da saída:

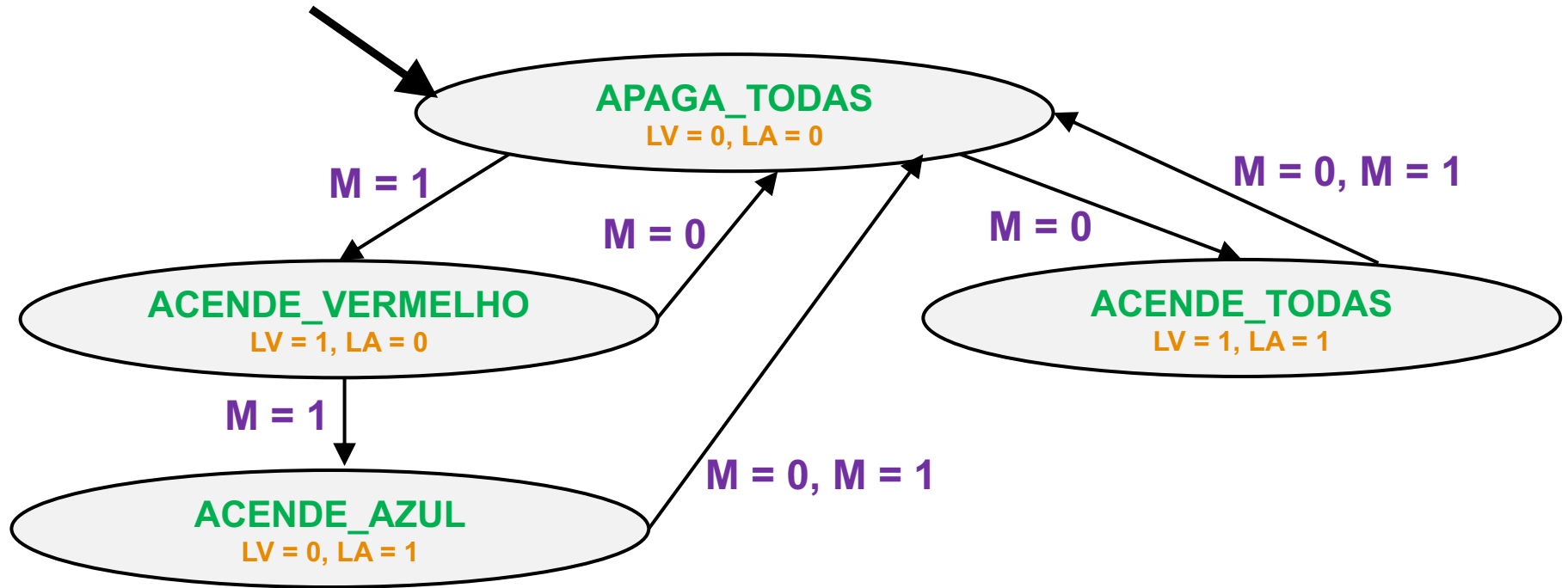
- **LV** = 0 → luz **VERMELHA** apagada
- **LV** = 1 → luz **VERMELHA** acesa

- Luz **AZUL** → **LA**

□ Estados da saída:

- **LA** = 0 → luz **AZUL** apagada
- **LA** = 1 → luz **AZUL** acesa

Diagrama de Estados



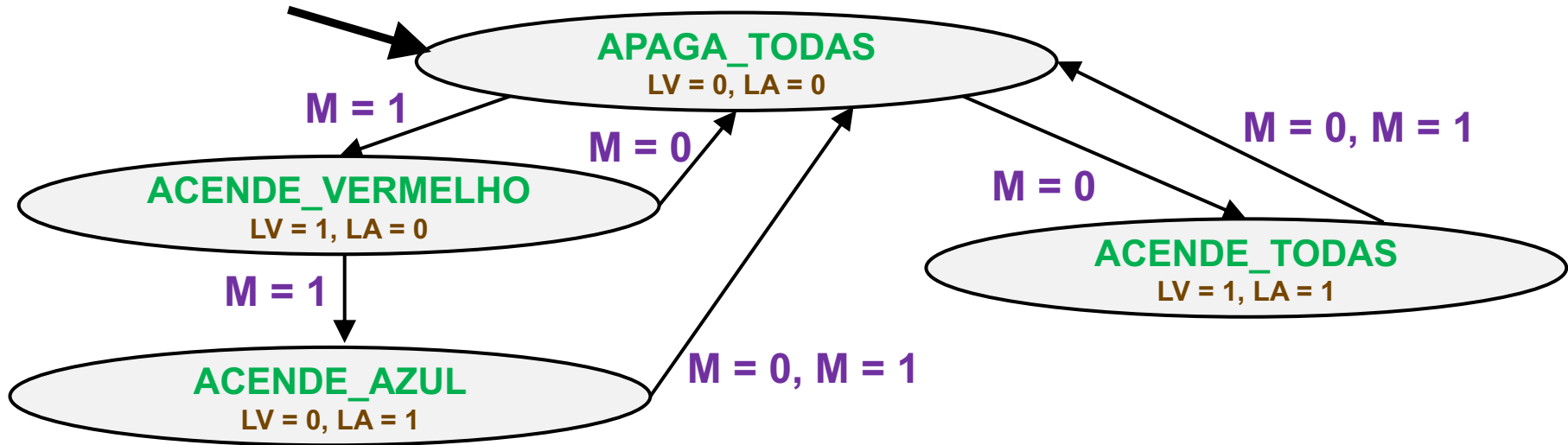
- Se $M = 0$, as lâmpadas piscam ao mesmo tempo, seguindo o ciclo:



- Se $M = 1$, somente uma lâmpada é acesa por vez, seguindo o ciclo:

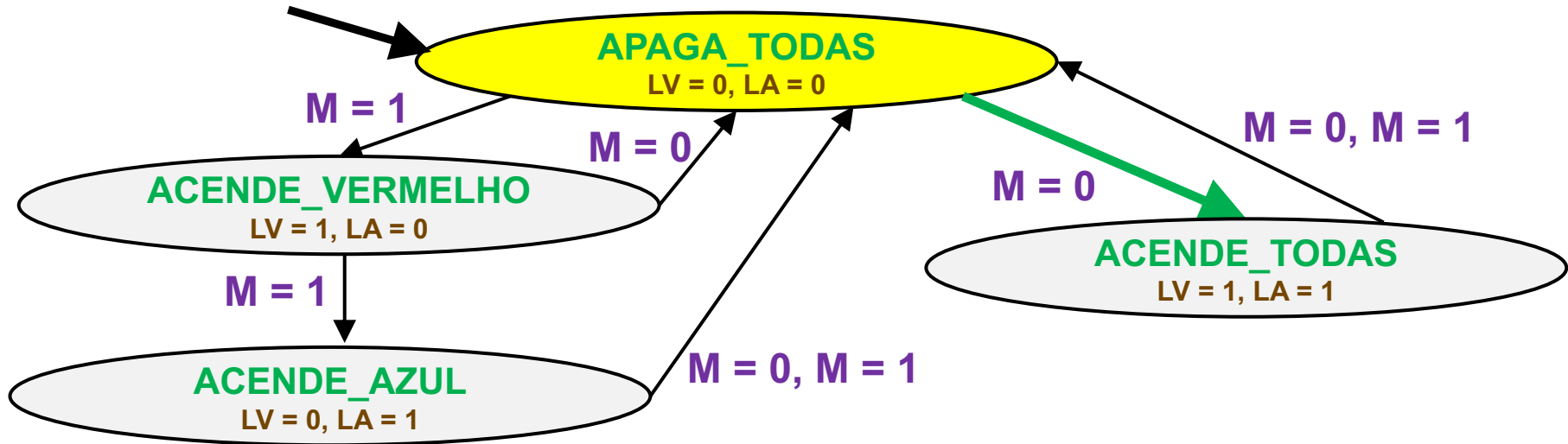


Passo 1 - Obter a tabela de estados



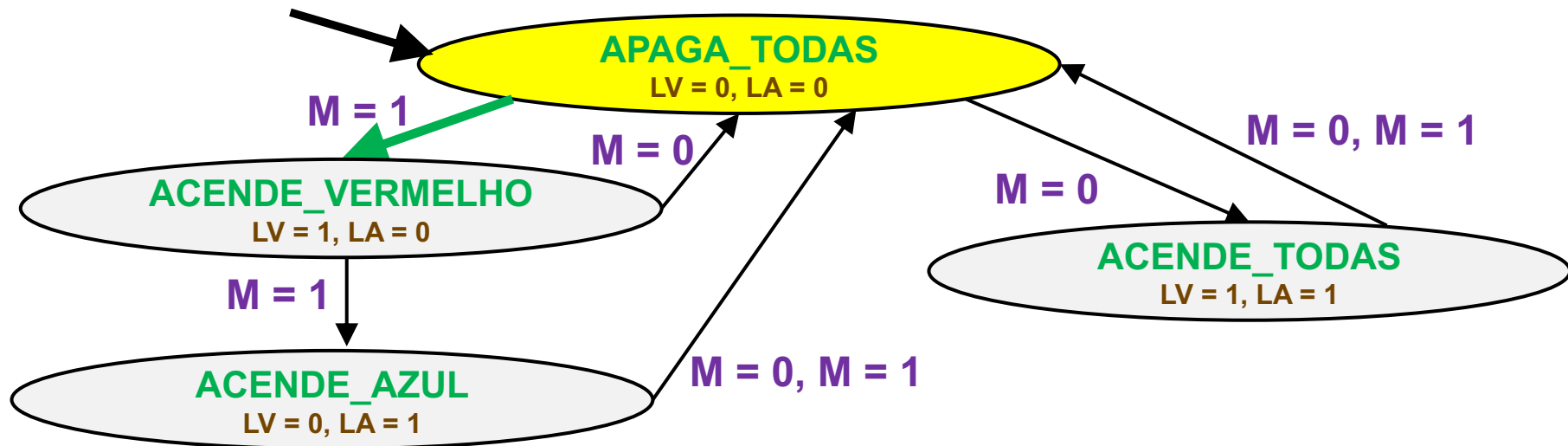
Estado Atual	Entrada	Próximo Estado	Saída	
	M		LV	LA

Passo 1 - Obter a tabela de estados



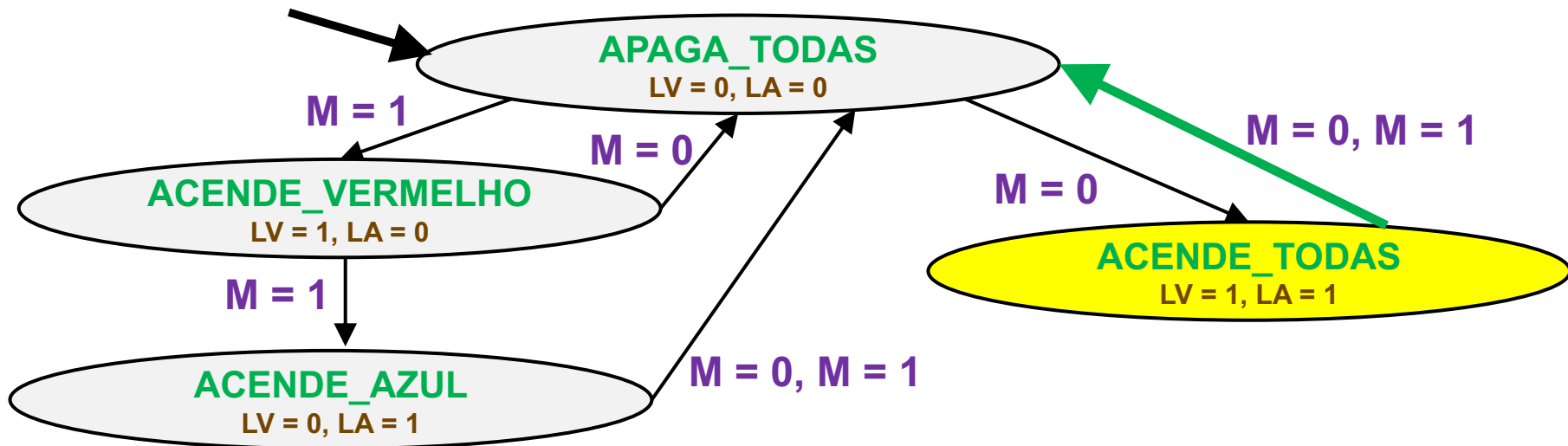
Estado Atual	Entrada	Próximo Estado	Saída	
	M		LV	LA
APAGA_TODAS	0	ACENDE_TODAS	0	0

Passo 1 - Obter a tabela de estados



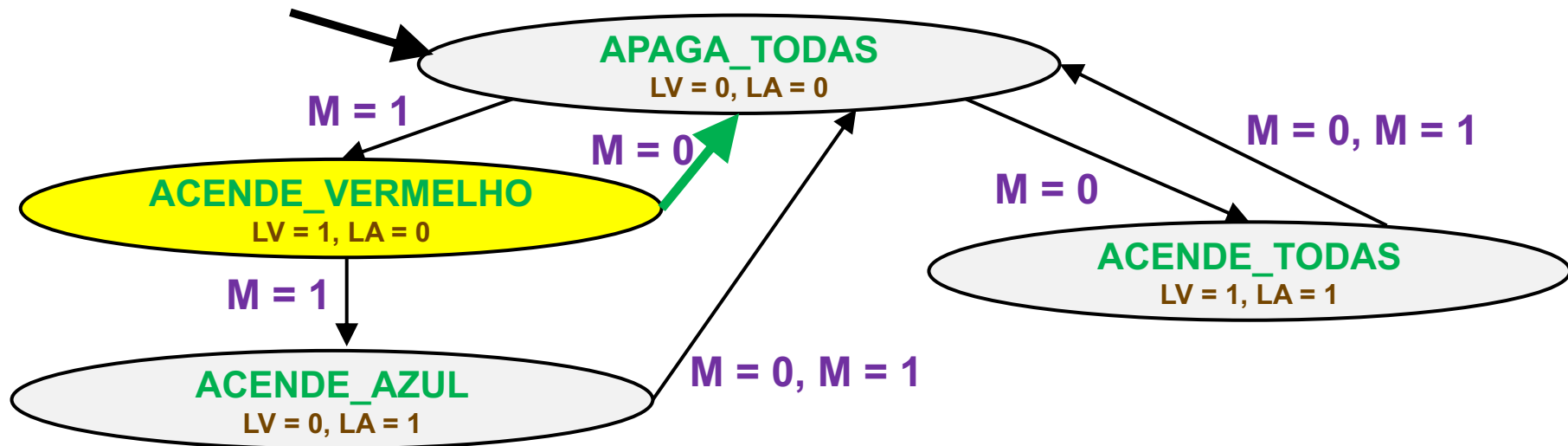
Estado Atual	Entrada	Próximo Estado	Saída	
	M		LV	LA
APAGA_TODAS	0	ACENDE_TODAS	0	0
APAGA_TODAS	1	ACENDE_VERMELHO	0	0

Passo 1 - Obter a tabela de estados



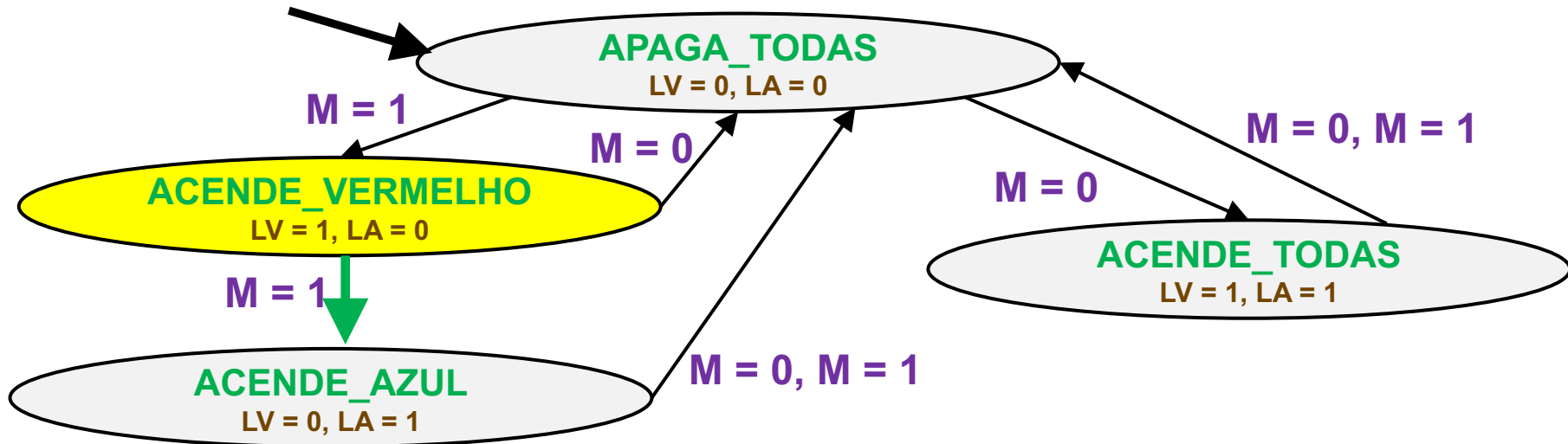
Estado Atual	Entrada	Próximo Estado	Saída	
			LV	LA
APAGA_TODAS	0	ACENDE_TODAS	0	0
APAGA_TODAS	1	ACENDE_VERMELHO	0	0
ACENDE_TODAS	0	APAGA_TODAS	1	1
ACENDE_TODAS	1	APAGA_TODAS	1	1

Passo 1 - Obter a tabela de estados



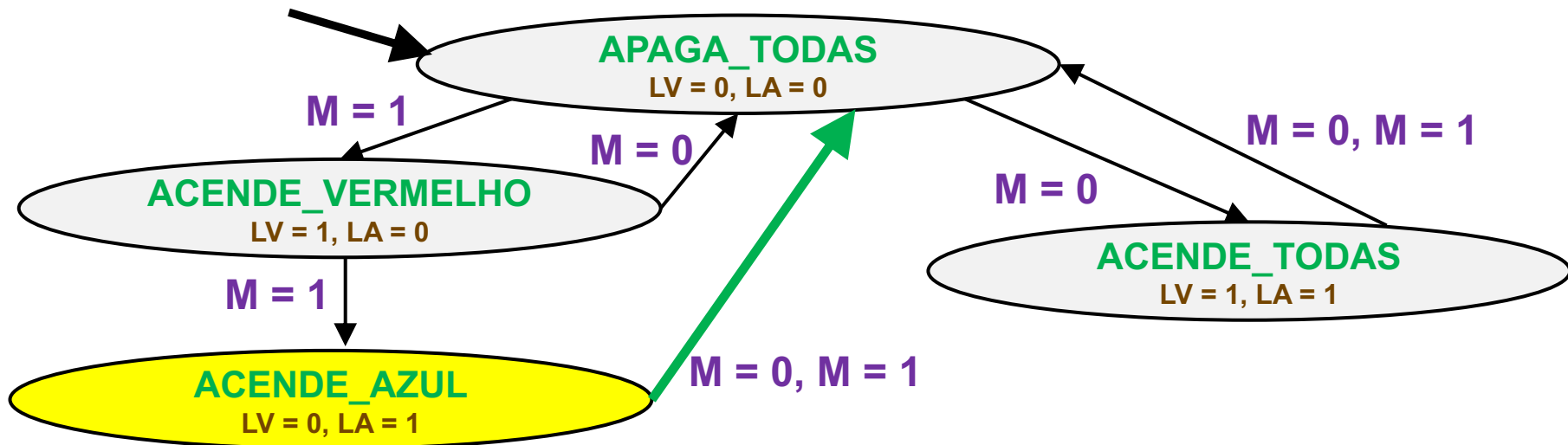
Estado Atual	Entrada	Próximo Estado	Saída	
			LV	LA
APAGA_TODAS	0	ACENDE_TODAS	0	0
APAGA_TODAS	1	ACENDE_VERMELHO	0	0
ACENDE_TODAS	0	APAGA_TODAS	1	1
ACENDE_TODAS	1	APAGA_TODAS	1	1
ACENDE_VERMELHO	0	APAGA_TODAS	1	0

Passo 1 - Obter a tabela de estados



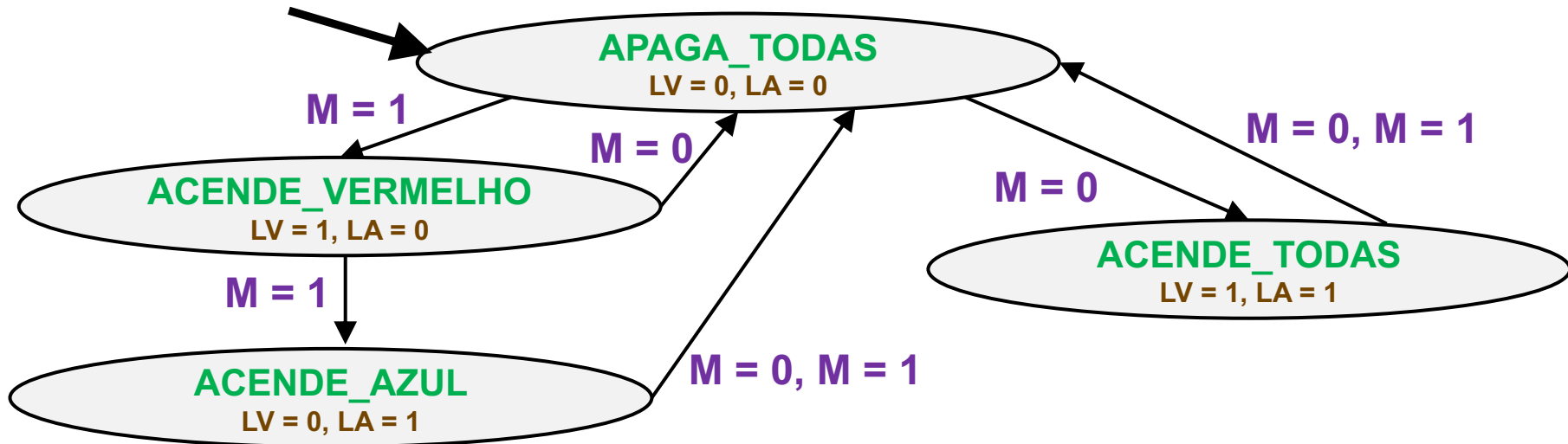
Estado Atual	Entrada	Próximo Estado	Saída	
			LV	LA
APAGA_TODAS	0	ACENDE_TODAS	0	0
APAGA_TODAS	1	ACENDE_VERMELHO	0	0
ACENDE_TODAS	0	APAGA_TODAS	1	1
ACENDE_TODAS	1	APAGA_TODAS	1	1
ACENDE_VERMELHO	0	APAGA_TODAS	1	0
ACENDE_VERMELHO	1	ACENDE_AZUL	1	0

Passo 1 - Obter a tabela de estados



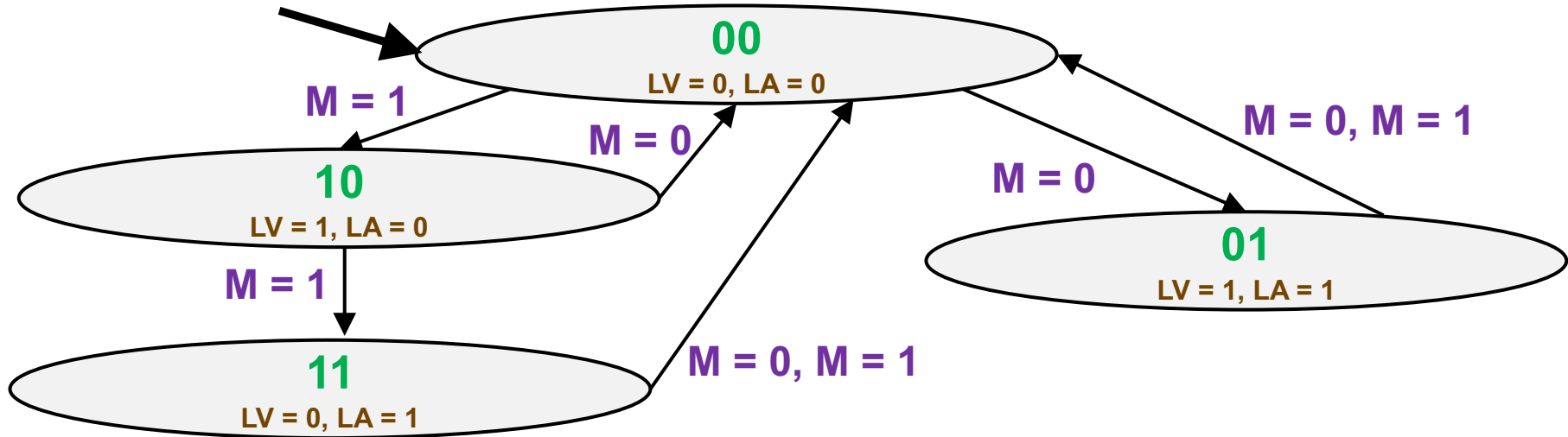
Estado Atual	Entrada	Próximo Estado	Saída	
			LV	LA
APAGA_TODAS	0	ACENDE_TODAS	0	0
APAGA_TODAS	1	ACENDE_VERMELHO	0	0
ACENDE_TODAS	0	APAGA_TODAS	1	1
ACENDE_TODAS	1	APAGA_TODAS	1	1
ACENDE_VERMELHO	0	APAGA_TODAS	1	0
ACENDE_VERMELHO	1	ACENDE_AZUL	1	0
ACENDE_AZUL	0	APAGA_TODAS	0	1
ACENDE_AZUL	1	APAGA_TODAS	0	1

Passo 1 - Obter a tabela de estados



Estado Atual	Entrada	Próximo Estado	Saída	
			LV	LA
APAGA_TODAS	0	ACENDE_TODAS	0	0
APAGA_TODAS	1	ACENDE_VERMELHO	0	0
ACENDE_TODAS	0	APAGA_TODAS	1	1
ACENDE_TODAS	1	APAGA_TODAS	1	1
ACENDE_VERMELHO	0	APAGA_TODAS	1	0
ACENDE_VERMELHO	1	ACENDE_AZUL	1	0
ACENDE_AZUL	0	APAGA_TODAS	0	1
ACENDE_AZUL	1	APAGA_TODAS	0	1

Passo 2 – Codificação dos Estados



Estado Atual		Entrada	Próximo Estado		Saída	
Q_1	Q_0	M	Q_1	Q_0	LV	LA
0	0	0	0	1	0	0
0	0	1	1	0	0	0
0	1	0	0	0	1	1
0	1	1	0	0	1	1
1	0	0	0	0	1	0
1	0	1	1	1	1	0
1	1	0	0	0	0	1
1	1	1	0	0	0	1

CÓDIGO DE CONTAGEM BINÁRIA

Estado	Estado do FF (Q_1Q_0)
APAGA_TODAS	00
ACENDE_TODAS	01
ACENDE_VERMELHO	10
ACENDE_AZUL	11

Passo 3 – Escolha do Flip-Flop

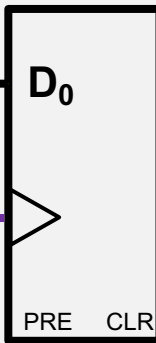
□ NESTE EXEMPLO VAMOS UTILIZAR O FLIP-FLOP D

ENTRADA(S)

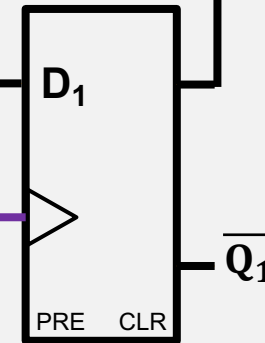
EM UMA MÁQUINA DE MOORE, AS ENTRADAS SÃO USADAS SOMENTE NOS CIRCUITOS COMBINACIONAIS DE PRÓXIMO ESTADO

CLOCK

CIRCUITO COMBINACIONAL PARA DEFINIR O PRÓXIMO ESTADO



CIRCUITO COMBINACIONAL PARA DEFINIR O PRÓXIMO ESTADO



Q_1 E Q_0 DEFINEM O ESTADO ATUAL DA MÁQUINA

AS EQUAÇÕES BOOLEANAS DE UM CIRCUITO COMBINACIONAL DA(S) SAÍDA(S) DE UMA MÁQUINA DE MOORE CONTEM SOMENTE AS SAÍDAS DOS FFs (" Q_s ou $\overline{Q_s}$ ")

SAÍDA(S)

Passo 4 – Equações de Entrada dos FFs

Estado Atual		Entrada	Próximo Estado		Saída		Equações de Entrada (FF D)	
Q_1	Q_0	M	Q_1	Q_0	LV	LA	D_1	D_0
0	0	0	0	1	0	0		
0	0	1	1	0	0	0		
0	1	0	0	0	1	1		
0	1	1	0	0	1	1		
1	0	0	0	0	1	0		
1	0	1	1	1	1	0		
1	1	0	0	0	0	1		
1	1	1	0	0	0	1		

Passo 4 – Equações de Entrada dos FFs

Estado Atual		Entrada	Próximo Estado		Saída		Equações de Entrada (FF D)	
Q_1	Q_0	M	Q_1	Q_0	LV	LA	D_1	D_0
0	0	0	0	1	0	0		
0	0	1	1	0	0	0		
0	1	0	0	0	1	1		
0	1	1	0	0	1	1		
1	0	0	0	0	1	0		
1	0	1	1	1	1	0		
1	1	0	0	0	0	1		
1	1	1	0	0	0	1		

O valor de Q_1 deve se manter em 0 no próximo estado.

Qual o valor de D para que isso aconteça?

Passo 4 – Equações de Entrada dos FFs

Estado Atual		Entrada	Próximo Estado		Saída		Equações de Entrada (FF D)	
Q_1	Q_0	M	Q_1	Q_0	LV	LA	D_1	D_0
0	0	0	0	1	0	0	0	
0	0	1	1	0	0	0		
0	1	0	0	0	1	1		
0	1	1	0	0	1	1		
1	0	0	0	0	1	0		
1	0	1	1	1	1	0		
1	1	0	0	0	0	1		
1	1	1	0	0	0	1		

CLK	D	Q
$\neq \uparrow$	X	Q
\uparrow	0	0
\uparrow	1	1

Passo 4 – Equações de Entrada dos FFs

Estado Atual		Entrada	Próximo Estado		Saída		Equações de Entrada (FF D)	
Q_1	Q_0	M	Q_1	Q_0	LV	LA	D_1	D_0
0	0	0	0	1	0	0	0	
0	0	1	1	0	0	0		
0	1	0	0	0	1	1		
0	1	1	0	0	1	1		
1	0	0	0	0	1	0		
1	0	1	1	1	1	0		
1	1	0	0	0	0	1		
1	1	1	0	0	0	1		

O valor de Q_0 deve mudar de 0 para 1 no próx. estado.

Qual o valor de D para que isso aconteça?

Passo 4 – Equações de Entrada dos FFs

Estado Atual		Entrada	Próximo Estado		Saída		Equações de Entrada (FF D)	
Q_1	Q_0	M	Q_1	Q_0	LV	LA	D_1	D_0
0	0	0	0	1	0	0	0	1
0	0	1	1	0	0	0		
0	1	0	0	0	1	1		
0	1	1	0	0	1	1		
1	0	0	0	0	1	0		
1	0	1	1	1	1	0		
1	1	0	0	0	0	1		
1	1	1	0	0	0	1		

CLK	D	Q
$\neq \uparrow$	X	Q
\uparrow	0	0
\uparrow	1	1

Passo 4 – Equações de Entrada dos FFs

Estado Atual		Entrada	Próximo Estado		Saída		Equações de Entrada (FF D)	
Q_1	Q_0	M	Q_1	Q_0	LV	LA	D_1	D_0
0	0	0	0	1	0	0	0	1
0	0	1	1	0	0	0	1	0
0	1	0	0	0	1	1	0	0
0	1	1	0	0	1	1	0	0
1	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	1	1	1	1	0	1	1
1	1	0	0	0	0	1	0	0
1	1	1	0	0	0	1	0	0



Para o FF tipo D, a tabela das equações de entrada é igual a tabela do próximo estado!

Passo 4 – Equações de Entrada dos FFs

Estado Atual		Entrada	Próximo Estado	Saída		Equações de Entrada (FF D)	
Q_1	Q_0	M		LV	LA	D_1	D_0
0	0	0		0	0	0	1
0	0	1	1	0	0	1	0
0	1	0	0	1	1	0	0
0	1	1	0	1	1	0	0
1	0	0		1	0	0	0
1	0	1		1	0	1	1
1	1	0		0	1	0	0
1	1	1		0	1	0	0

DEPOIS DE PREENCHER A PARTE DA TABELA DE EQUAÇÕES DE ENTRADA, VOCÊ PODE DESCARTAR A PARTE DE PRÓXIMO ESTADO

Passo 4 – Equações de Entrada dos FFs

Estado Atual		Entrada	Saída		Equações de Entrada (FF D)	
Q_1	Q_0	M	LV	LA	D_1	D_0
0	0	0	0	0	0	1
0	0	1	0	0	1	0
0	1	0	1	1	0	0
0	1	1	1	1	0	0
1	0	0	1	0	0	0
1	0	1	1	0	1	1
1	1	0	0	1	0	0
1	1	1	0	1	0	0

		$Q_0 M$			
		00	01	11	10
Q_1	0	0 0	1 1	0 3	0 2
	1	0 4	1 5	0 7	0 6

$$D_1 = \overline{Q_0} M$$

Passo 4 – Equações de Entrada dos FFs

Estado Atual		Entrada	Saída		Equações de Entrada (FF D)	
Q_1	Q_0	M	LV	LA	D_1	D_0
0	0	0	0	0	0	1
0	0	1	0	0	1	0
0	1	0	1	1	0	0
0	1	1	1	1	0	0
1	0	0	1	0	0	0
1	0	1	1	0	1	1
1	1	0	0	1	0	0
1	1	1	0	1	0	0

$Q_0 M$

	00	01	11	10
0	1 ₀	0 ₁	0 ₃	0 ₂
1	0 ₄	1 ₅	0 ₇	0 ₆

$$D_0 = \overline{Q_1} \overline{Q_0} \overline{M} + Q_1 \overline{Q_0} M = \overline{Q_0} (Q_1 \text{ XNOR } M)$$

Passo 4 – Equações de Entrada dos FFs

Estado Atual		Entrada	Saída		Equações de Entrada (FF D)	
Q_1	Q_0	M	LV	LA	D_1	D_0
0	0	0	0	0	0	1
0	0	1	0	0	1	0
0	1	0	1	1	0	0
0	1	1	1	1	0	0
1	0	0	1	0	0	0
1	0	1	1	0	1	1
1	1	0	0	1	0	0
1	1	1	0	1	0	0

Equações de Entrada para o FF tipo D :

$$D_1 = \overline{Q_0}M$$

$$D_0 = \overline{Q_0}(Q_1 \text{ XNOR } M)$$

Passo 4 – Equações da(s) Saída(s)

Estado Atual		Entrada	Saída		Equações de Entrada (FF D)	
Q_1	Q_0	M	LV	LA	D_1	D_0
0	0	0	0	0	0	1
0	0	1	0	0	1	0
0	1	0	1	1	0	0
0	1	1	1	1	0	0
1	0	0	1	0	0	0
1	0	1	1	0	1	1
1	1	0	0	1	0	0
1	1	1	0	1	0	0

$$LV = Q_1 \overline{Q_0} + \overline{Q_1} Q_0 = Q_1 \text{ XOR } Q_0$$

MÁQUINA DE MOORE → SAÍDA DEPENDE SÓ DO ESTADO ATUAL

Passo 4 – Equações da(s) Saída(s)

Estado Atual		Entrada	Saída		Equações de Entrada (FF D)	
Q_1	Q_0	M	LV	LA	D_1	D_0
0	0	0	0	0	0	1
0	0	1	0	0	1	0
0	1	0	1	1	0	0
0	1	1	1	1	0	0
1	0	0	1	0	0	0
1	0	1	1	0	1	1
1	1	0	0	1	0	0
1	1	1	0	1	0	0

$$LA = \overline{Q_1}Q_0 + Q_1Q_0 = Q_0$$

MÁQUINA DE MOORE → SAÍDA DEPENDE SÓ DO ESTADO ATUAL

Passo 4 – Equações da(s) Saída(s)

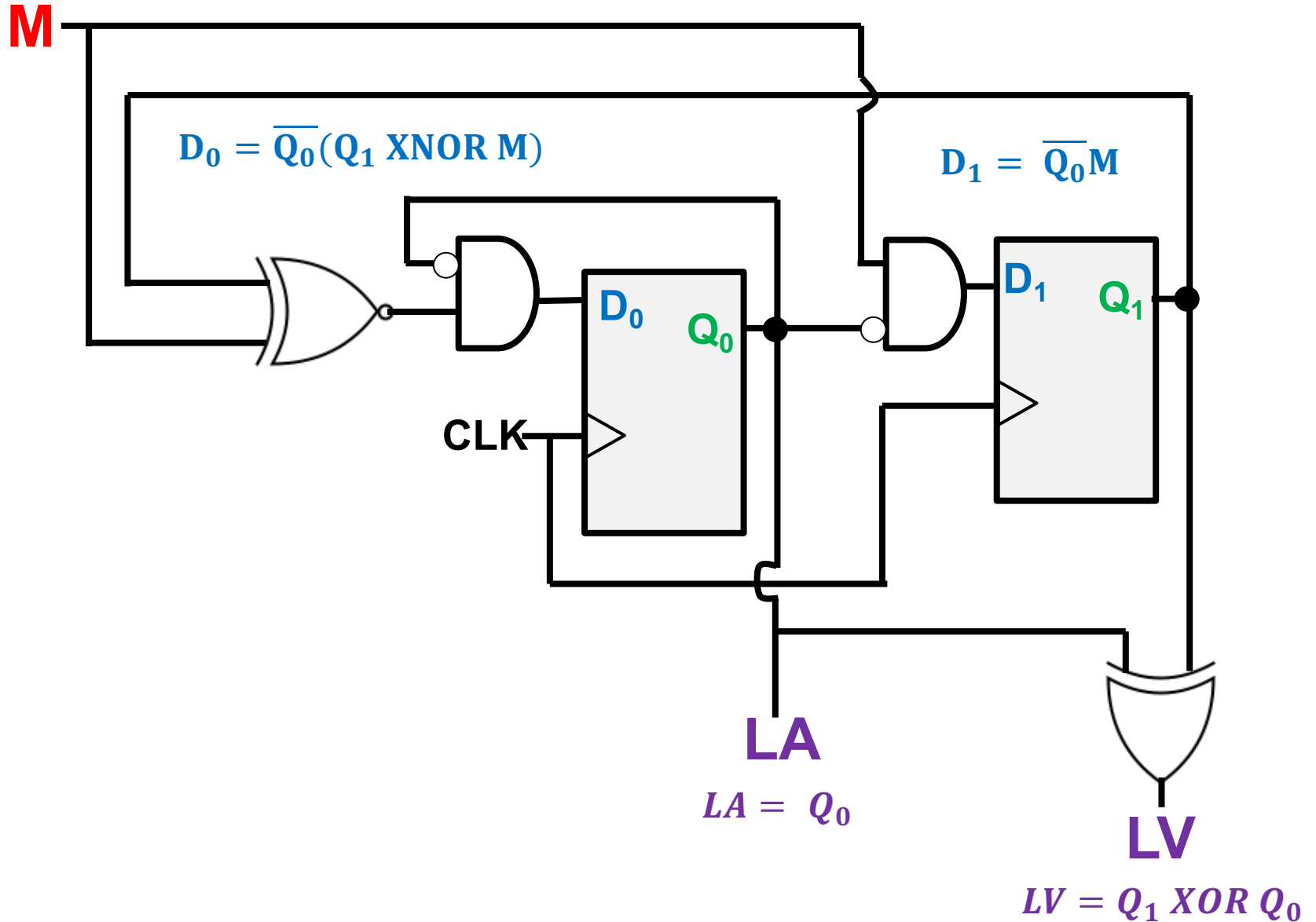
Estado Atual		Entrada	Saída		Equações de Entrada (FF D)	
Q_1	Q_0	M	LV	LA	D_1	D_0
0	0	0	0	0	0	1
0	0	1	0	0	1	0
0	1	0	1	1	0	0
0	1	1	1	1	0	0
1	0	0	1	0	0	0
1	0	1	1	0	1	1
1	1	0	0	1	0	0
1	1	1	0	1	0	0

Equações de Saída :

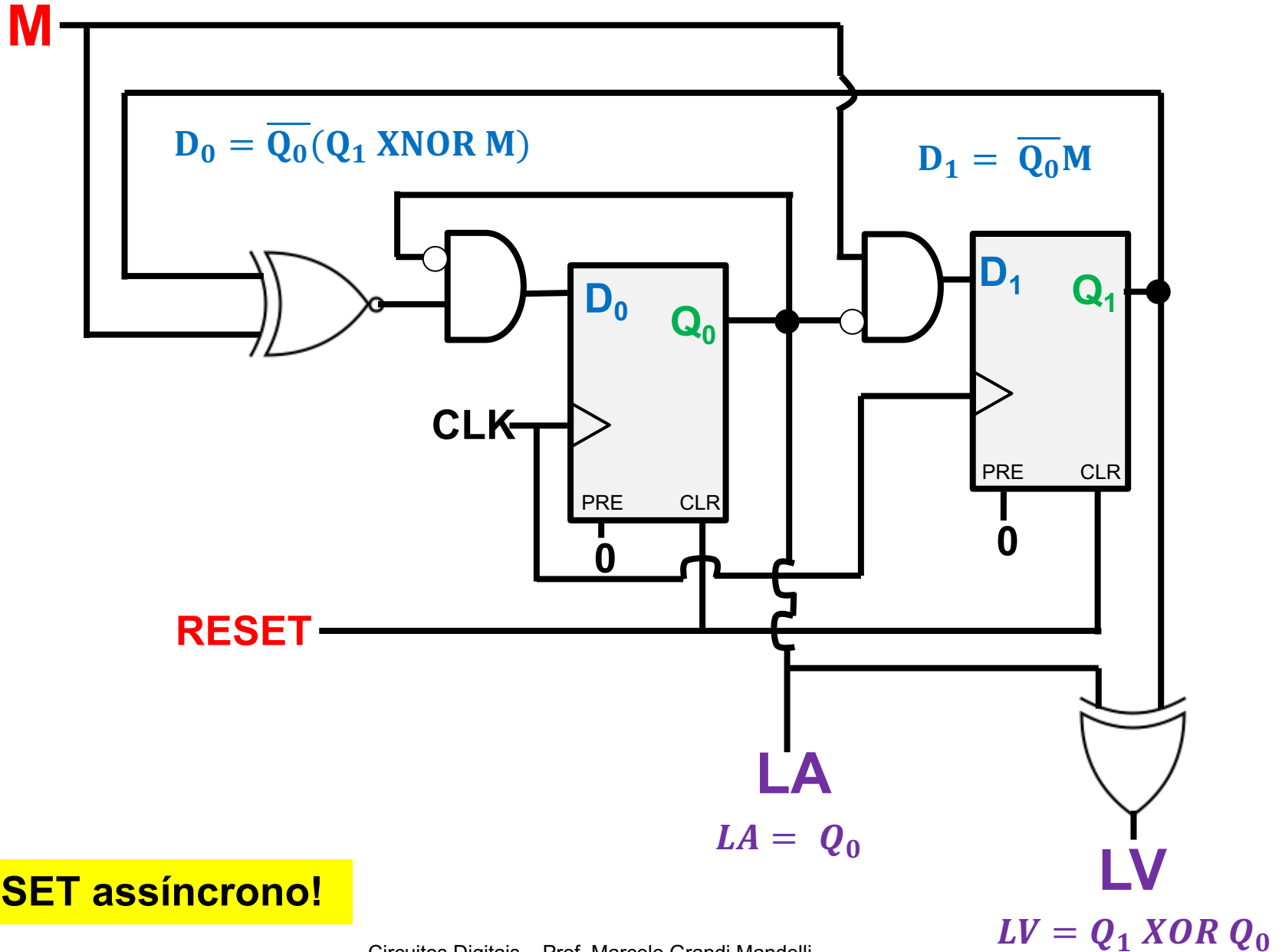
$$LV = Q_1 \text{ XOR } Q_0$$

$$LA = Q_0$$

Passo 5 – Circuito



Passo 5 – Circuito → RESET



RESET assíncrono!