Circuitos Digitais

Contadores Síncronos

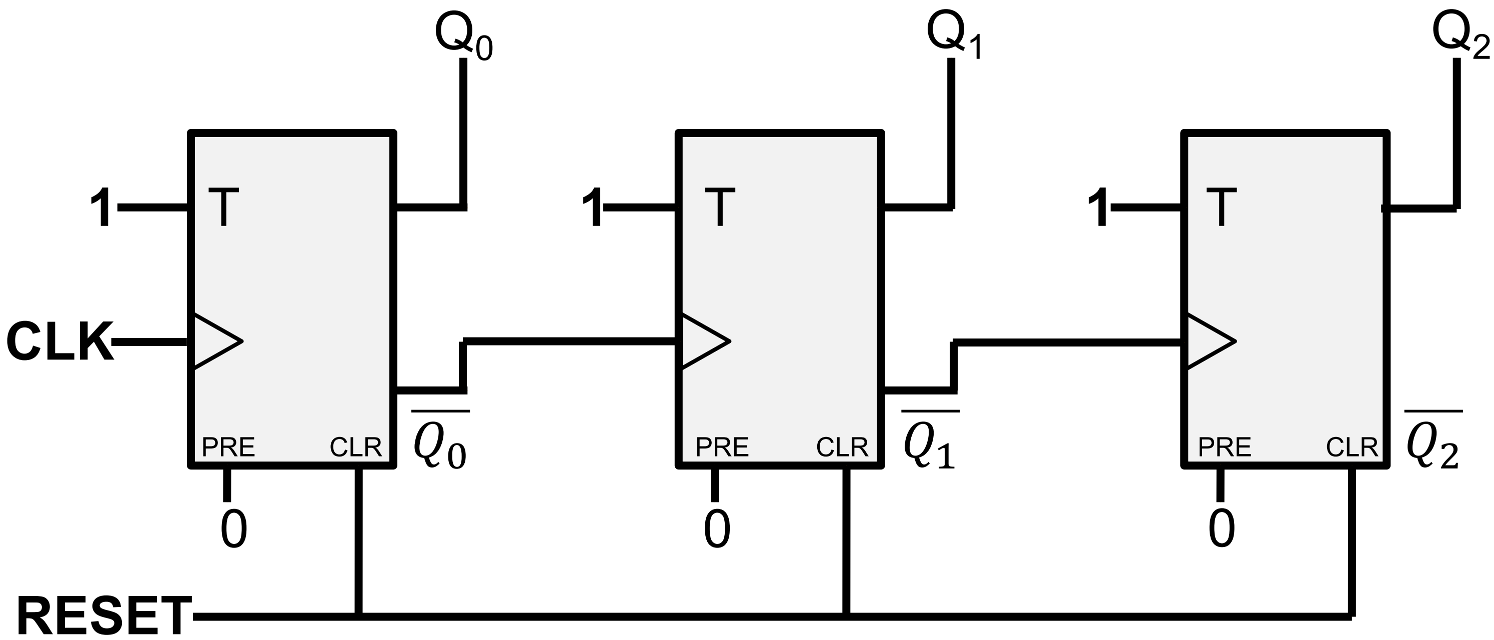
Prof. Marcelo Grandi Mandelli
mgmandelli@unb.br

CONTADORES ASSÍNCRONOS

- **Vantagens**
  - **Implementação mais simples → menos portas lógicas**
  - **Menor consumo de potência**
- **Desvantagens**
  - **Maior atraso de propagação**
  - **Pode apresentar comportamento imprevisível**

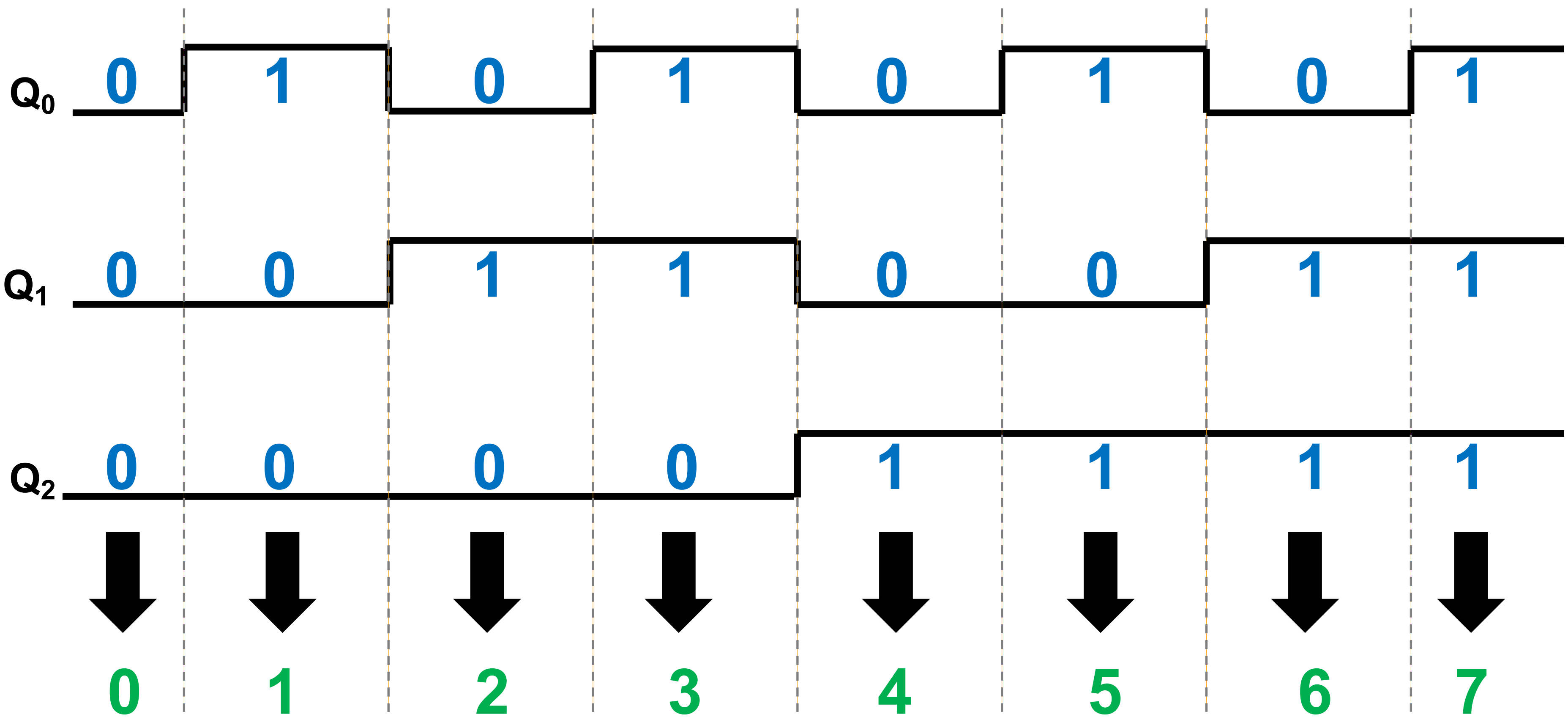
CONTADORES ASSÍNCRONOS

EXEMPLO: CONTADOR ASSÍNCRONO CRESCENTE DE 3 BITS

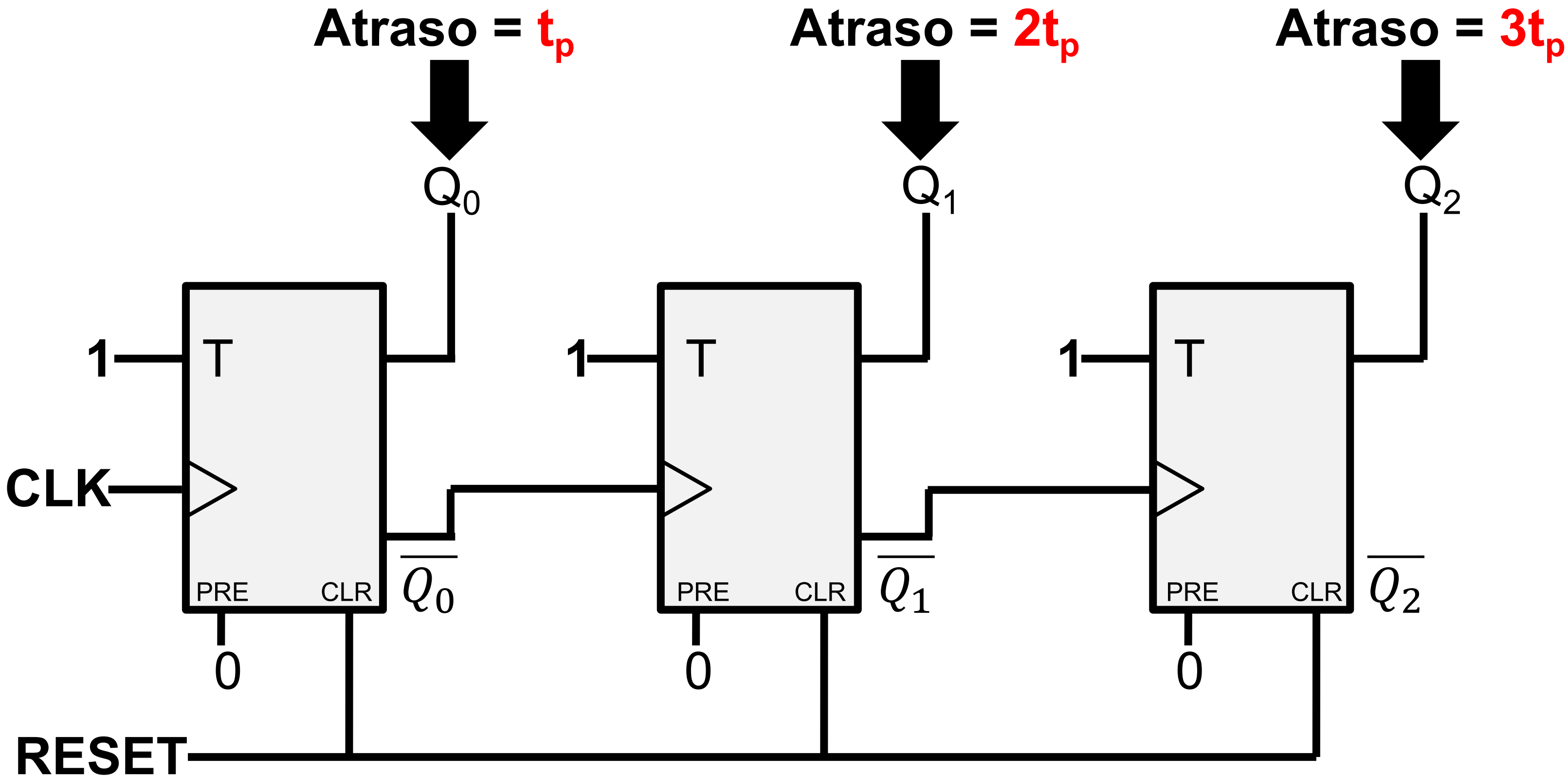


CONTADORES ASSÍNCRONOS

- **SEM ATRASO**



CONTADORES ASSÍNCRONOS

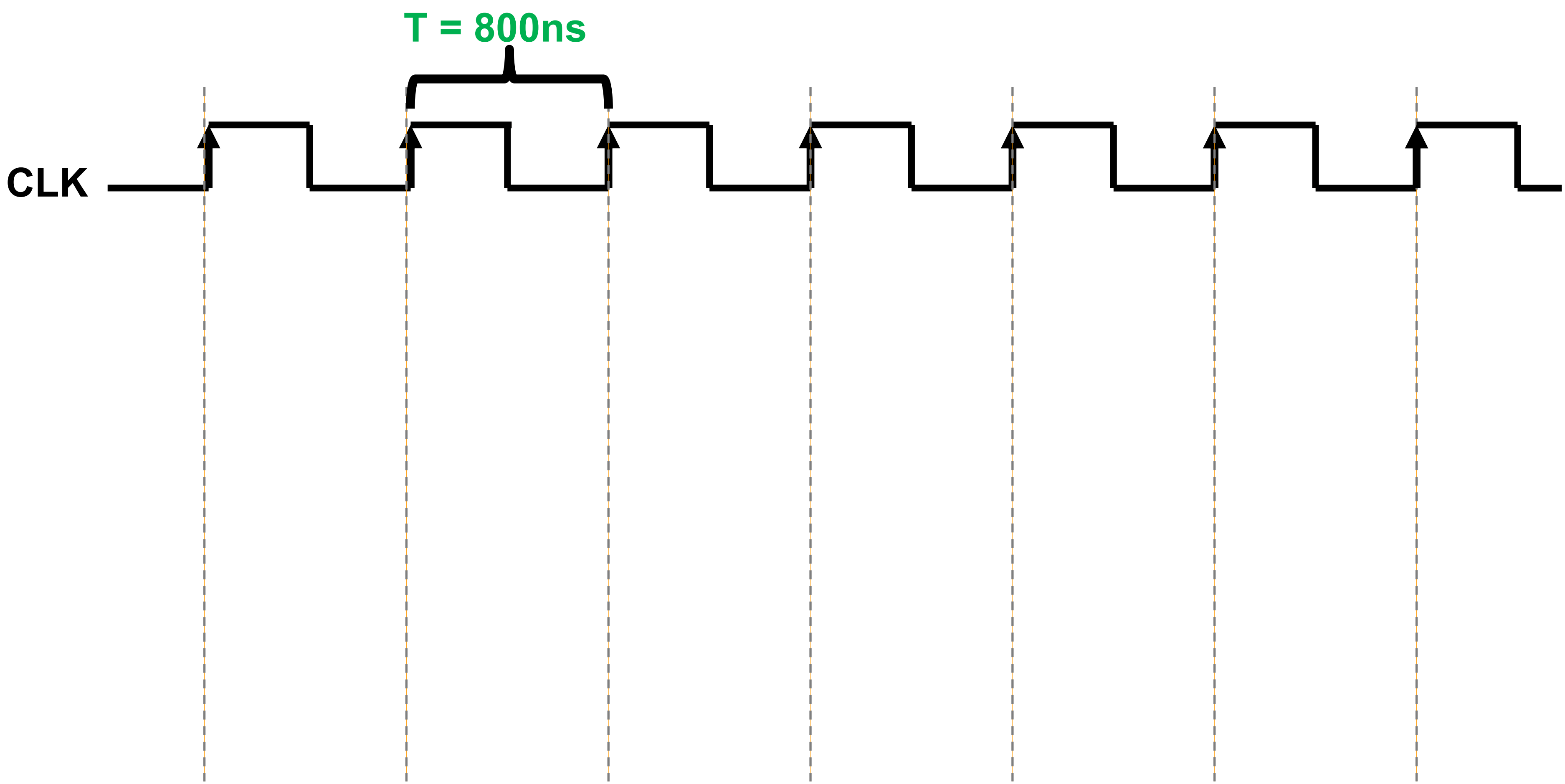


Atraso para um flip-flop do mesmo tipo é sempre igual → t_p

N flip-flops → atraso de N x t_p para o último flip-flop

CONTADORES ASSÍNCRONOS

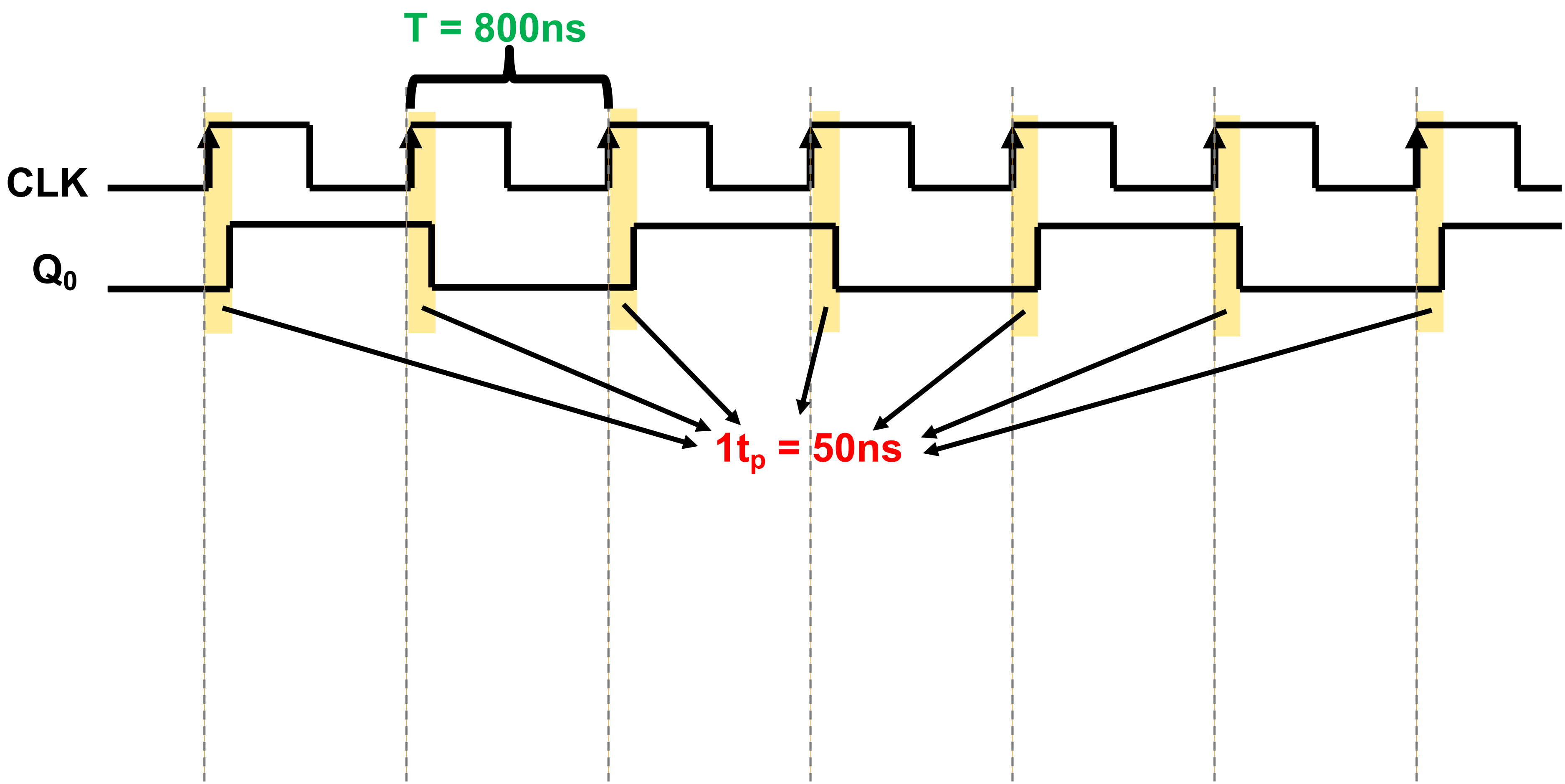
- **Exemplo: t_p = 50ns e T = 800ns (F = 1,25 MHz)**



FORMA DE ONDA COM ATRASO

CONTADORES ASSÍNCRONOS

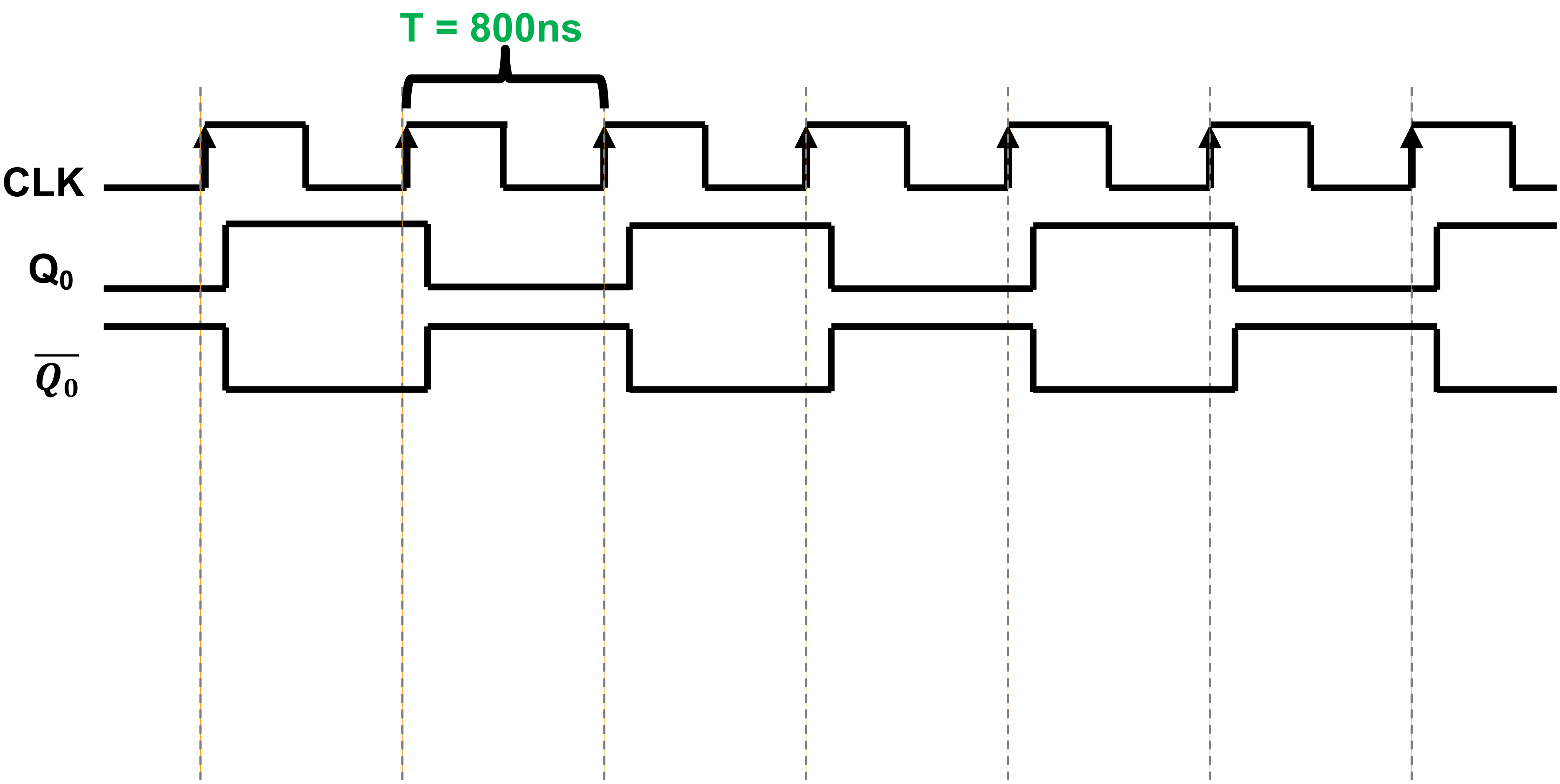
- **Exemplo: t_p = 50ns e T = 800ns (F = 1,25 MHz)**



FORMA DE ONDA COM ATRASO

CONTADORES ASSÍNCRONOS

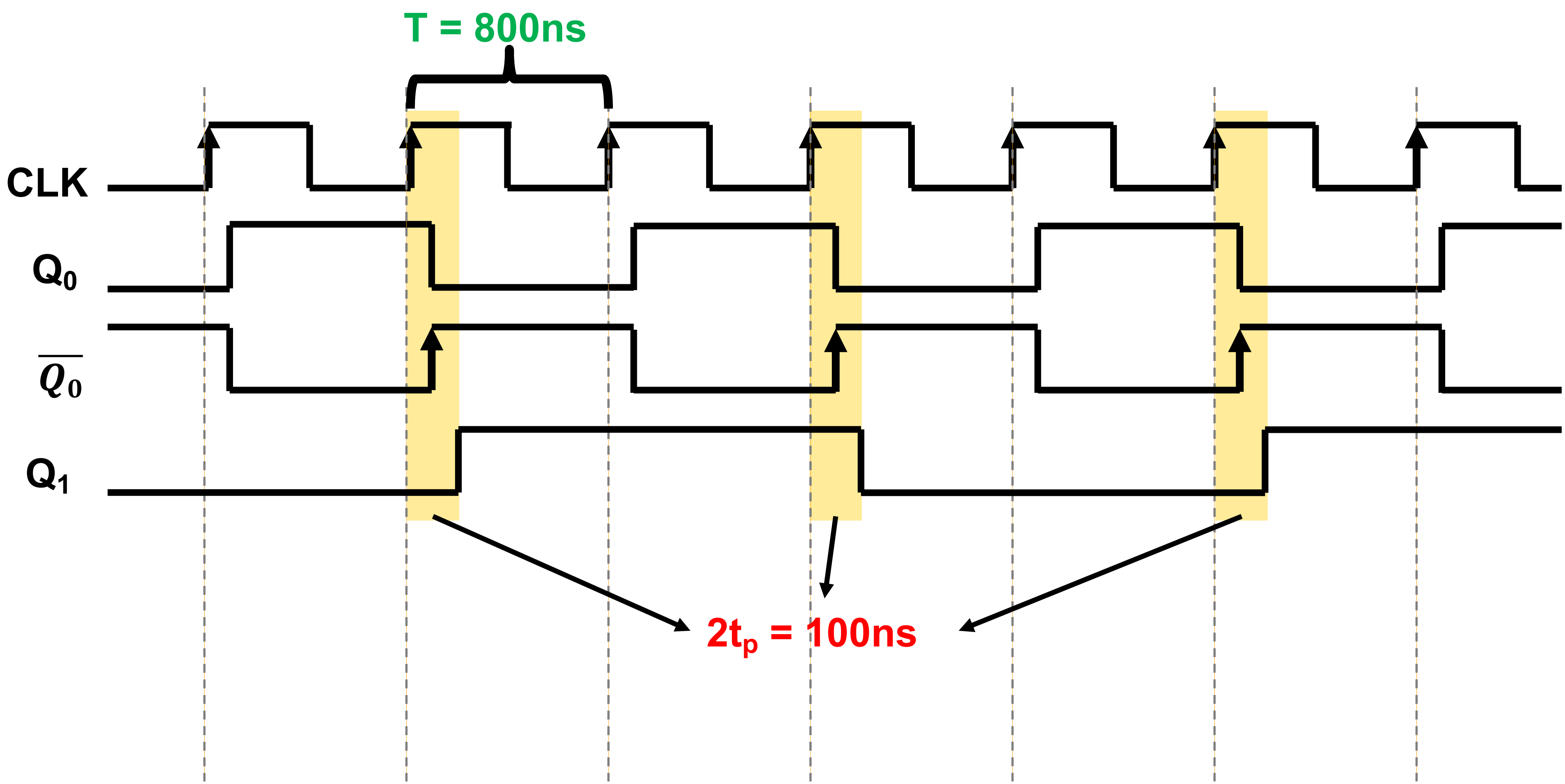
- **Exemplo: t_p = 50ns e T = 800ns (F = 1,25 MHz)**



FORMA DE ONDA COM ATRASO

CONTADORES ASSÍNCRONOS

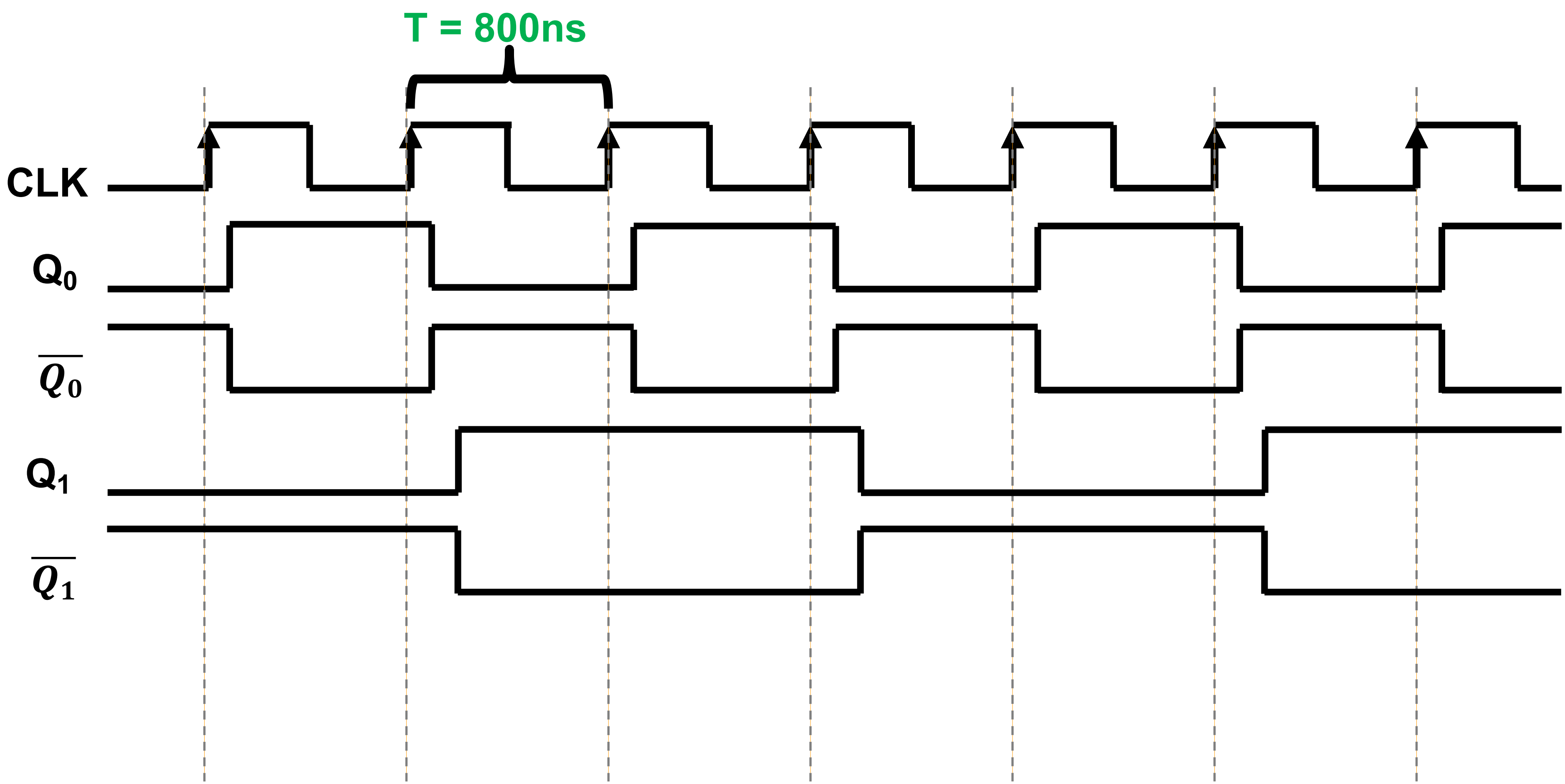
- **Exemplo: t_p = 50ns e T = 800ns (F = 1,25 MHz)**



FORMA DE ONDA COM ATRASO

CONTADORES ASSÍNCRONOS

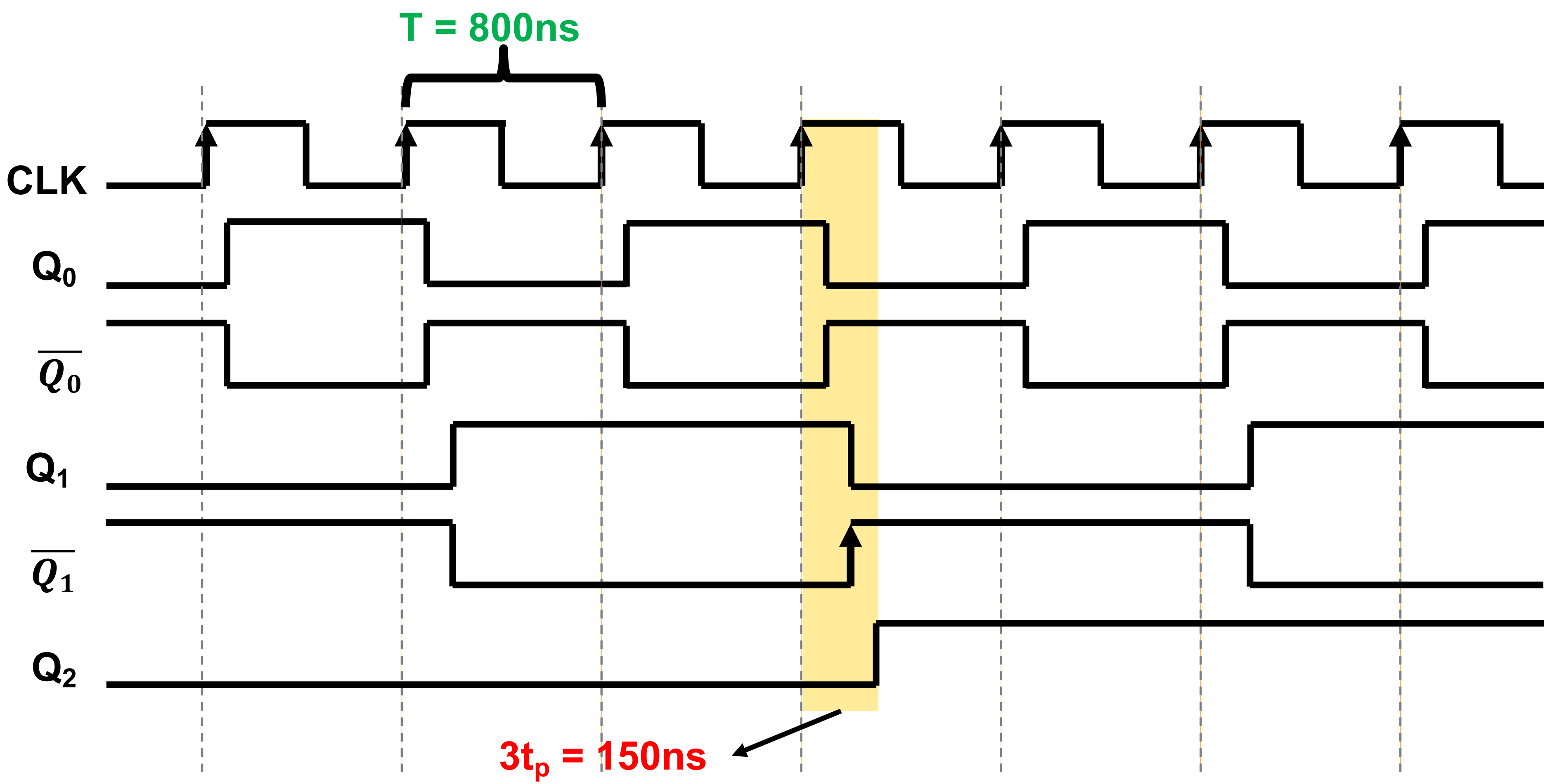
- **Exemplo: t_p = 50ns e T = 800ns (F = 1,25 MHz)**



FORMA DE ONDA COM ATRASO

CONTADORES ASSÍNCRONOS

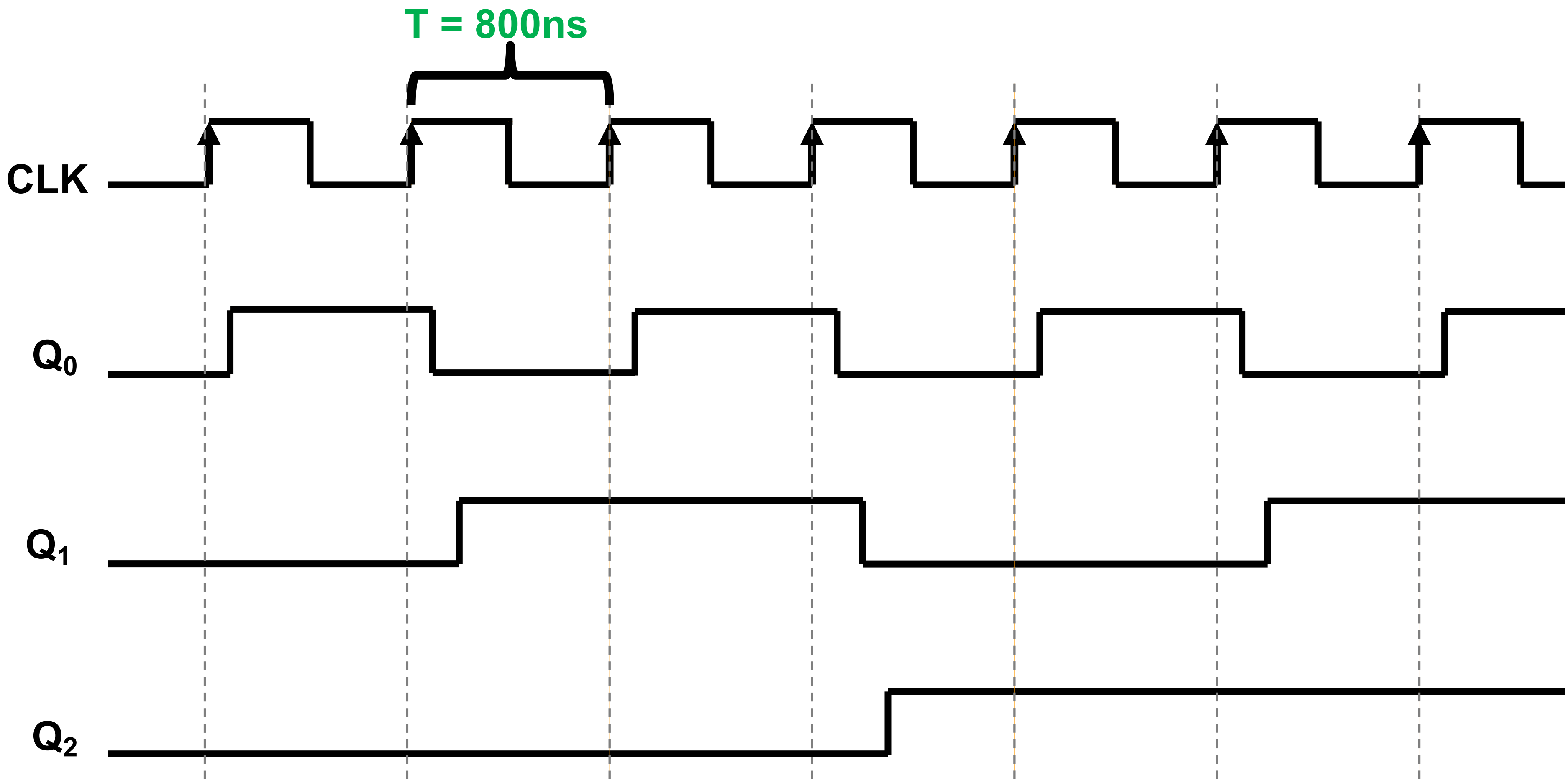
- **Exemplo: t_p = 50ns e T = 800ns (F = 1,25 MHz)**



FORMA DE ONDA COM ATRASO

CONTADORES ASSÍNCRONOS

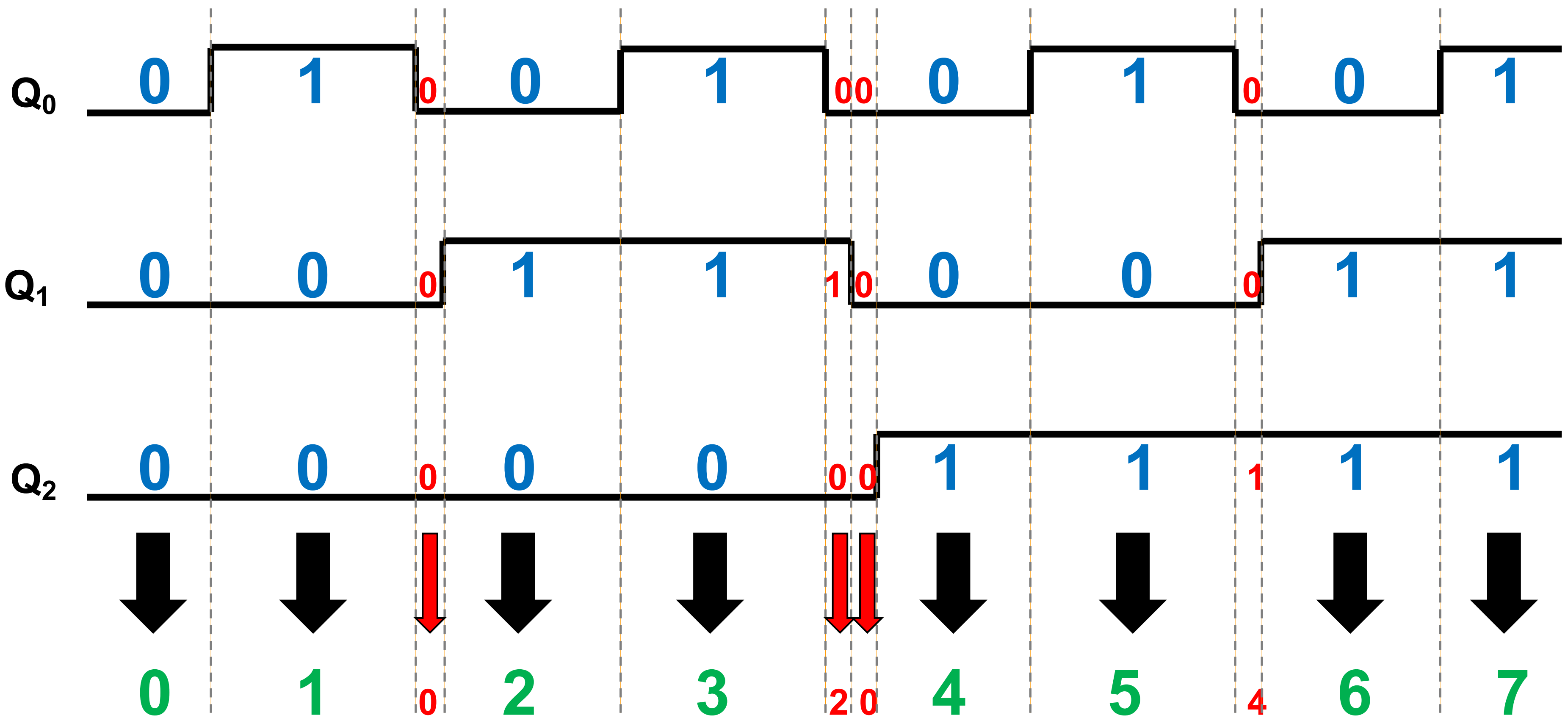
- **Exemplo: t_p = 50ns e T = 800ns (F = 1,25 MHz)**



FORMA DE ONDA COM ATRASO

CONTADORES ASSÍNCRONOS

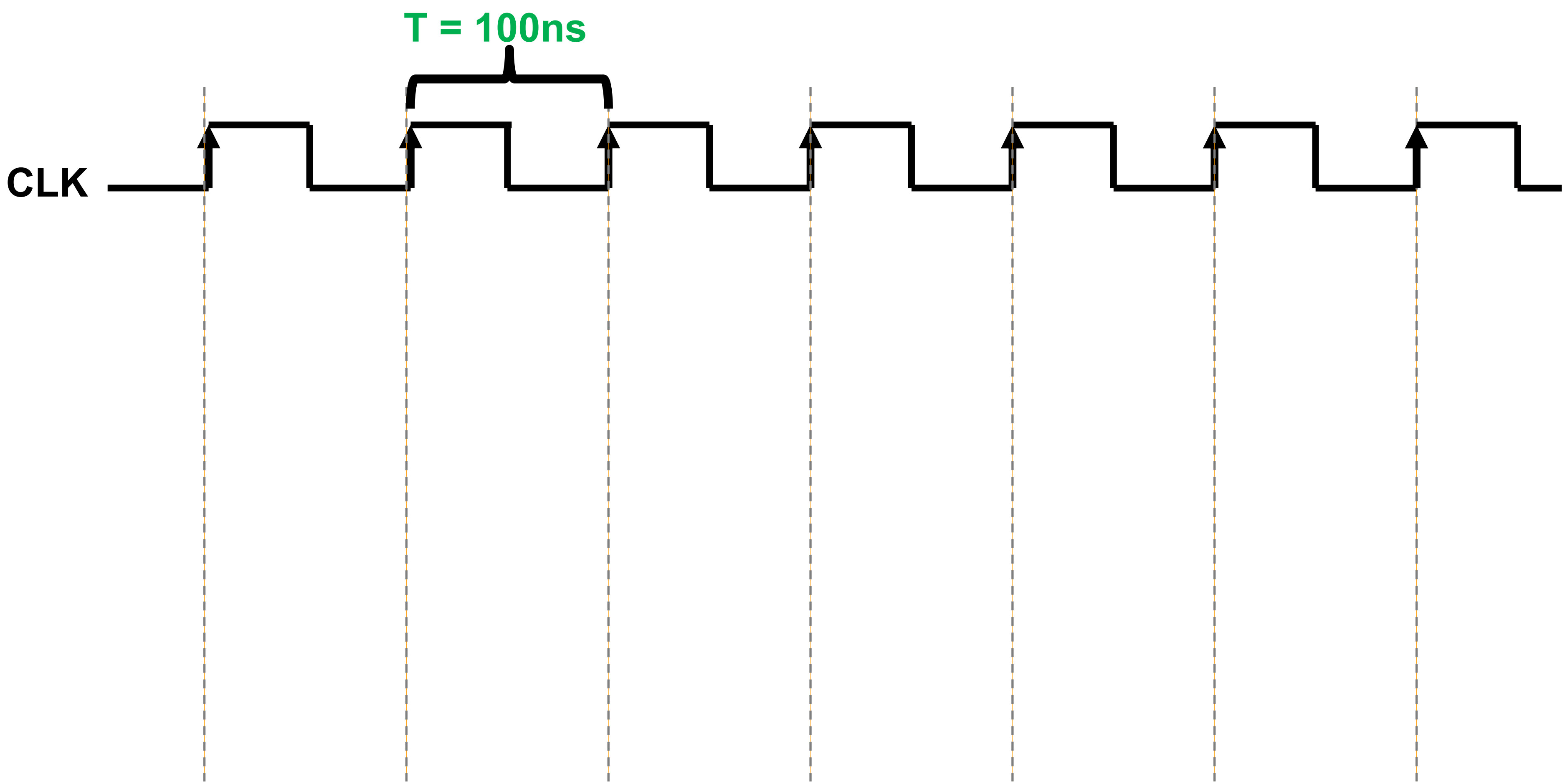
- **Exemplo: t_p = 50ns e T = 800ns (F = 1,25 MHz)**



FORMA DE ONDA COM ATRASO

CONTADORES ASSÍNCRONOS

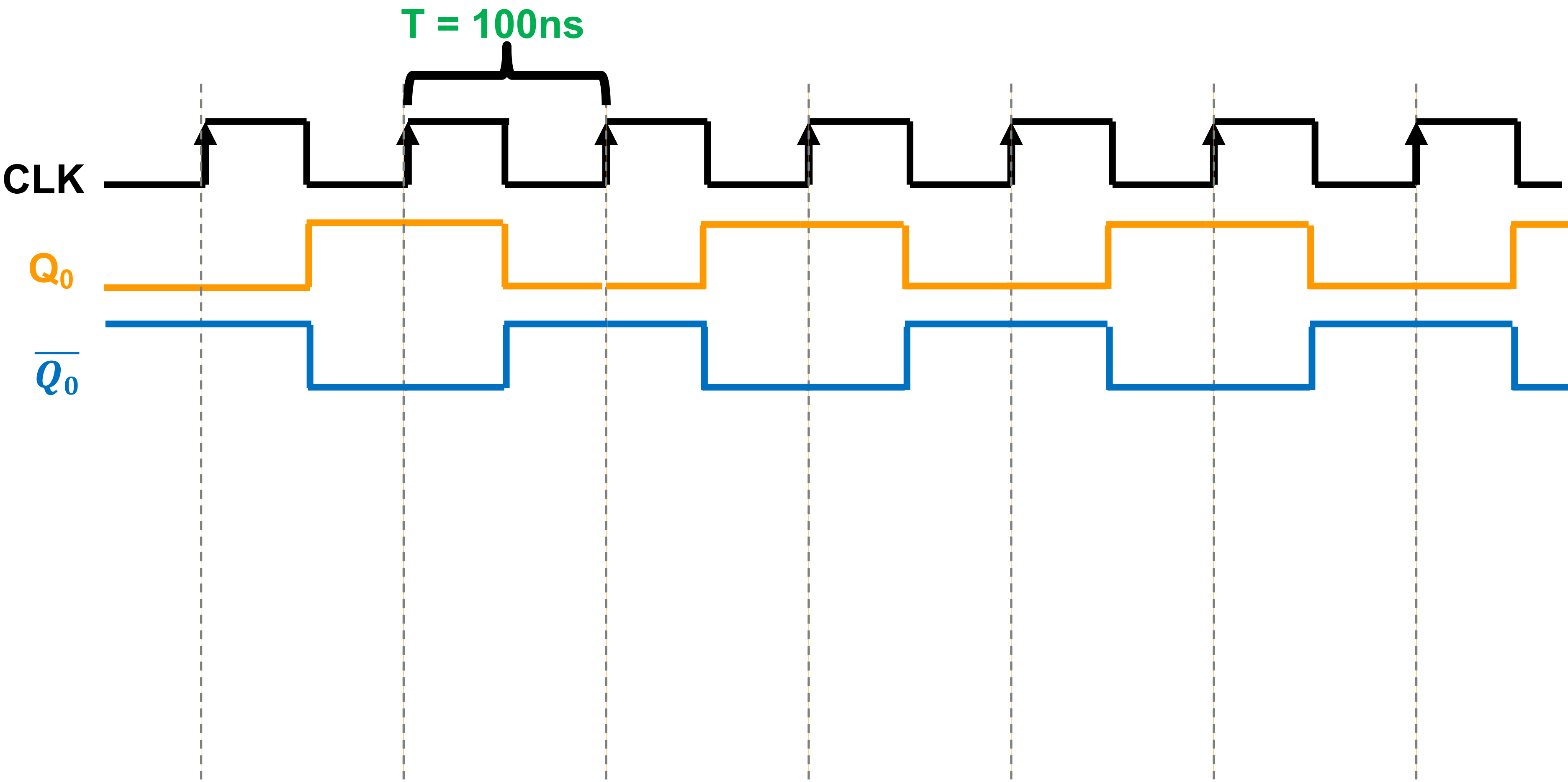
- **Exemplo: t_p = 50ns e T = 100ns (F = 10 MHz)**



FORMA DE ONDA COM ATRASO

CONTADORES ASSÍNCRONOS

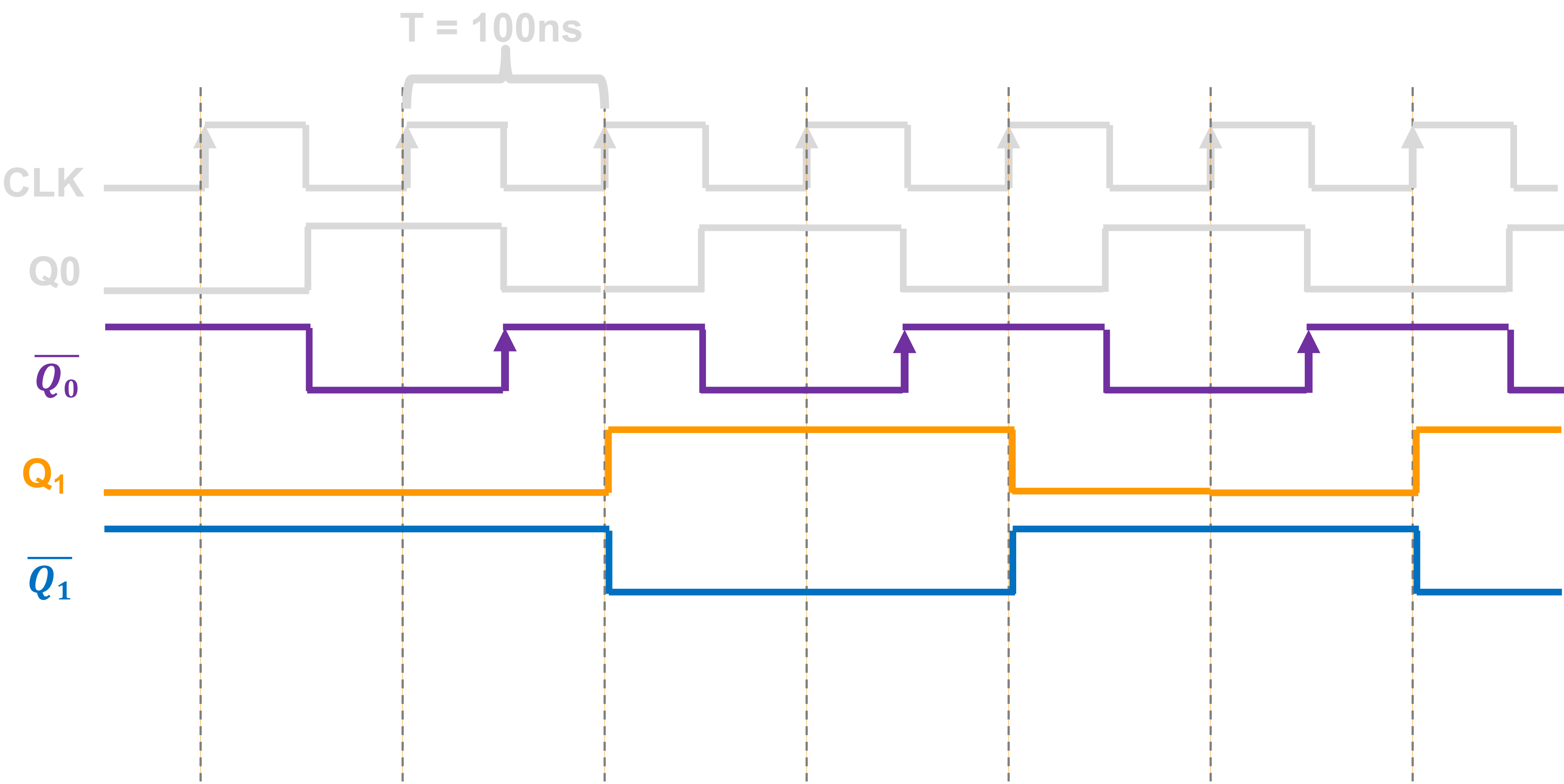
- **Exemplo: t_p = 50ns e T = 100ns (F = 10 MHz)**



FORMA DE ONDA COM ATRASO

CONTADORES ASSÍNCRONOS

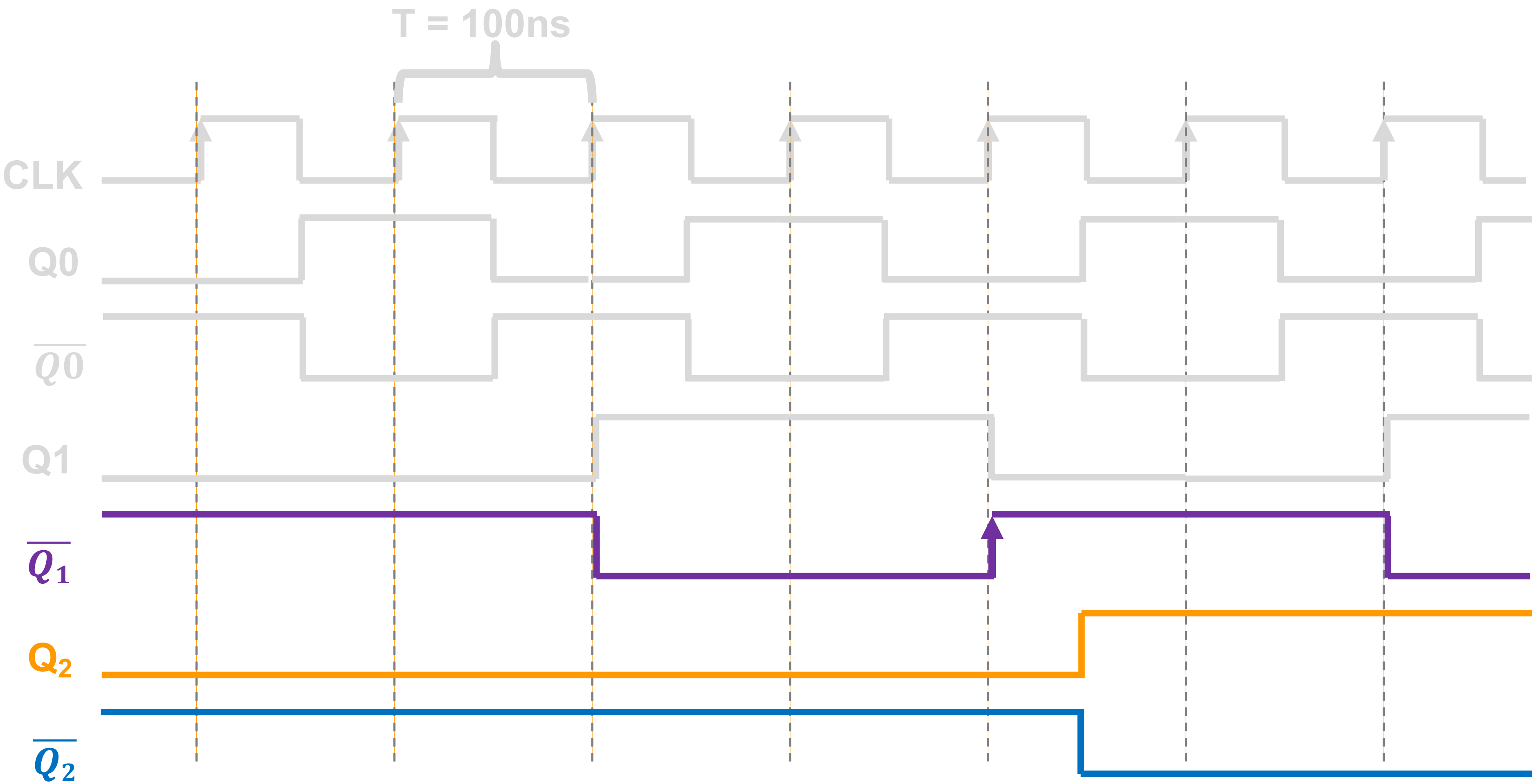
- **Exemplo: t_p = 50ns e T = 100ns (F = 10 MHz)**



FORMA DE ONDA COM ATRASO

CONTADORES ASSÍNCRONOS

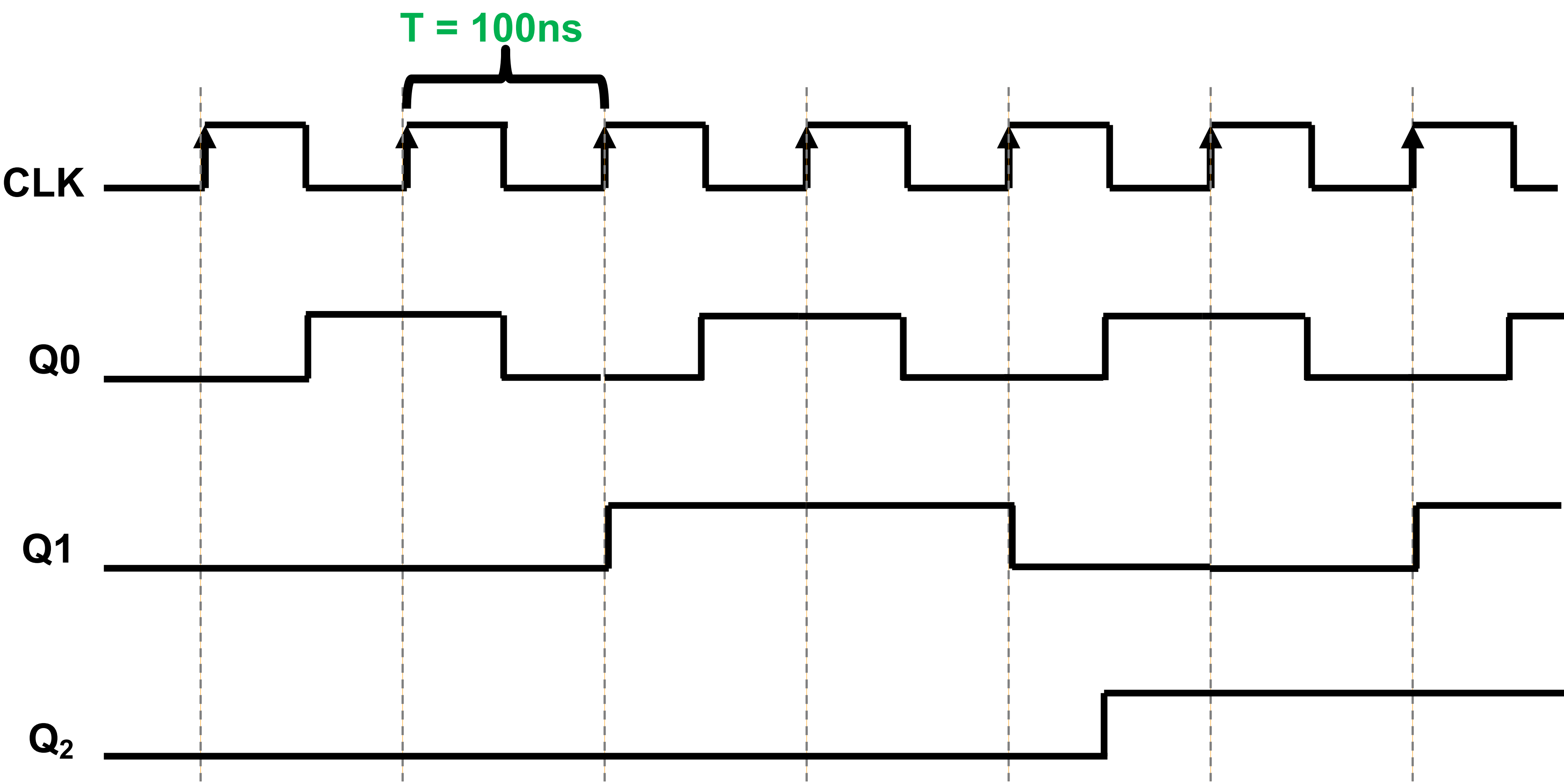
- **Exemplo: t_p = 50ns e T = 100ns (F = 10 MHz)**



FORMA DE ONDA COM ATRASO

CONTADORES ASSÍNCRONOS

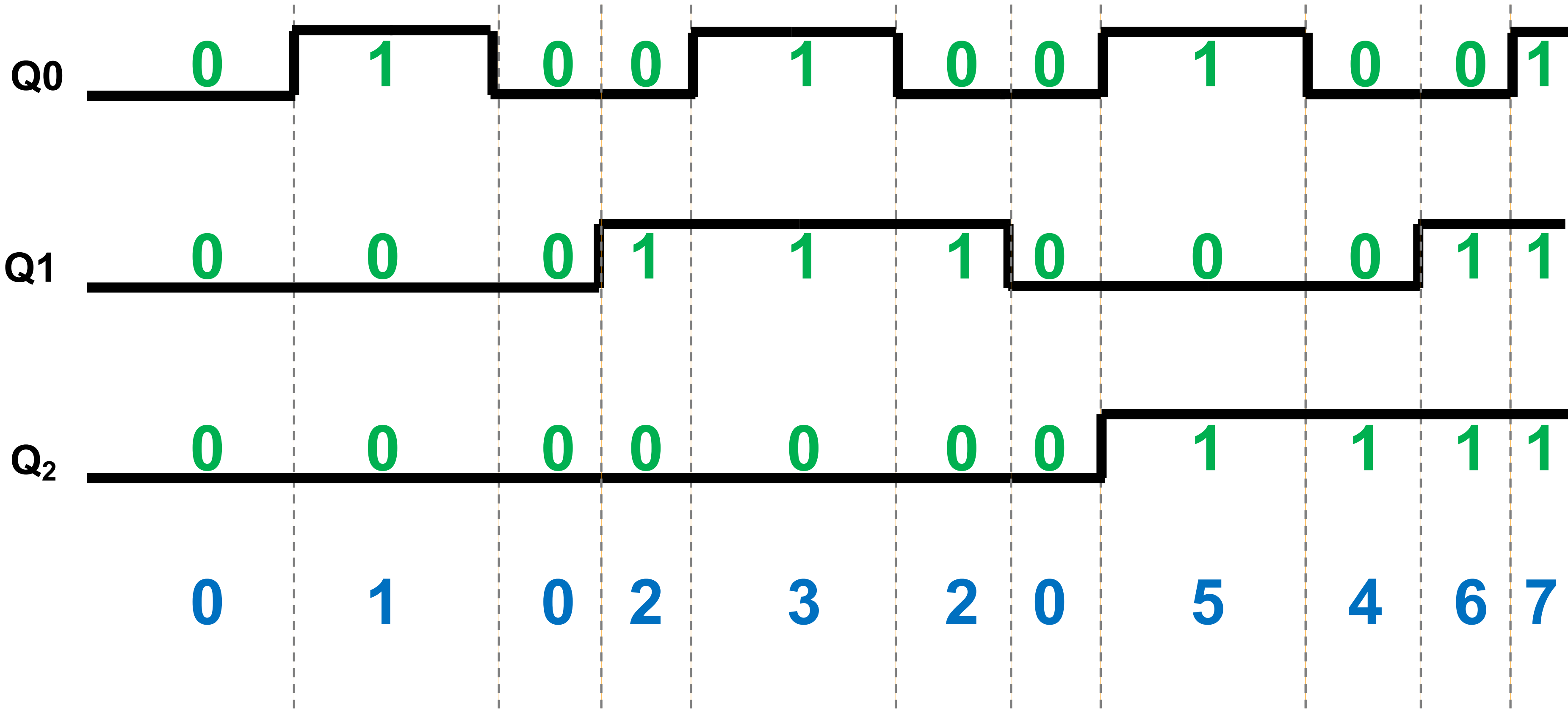
- **Exemplo: t_p = 50ns e T = 100ns (F = 10 MHz)**



FORMA DE ONDA COM ATRASO

CONTADORES ASSÍNCRONOS

- **Exemplo: t_p = 50ns e T = 100ns (F = 10 MHz)**



FORMA DE ONDA COM ATRASO

CONTADORES ASSÍNCRONOS

- **Exemplo: t_p = 50ns e T = 100ns (F = 10 MHz)**

- **Problema → Frequencia de entrada muito alta**

- **Frequencia máxima :**

$$\mathbf{T \geq N \times t_p} \rightarrow \mathbf{f_{max} = \frac{1}{N \times t_p}}$$

T → período
N → número de FFs
t_p → tempo de propagação de um FF
f_{max} → frequencia máxima

CONTADORES ASSÍNCRONOS

- **No exemplo: t_p = 50ns e 3 estágios de FF**

- **Frequencia máxima :**

$$\mathbf{T \geq 3 \times 50ns = 150ns}$$

$$f_{max} = \frac{1}{150ns} = 6,67 \times 10^{-3} \times 10^{9} \cong 6,67MHz$$

CONTADORES SÍNCRONOS

- Os Flip-Flops mudam de estado com o mesmo sincronismo

- **O mesmo clock é ligado em todos os FFs**

- Há um atraso entre as mudanças de estado de cada FF

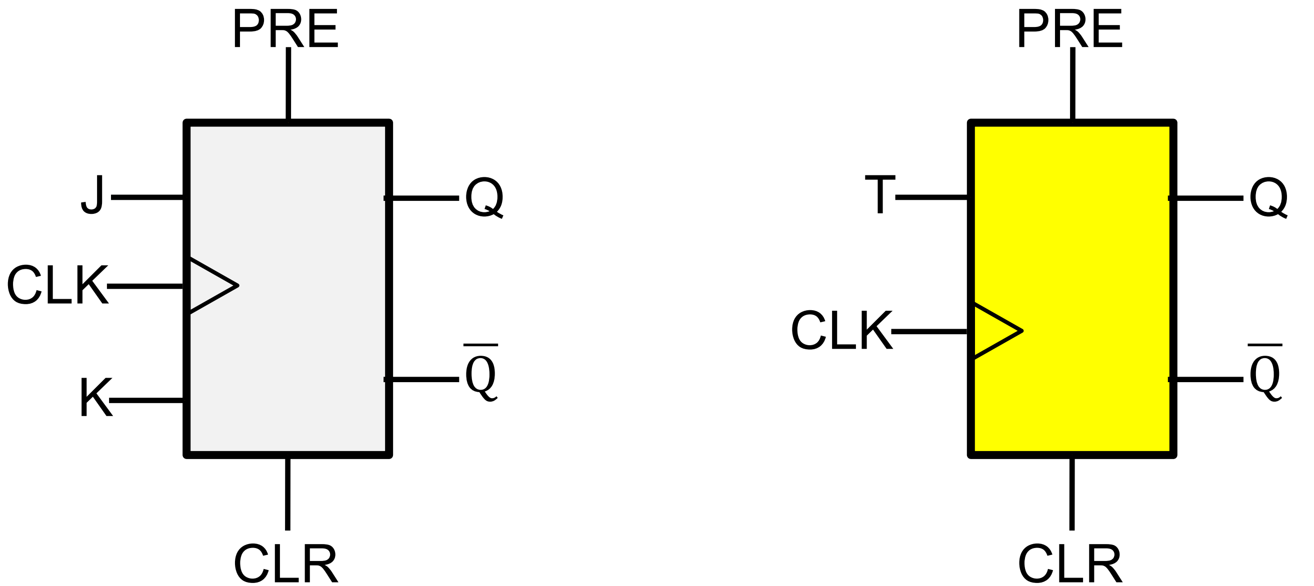
- O atraso **NÃO** é propagado de acordo com o número de FF

- **Frequencias mais altas**

CONTADORES SÍNCRONOS

- Usa-se principalmente flip-flop **JK** ou **T**

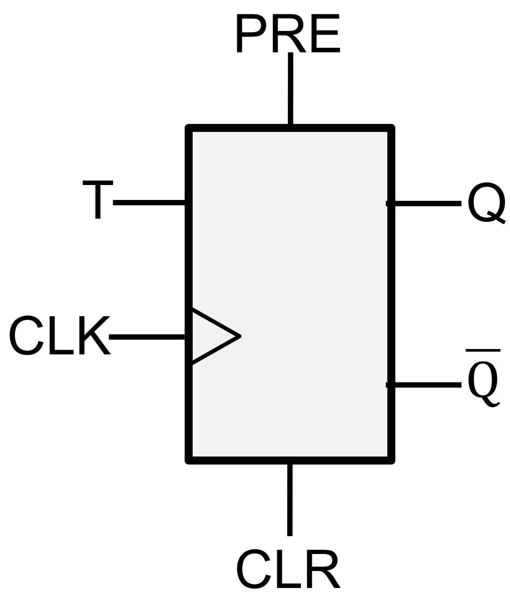
- Também é utilizado o FF tipo D



FLIP-FLOP T COM PRESET E CLEAR

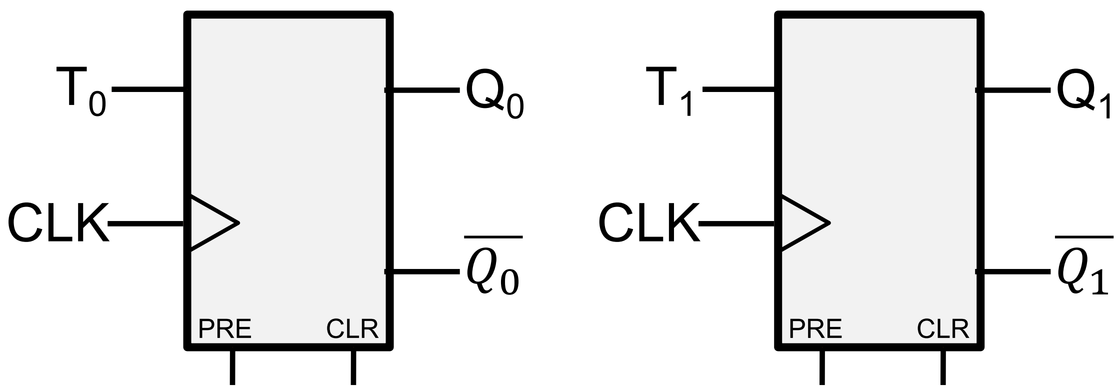
PRE	CLR	Q_{t+1}
0	0	FUNCIONAMENTO NORMAL
0	1	**0**
1	0	**1**
1	1	NÃO PERMITIDO

CLK	T	Q_{t+1}
$\neq\uparrow$	X	Q_t
$\uparrow$	0	Q_t
$\uparrow$	1	$\overline{Q_t}$



CONTADORES SÍNCRONOS

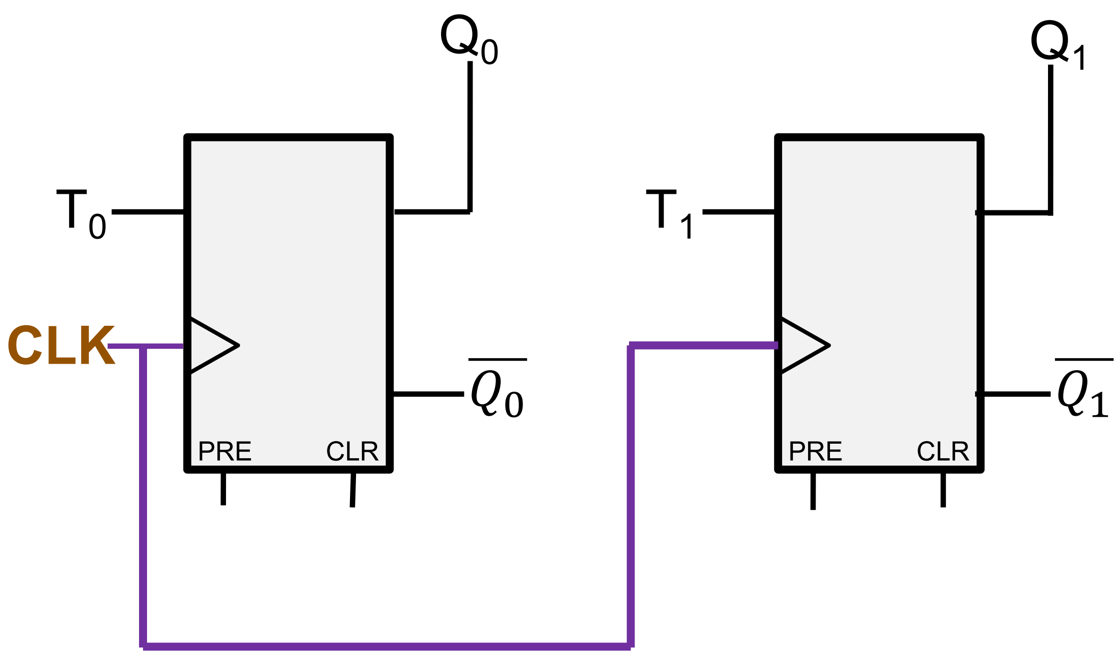
- Contador de **n** bits → **n** flip-flops
- maior número que um de **n** contador pode contar → **2^n - 1**
- Exemplo : Contador de palavras de **2 bits → 2 FFs**



Contador de palavras de 2 bits conta até 2^2 – 1 = 3

CONTADORES SÍNCRONOS - PASSOS

- **Passo 1 :** o clock é conectado em todos flip-flops
- Exemplo : Contador de palavras de **2 bits**



CONTADORES SÍNCRONOS - PASSOS

- **Passo 2 :** as entradas T dos FFs devem ser:

$$T_0 = 1$$

$$T_1 = Q_0$$

$$T_2 = Q_0 \bullet Q_1$$

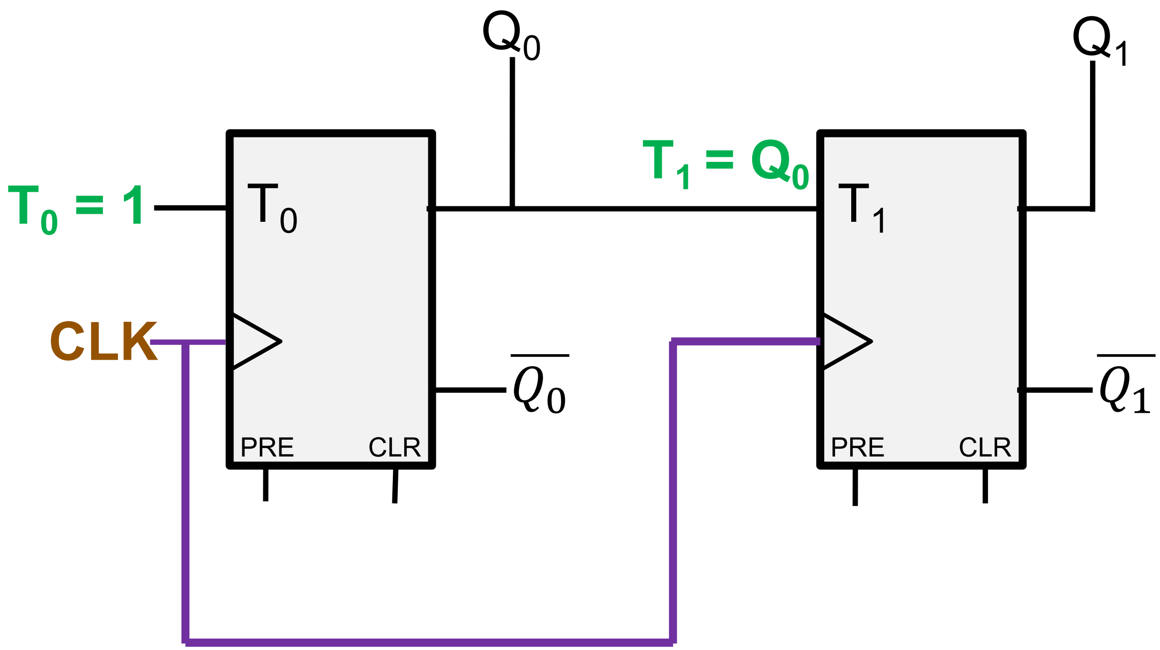
$$T_3 = Q_0 \bullet Q_1 \bullet Q_2$$

$$\vdots$$

$$T_n = Q_0 \bullet Q_1 \bullet \ldots \bullet Q_{n-1}$$

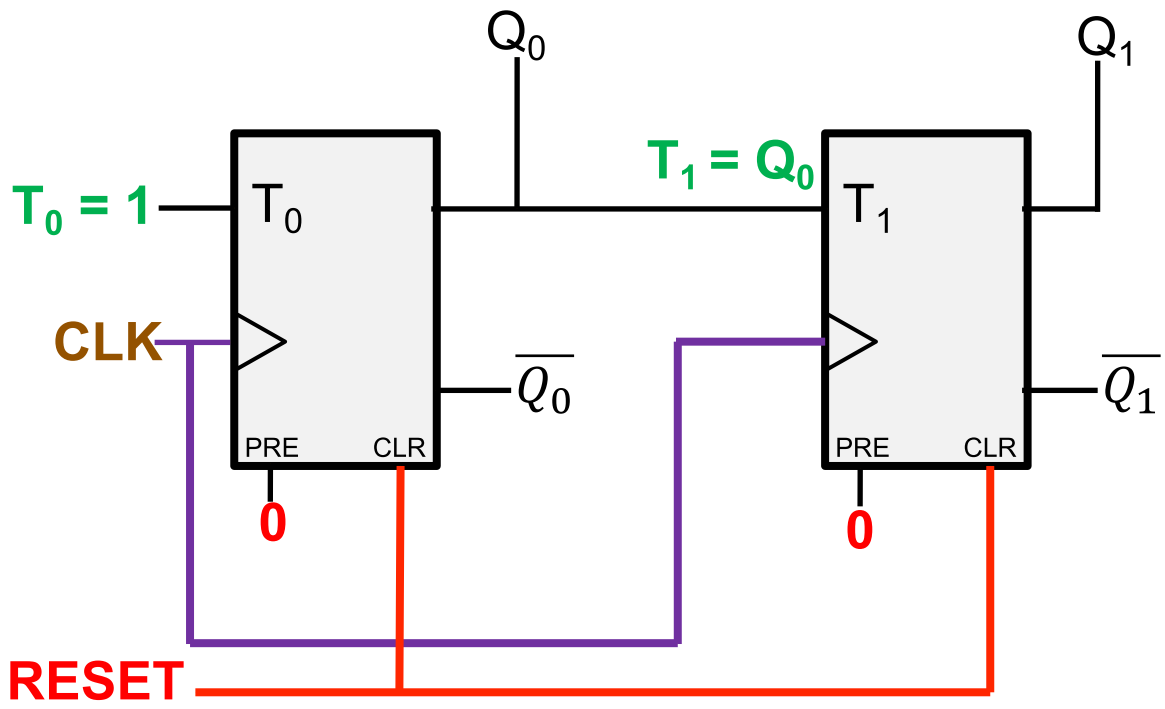
CONTADORES SÍNCRONOS - PASSOS

- **Passo 2**
- Exemplo : Contador de palavras de **2 bits**



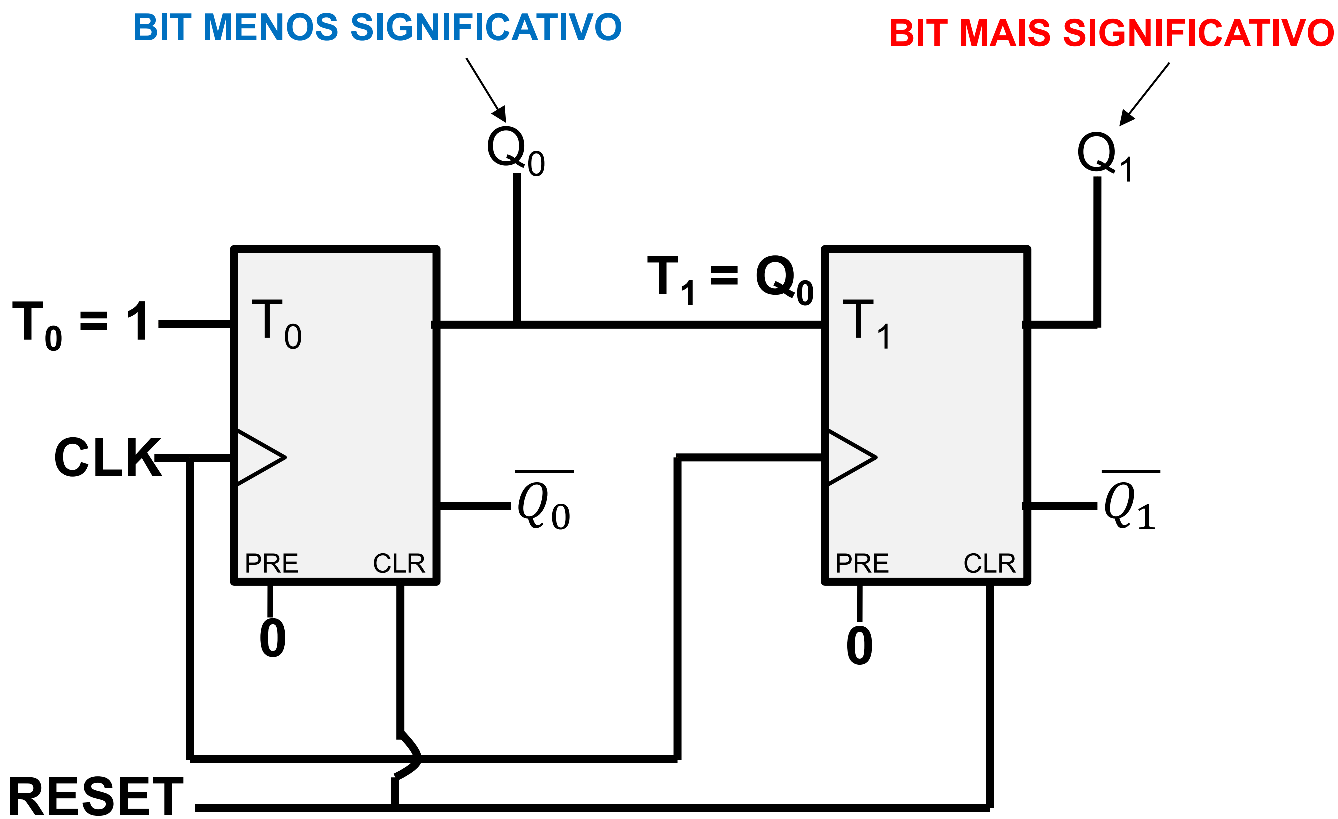
CONTADORES SÍNCRONOS - PASSOS

- **Passo 3 :** interligar as entradas CLEAR dos flip-flops para resetar o contador / PRESET fica desabilitado (0)
- Exemplo : Contador de palavras de **2 bits**



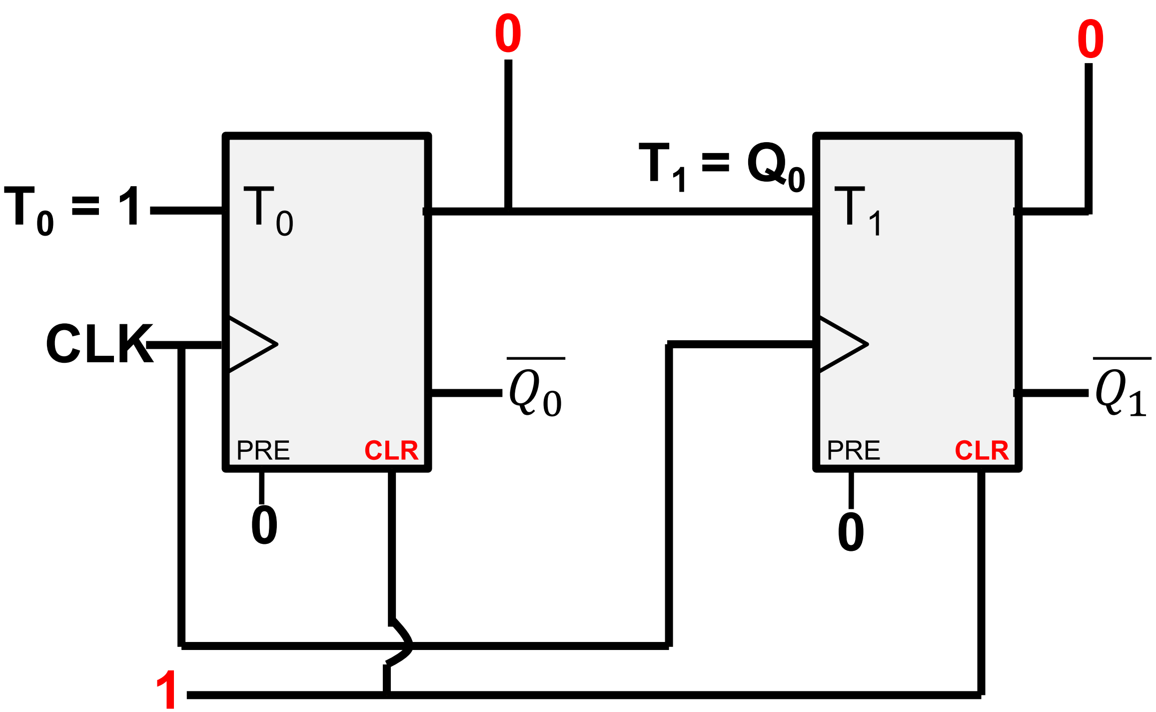
CONTADORES SÍNCRONOS - PASSOS

- Exemplo : Contador de palavras de **2 bits**



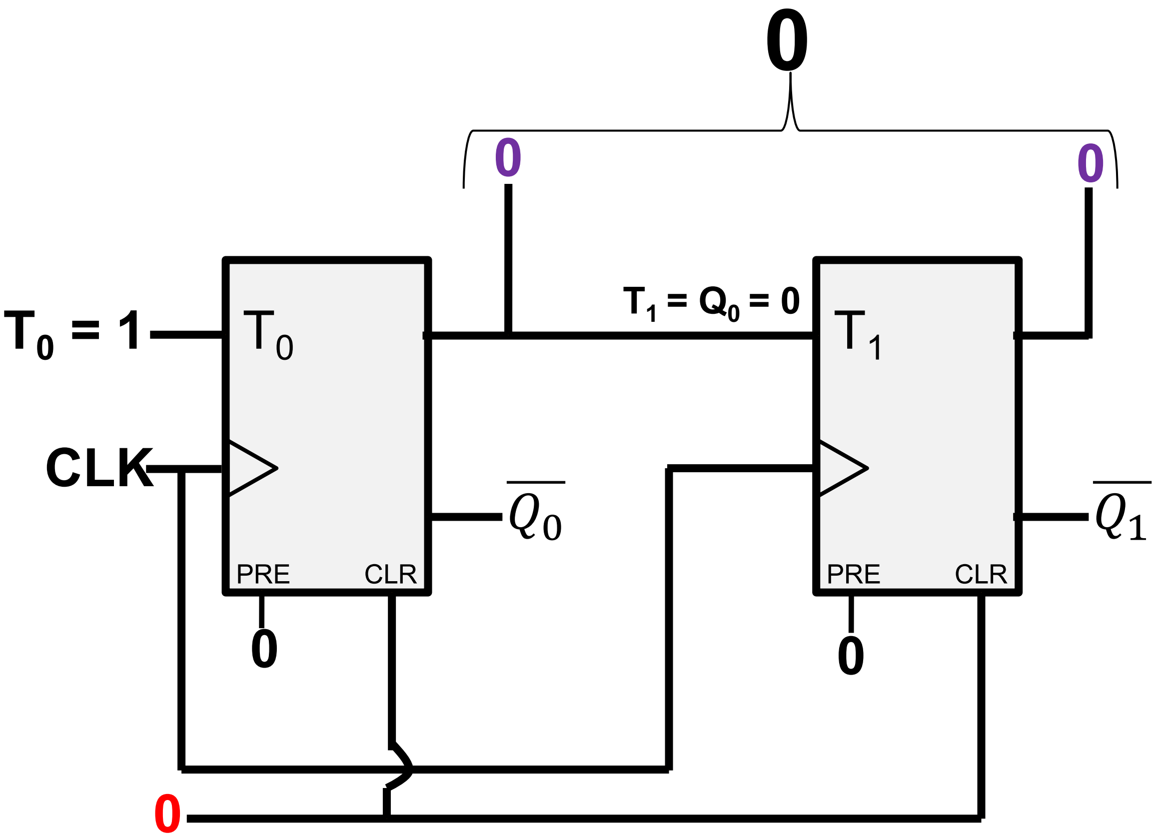
CONTADORES SÍNCRONOS

- Exemplo : Contador de palavras de **2 bits**
- **Antes da contagem → RESETAR o contador**



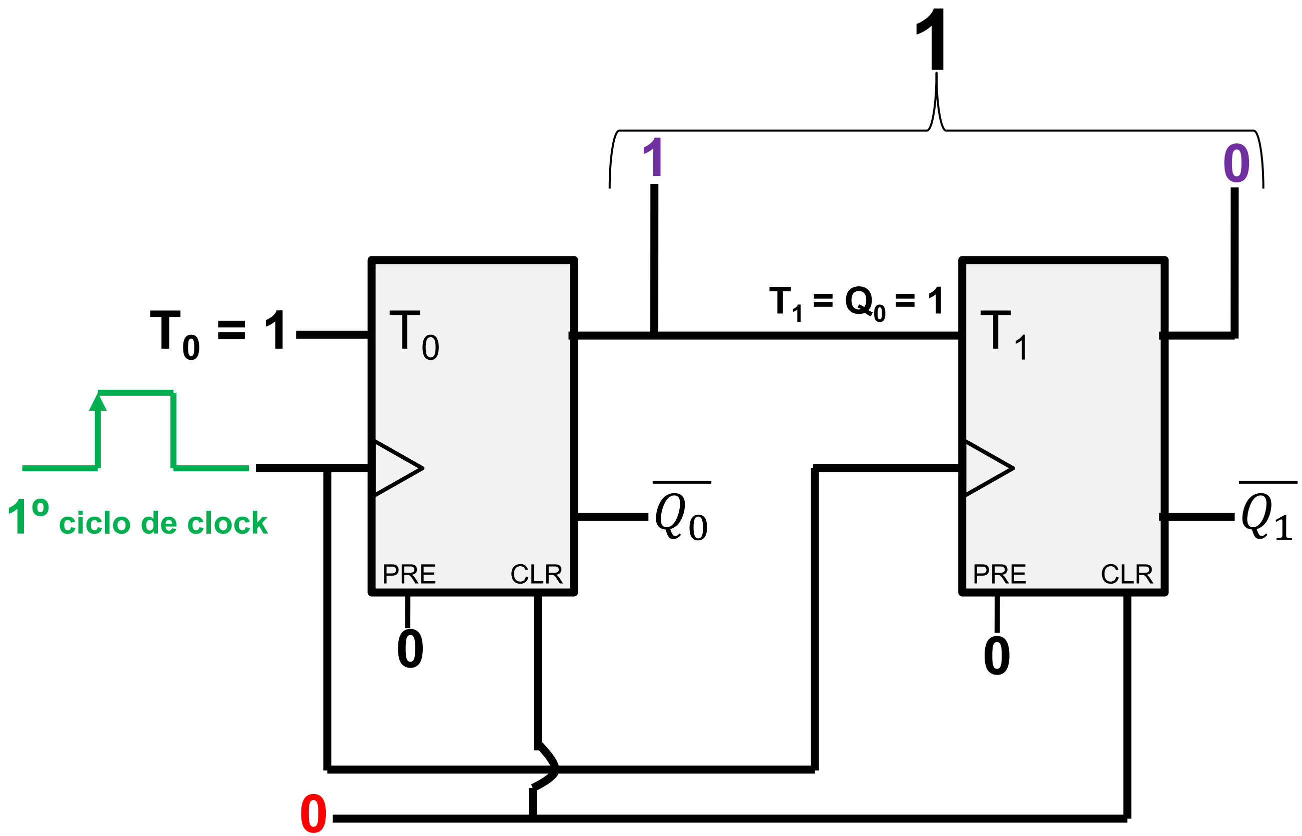
CONTADORES SÍNCRONOS

- Exemplo : Contador de palavras de **2 bits**
- **PRESET e CLEAR iguais a 0 → operação normal**



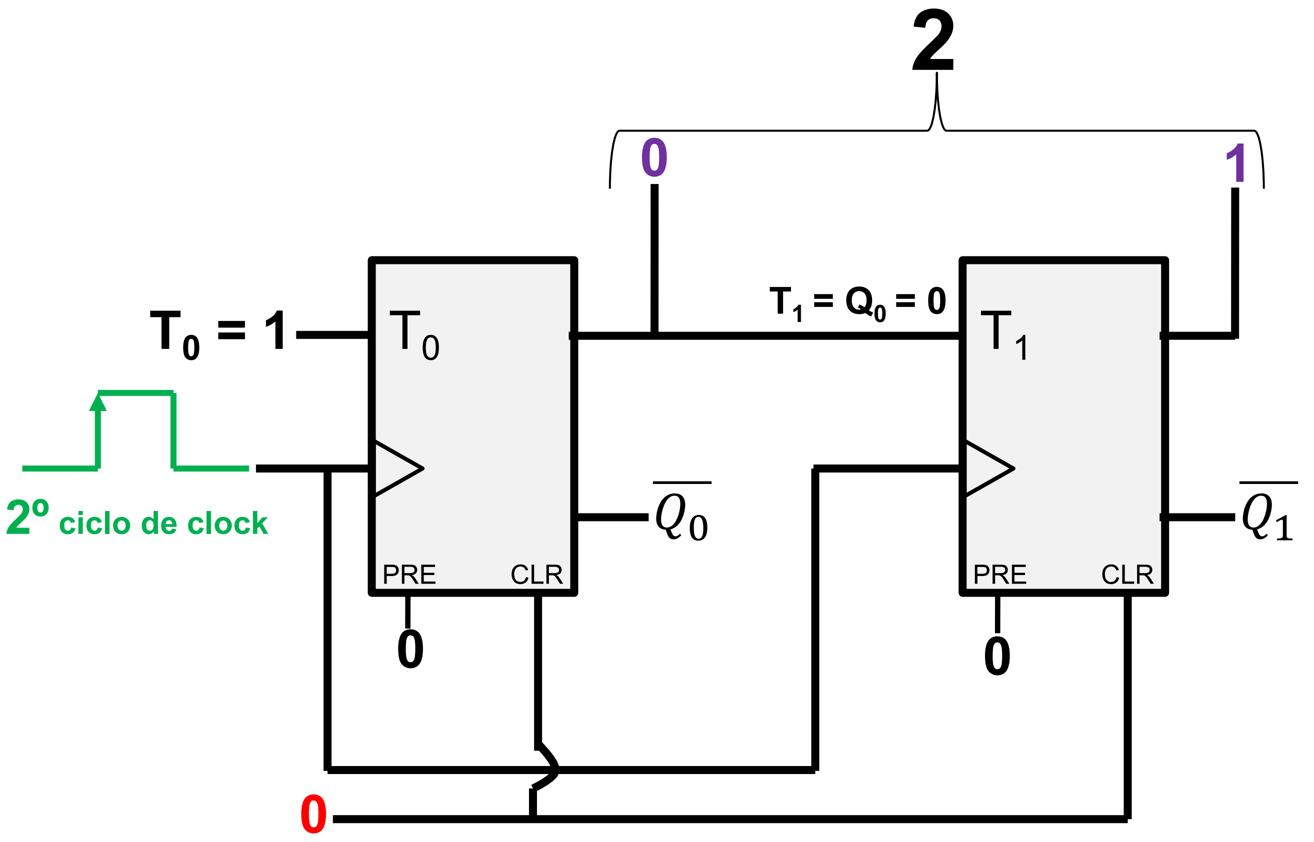
CONTADORES SÍNCRONOS

- Exemplo : Contador de palavras de **2 bits**



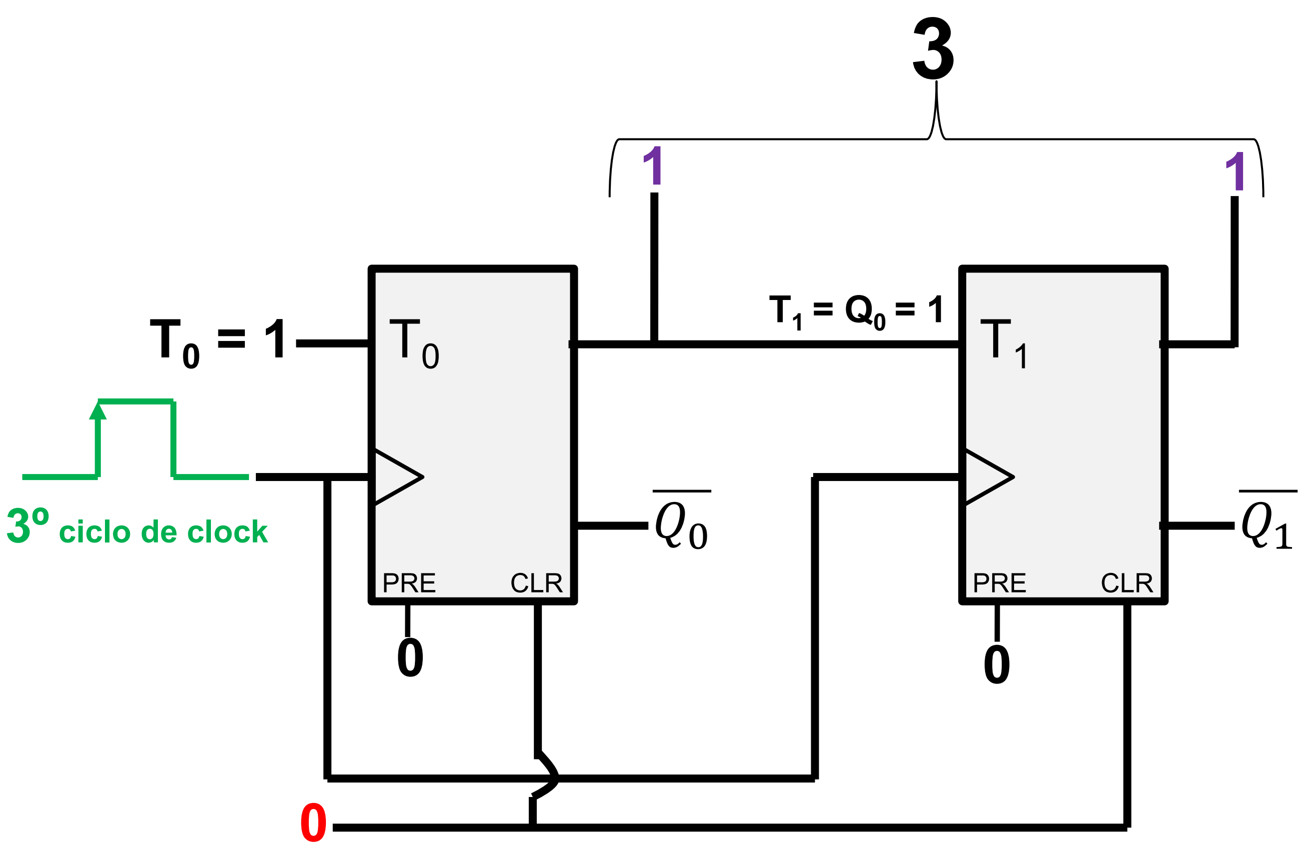
CONTADORES SÍNCRONOS

- Exemplo : Contador de palavras de **2 bits**



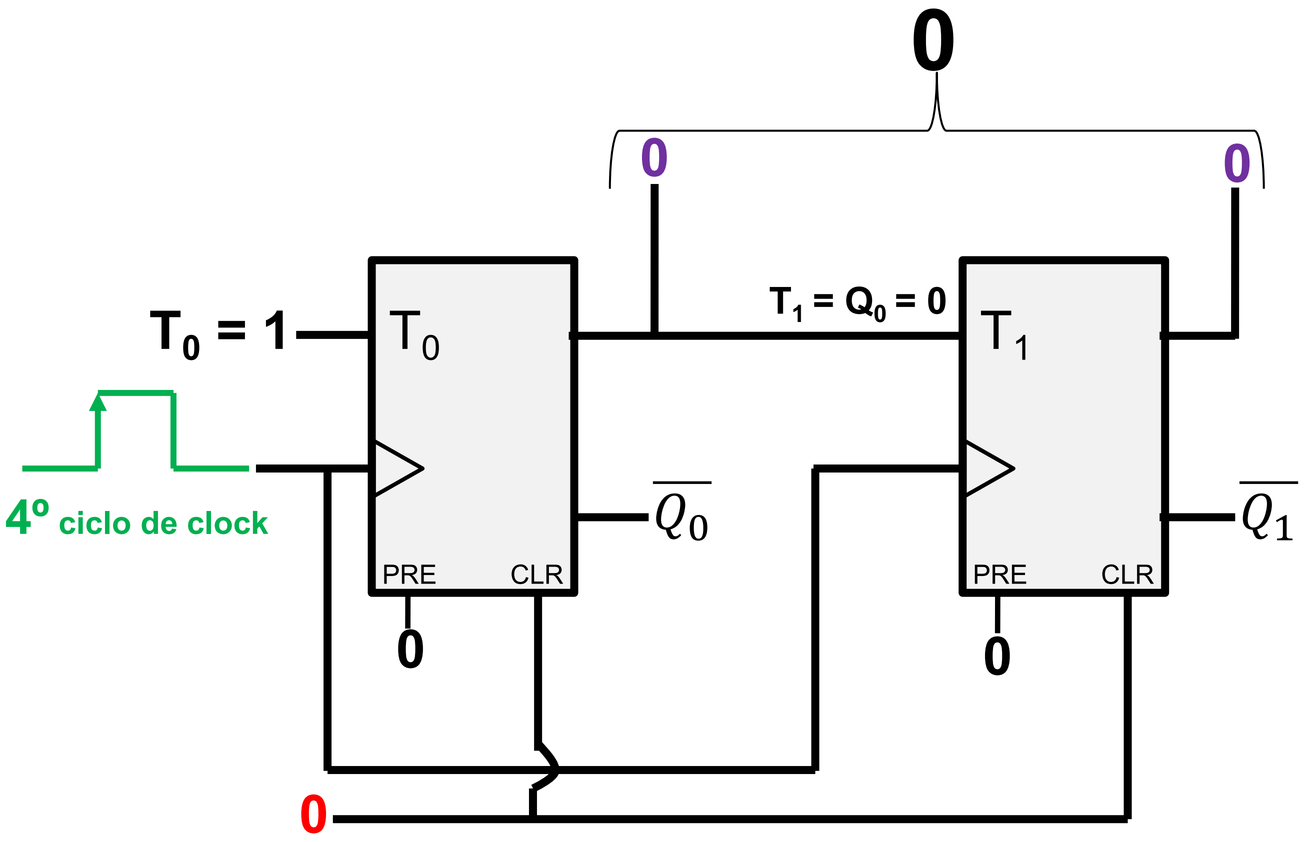
CONTADORES SÍNCRONOS

- Exemplo : Contador de palavras de **2 bits**



CONTADORES SÍNCRONOS

- Exemplo : Contador de palavras de **2 bits**



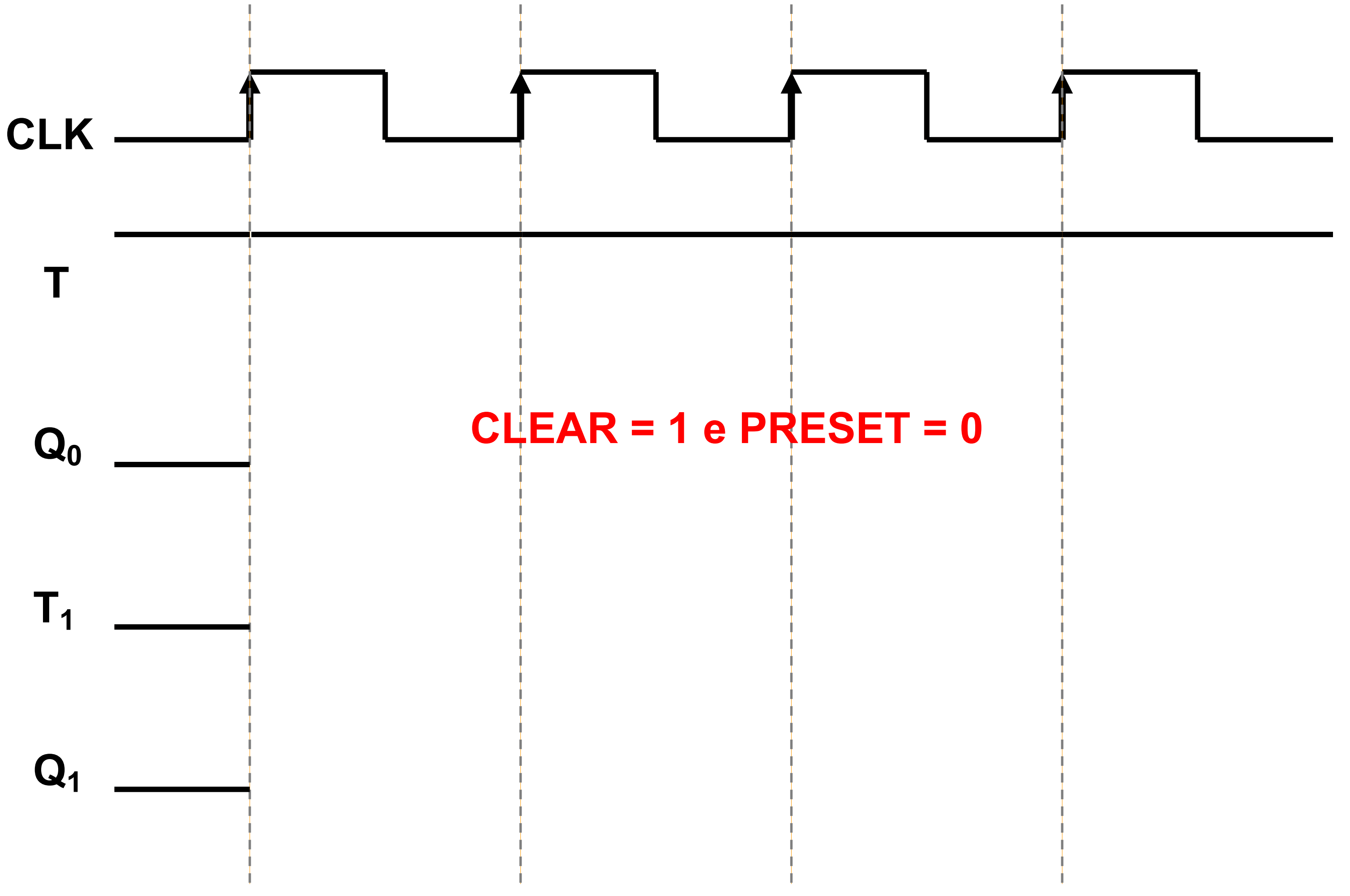
CONTADORES SÍNCRONOS

- Exemplo : Contador de palavras de **2 bits**
- **Tabela Verdade :**

Pulso de Clock	Q_1	Q_0
Valor inicial	0	0
1º	0	1
2º	1	0
3º	1	1
4º (reciclagem)	0	0

CONTADORES SÍNCRONOS

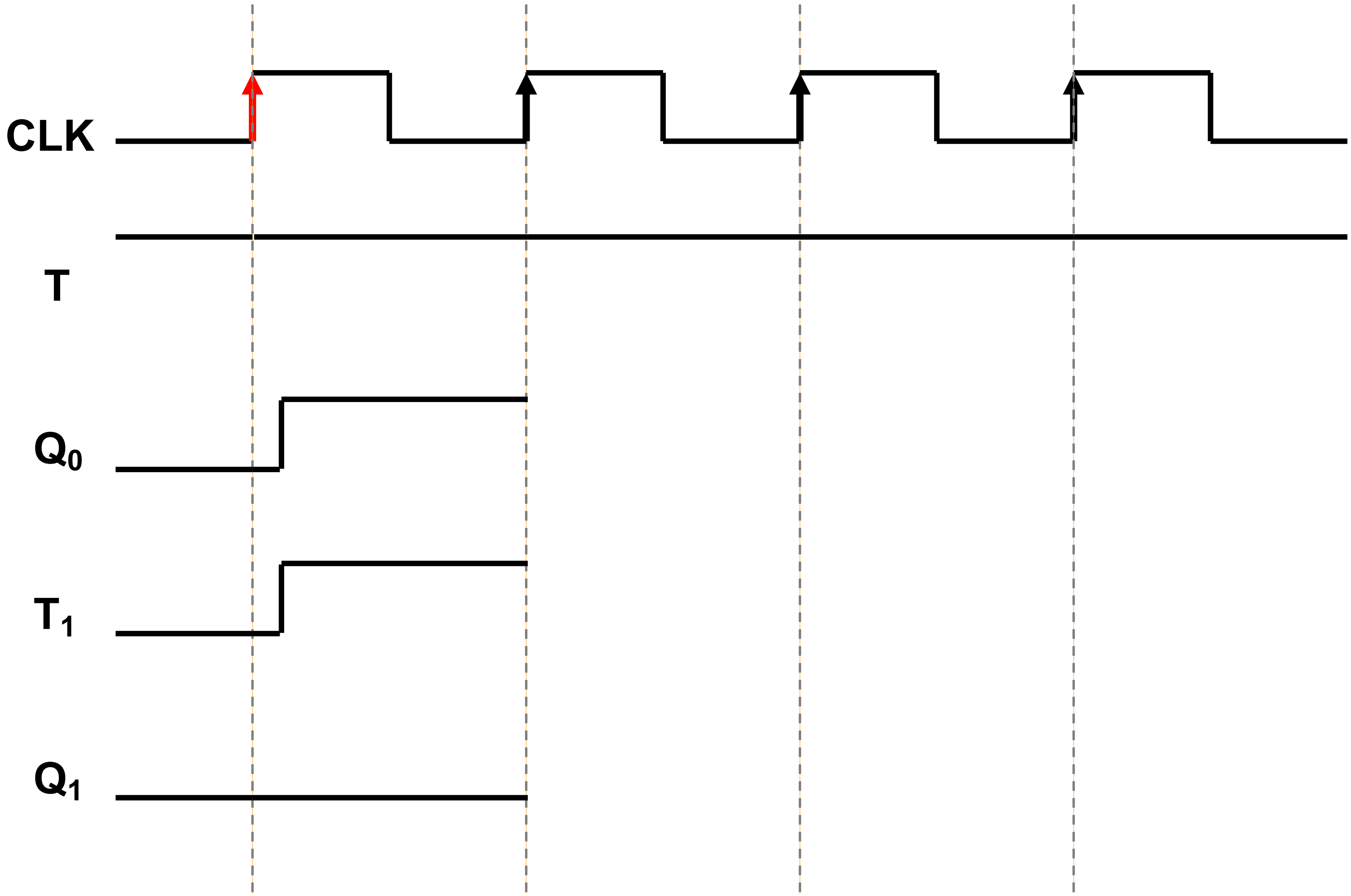
- Exemplo : Contador de palavras de **2 bits**



FORMA DE ONDA COM ATRASO

CONTADORES SÍNCRONOS

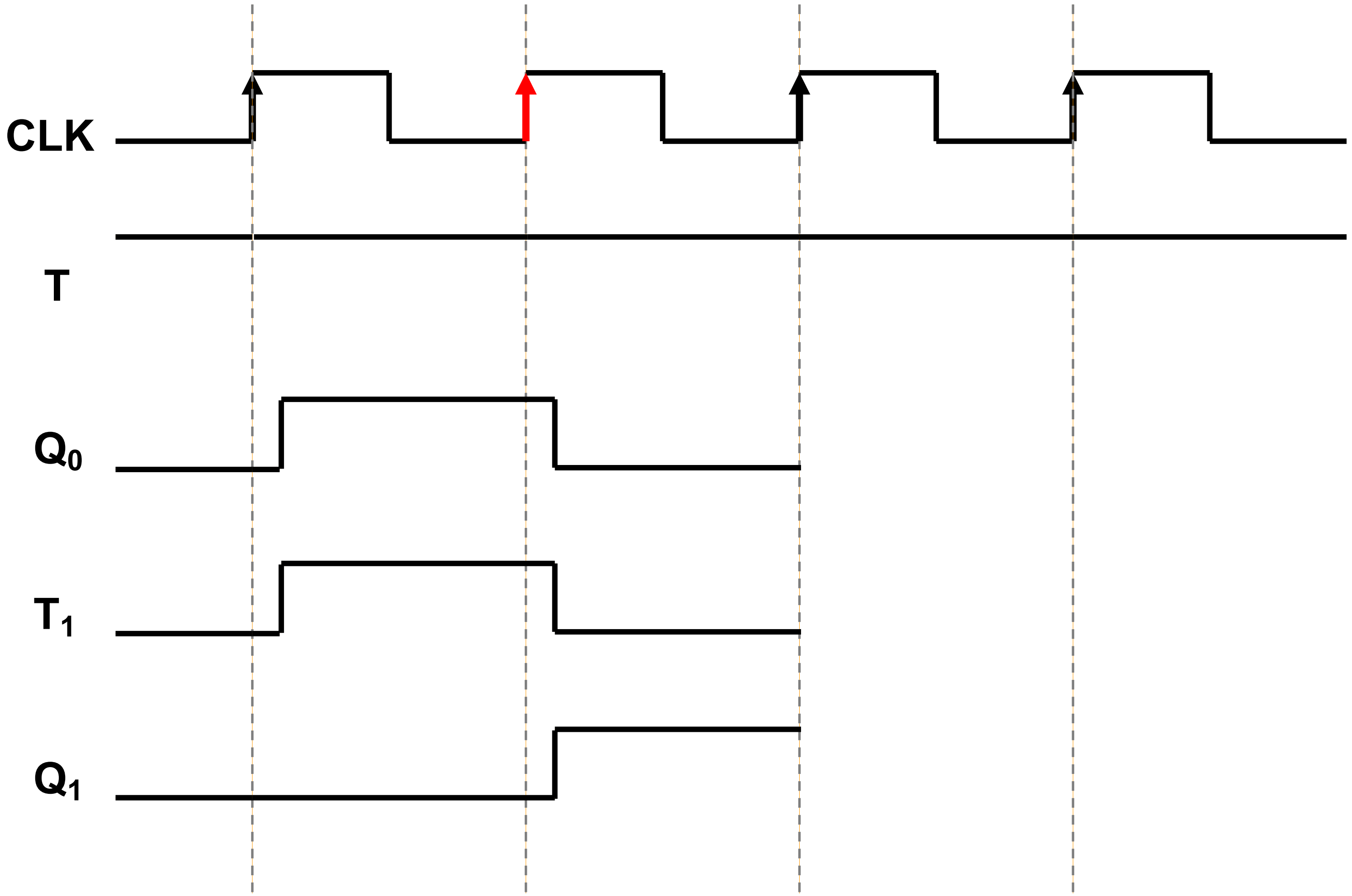
- Exemplo : Contador de palavras de **2 bits**



FORMA DE ONDA COM ATRASO

CONTADORES SÍNCRONOS

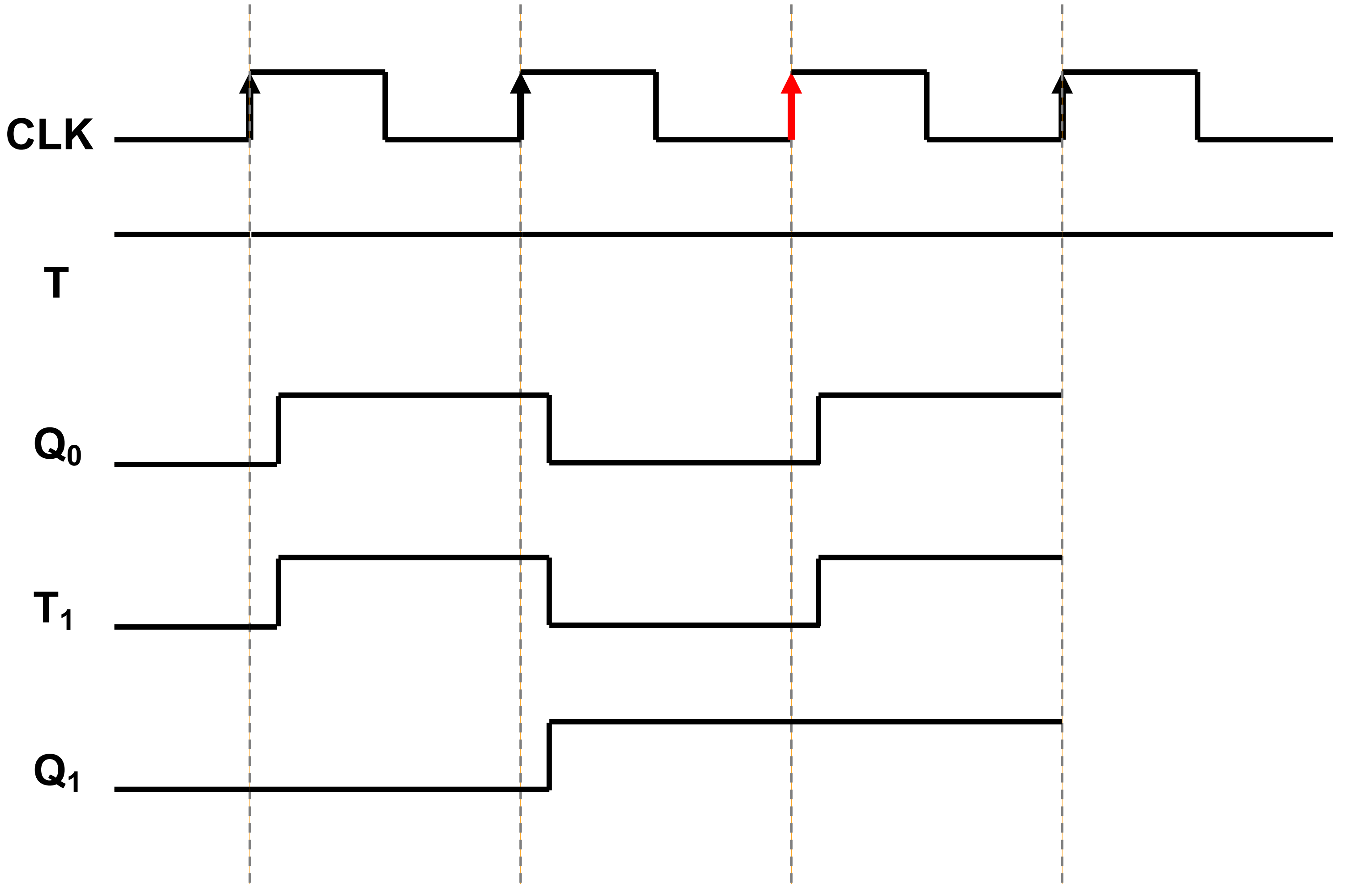
- Exemplo : Contador de palavras de **2 bits**



FORMA DE ONDA COM ATRASO

CONTADORES SÍNCRONOS

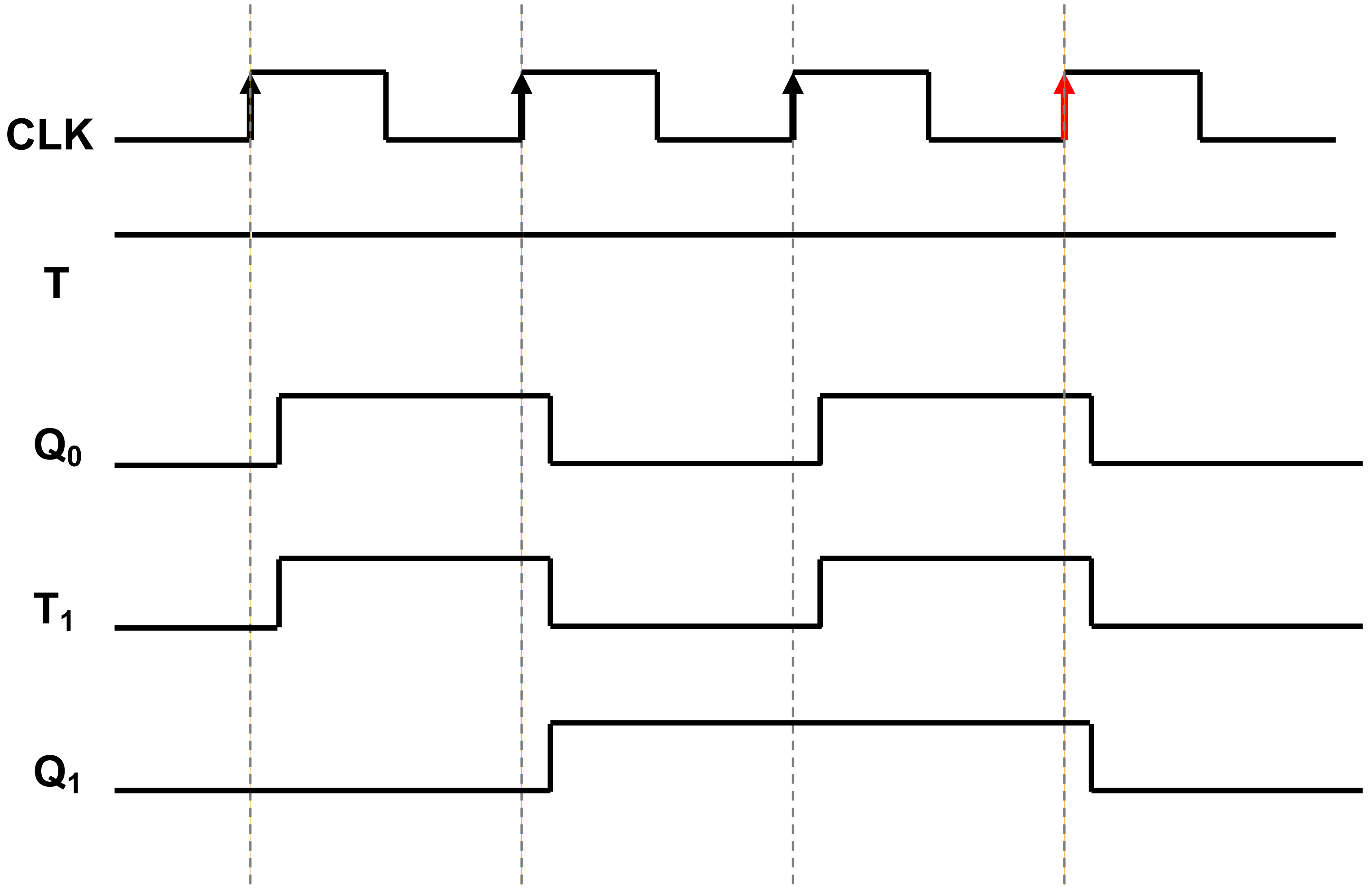
- Exemplo : Contador de palavras de **2 bits**



FORMA DE ONDA COM ATRASO

CONTADORES SÍNCRONOS

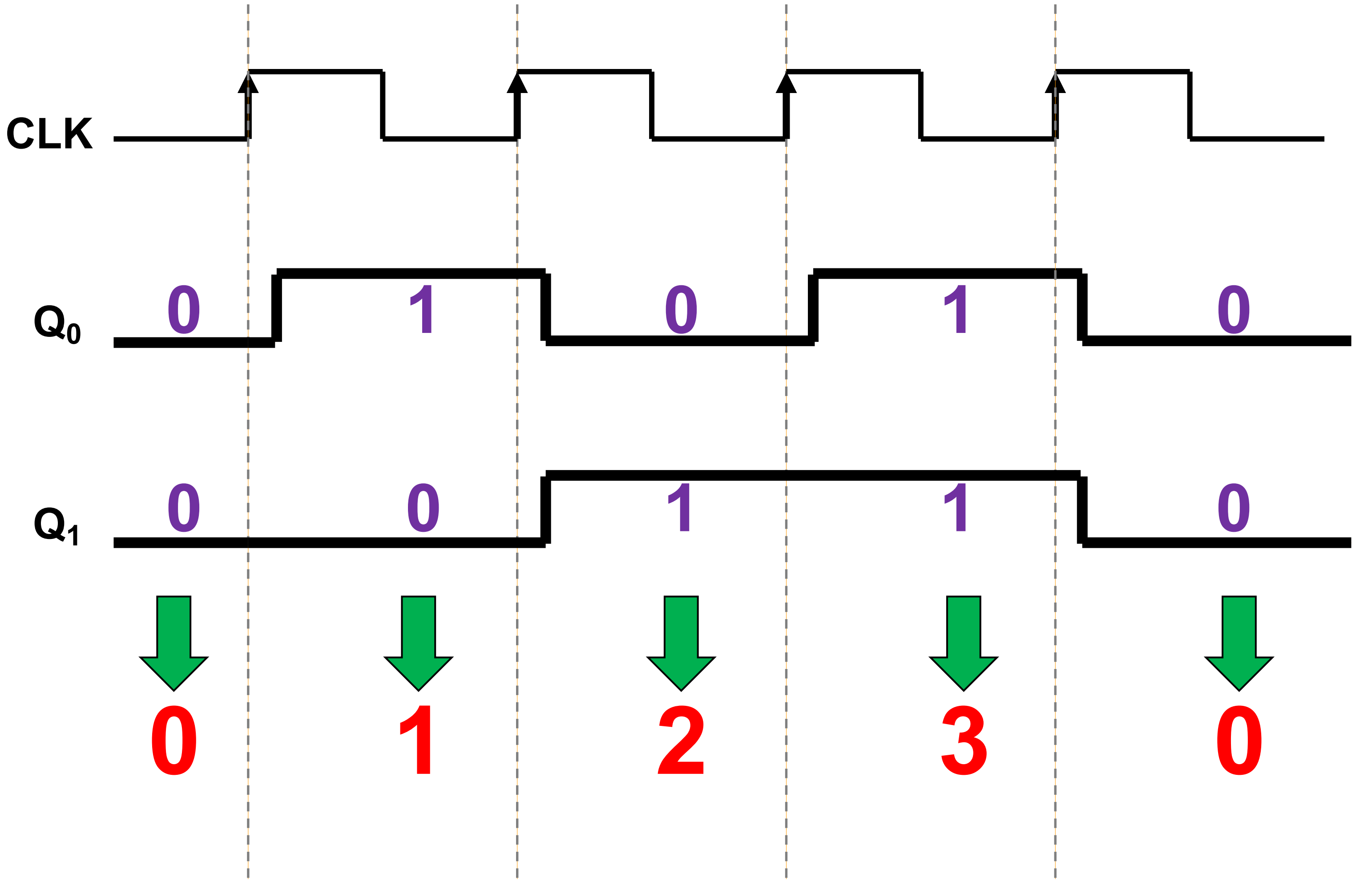
- Exemplo : Contador de palavras de **2 bits**



FORMA DE ONDA COM ATRASO

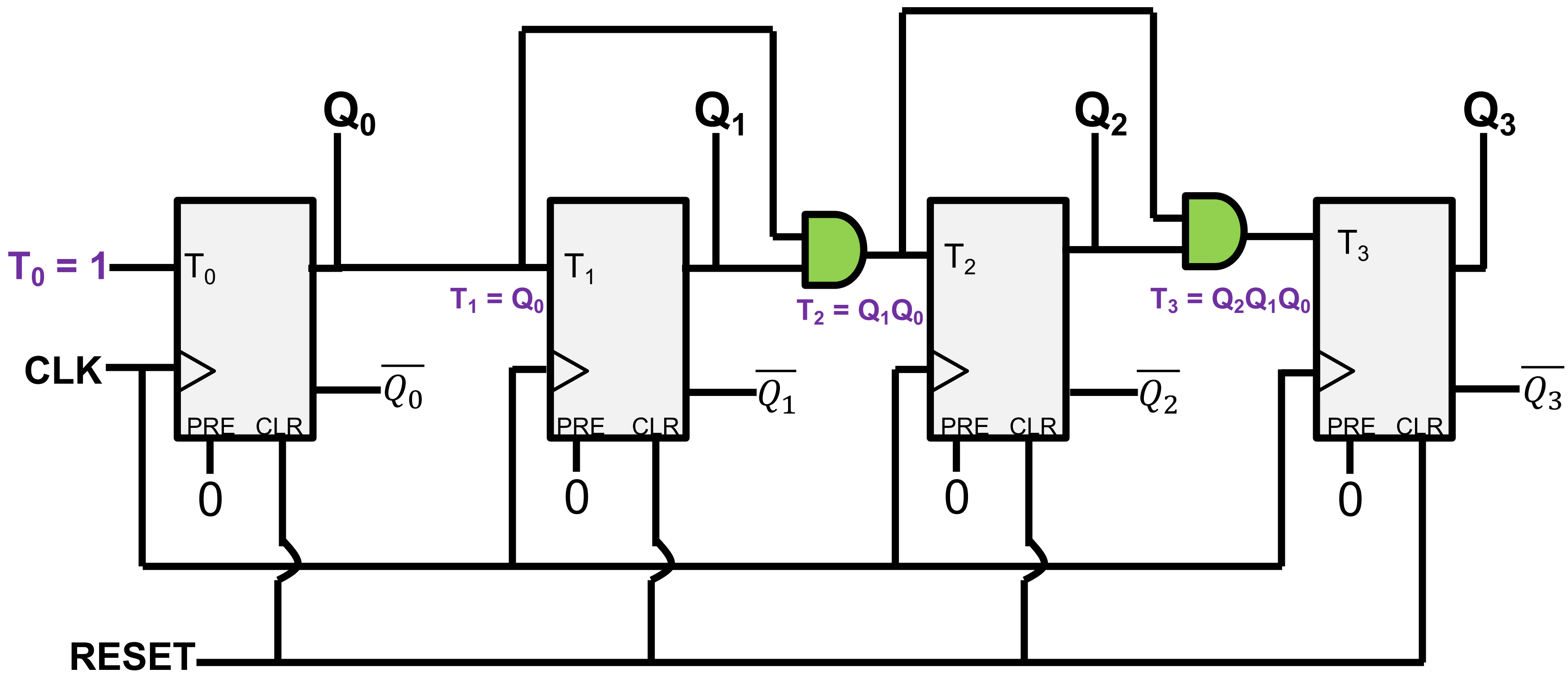
CONTADORES SÍNCRONOS

- Exemplo : Contador de palavras de **2 bits**



FORMA DE ONDA COM ATRASO

CONTADOR BINÁRIO SÍNCRONO DE 4 BITS



CONTADORES SÍNCRONOS DECRESCENTE

- **Contador Decrescente :** as entradas T dos FFs devem ser:

$$T_0 = 1$$

$$T_1 = \overline{Q_0}$$

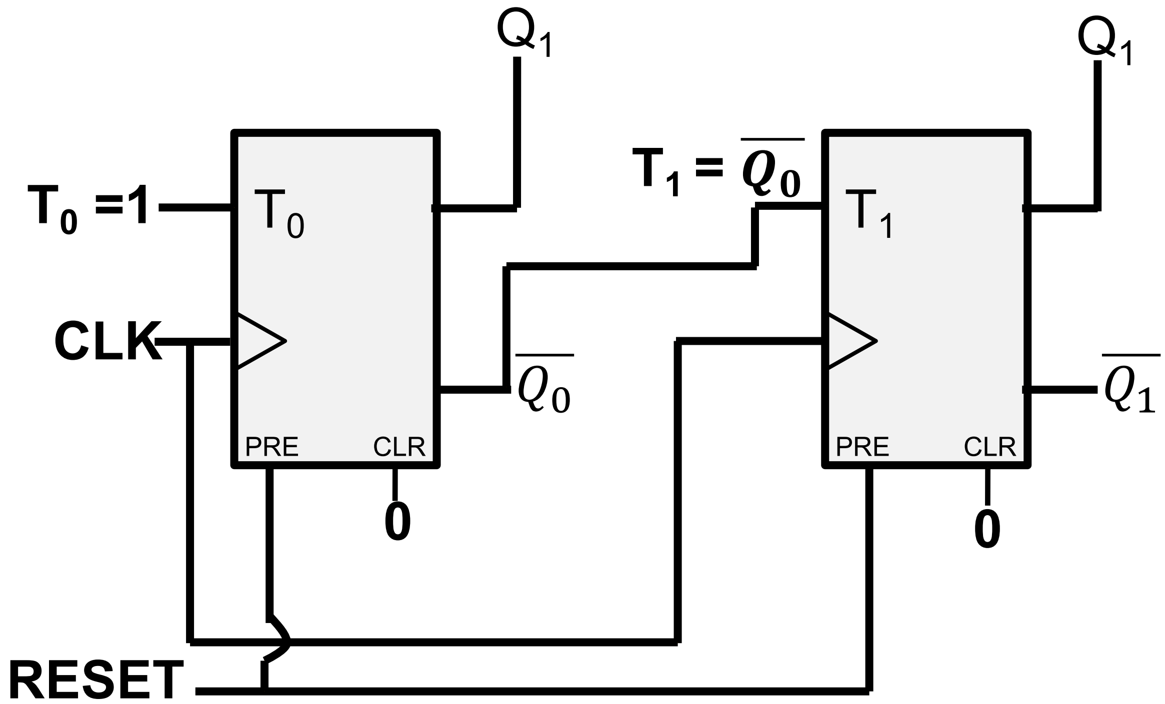
$$T_2 = \overline{Q_0} \bullet \overline{Q_1}$$

$$T_3 = \overline{Q_0} \bullet \overline{Q_1} \bullet \overline{Q_2}$$

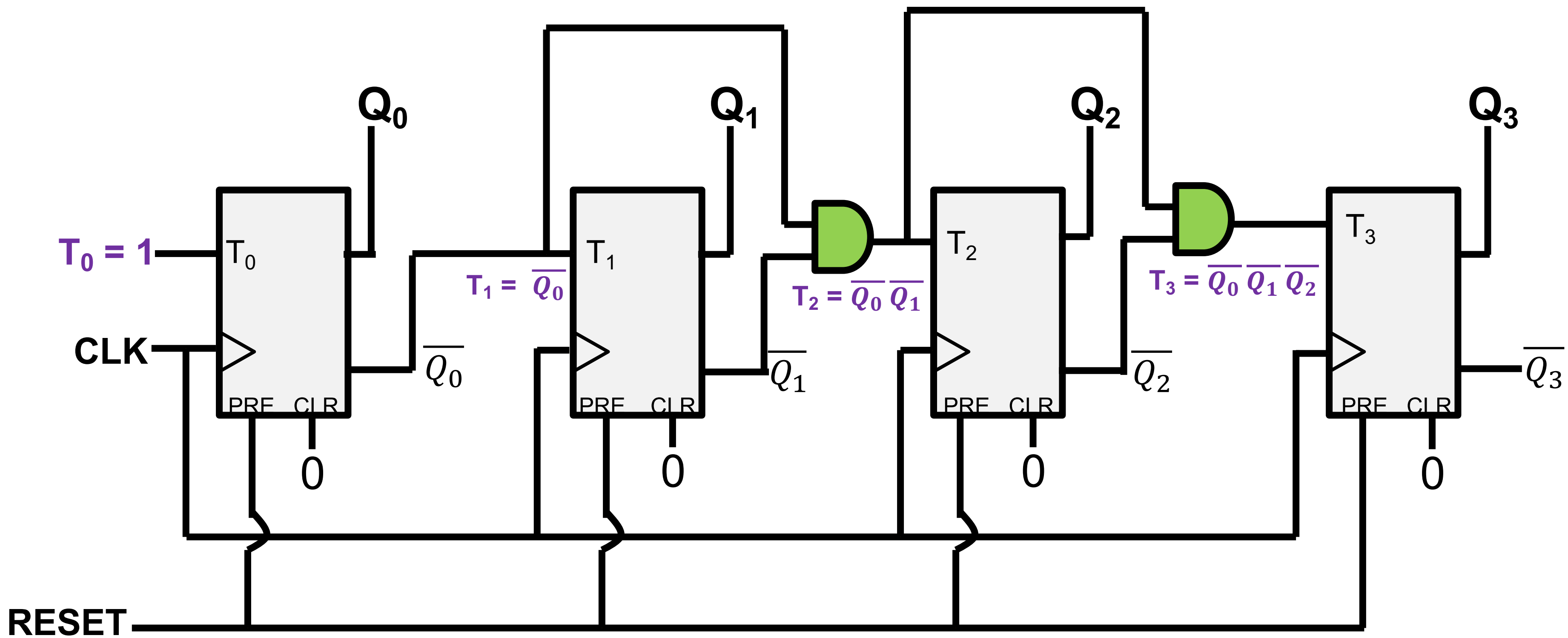
$$\vdots$$

$$T_n = \overline{Q_0} \bullet \overline{Q_1} \bullet \ldots \bullet \overline{Q_{n-1}}$$

CONTADORES SÍNCRONOS DECRESCENTE



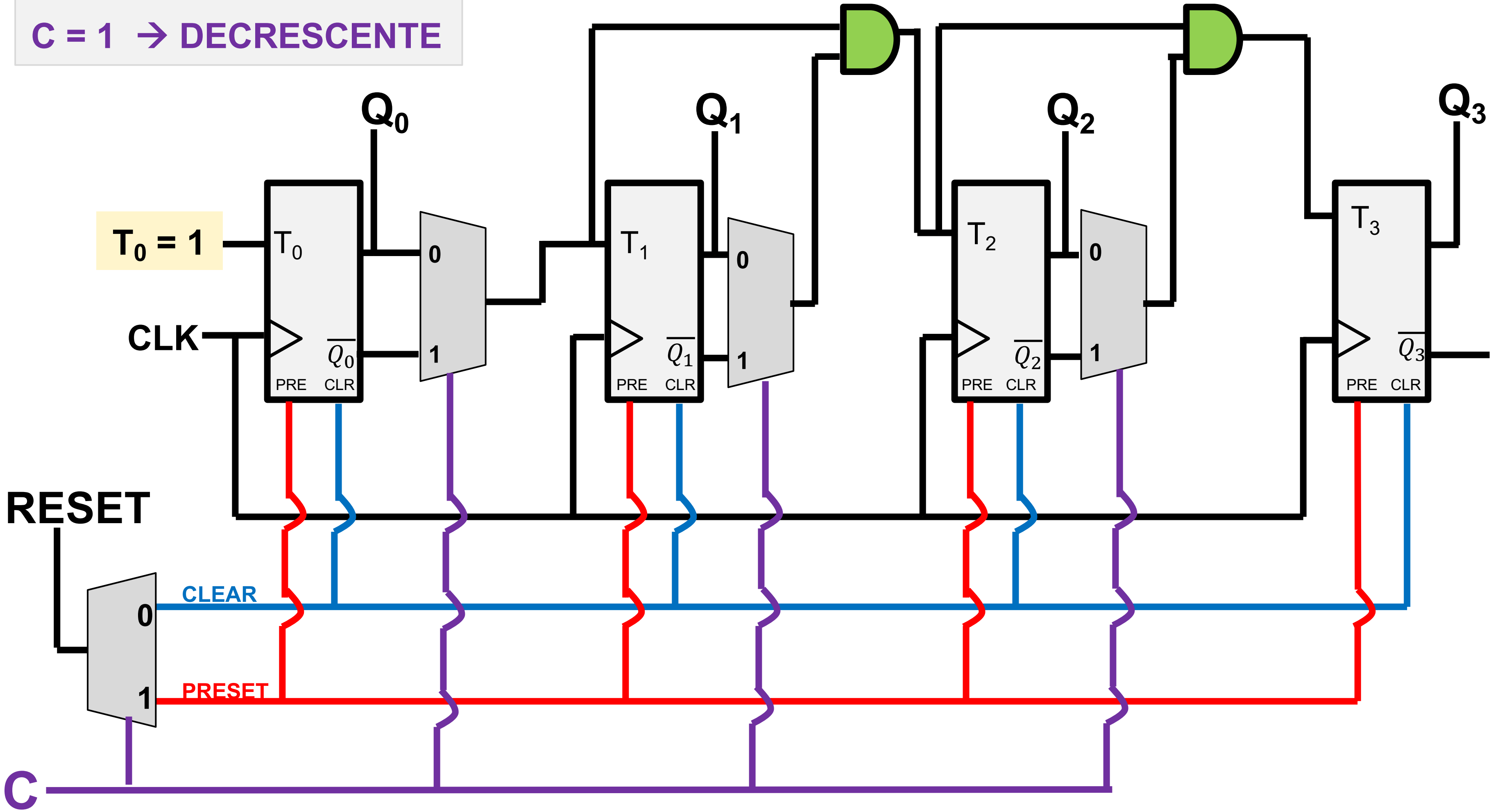
CONTADOR SÍNCRONO DECRESC. DE 4 BITS



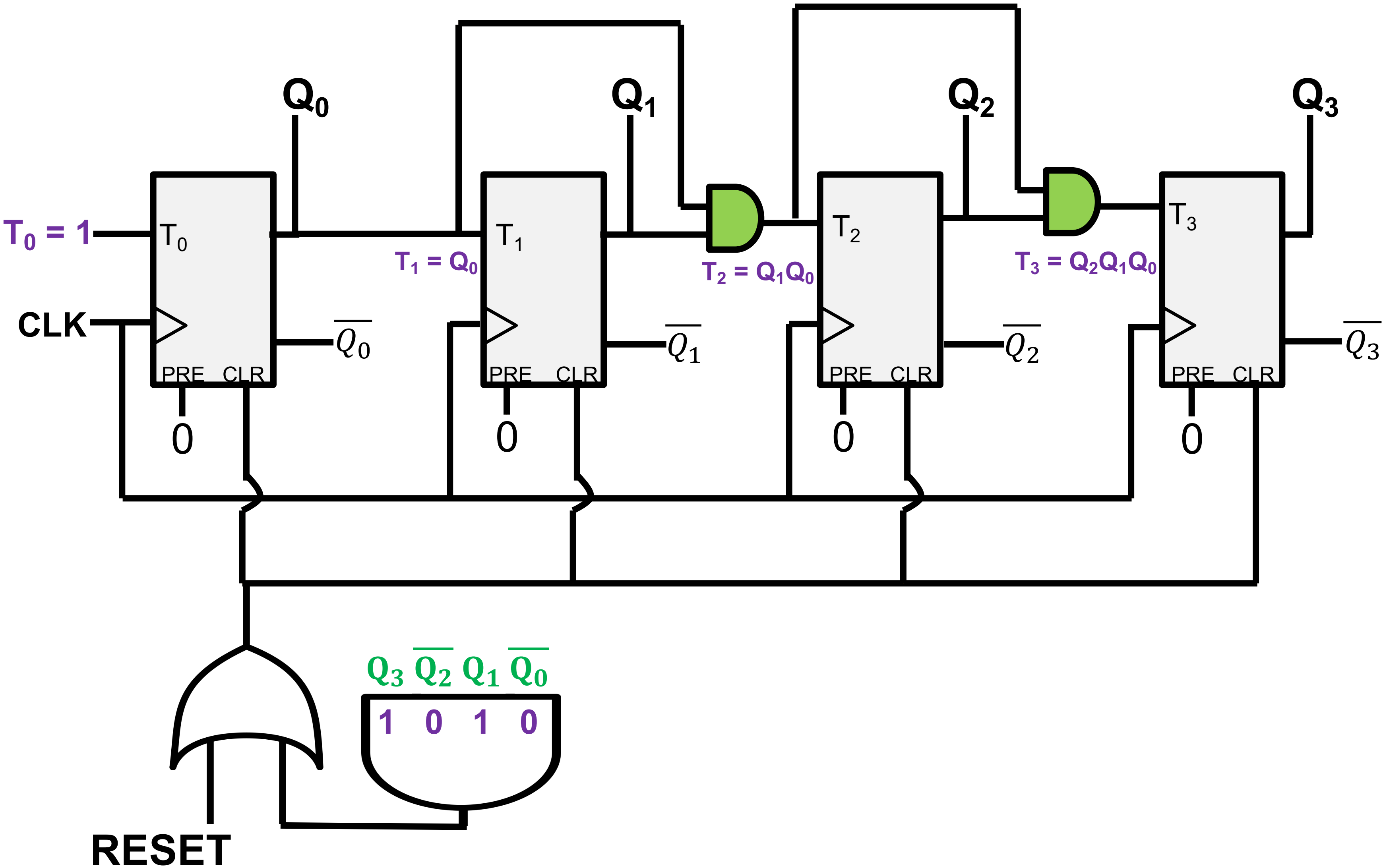
CONTADOR SÍNCRONO CRESC./DECRESC.

C = 0 → CRESCENTE

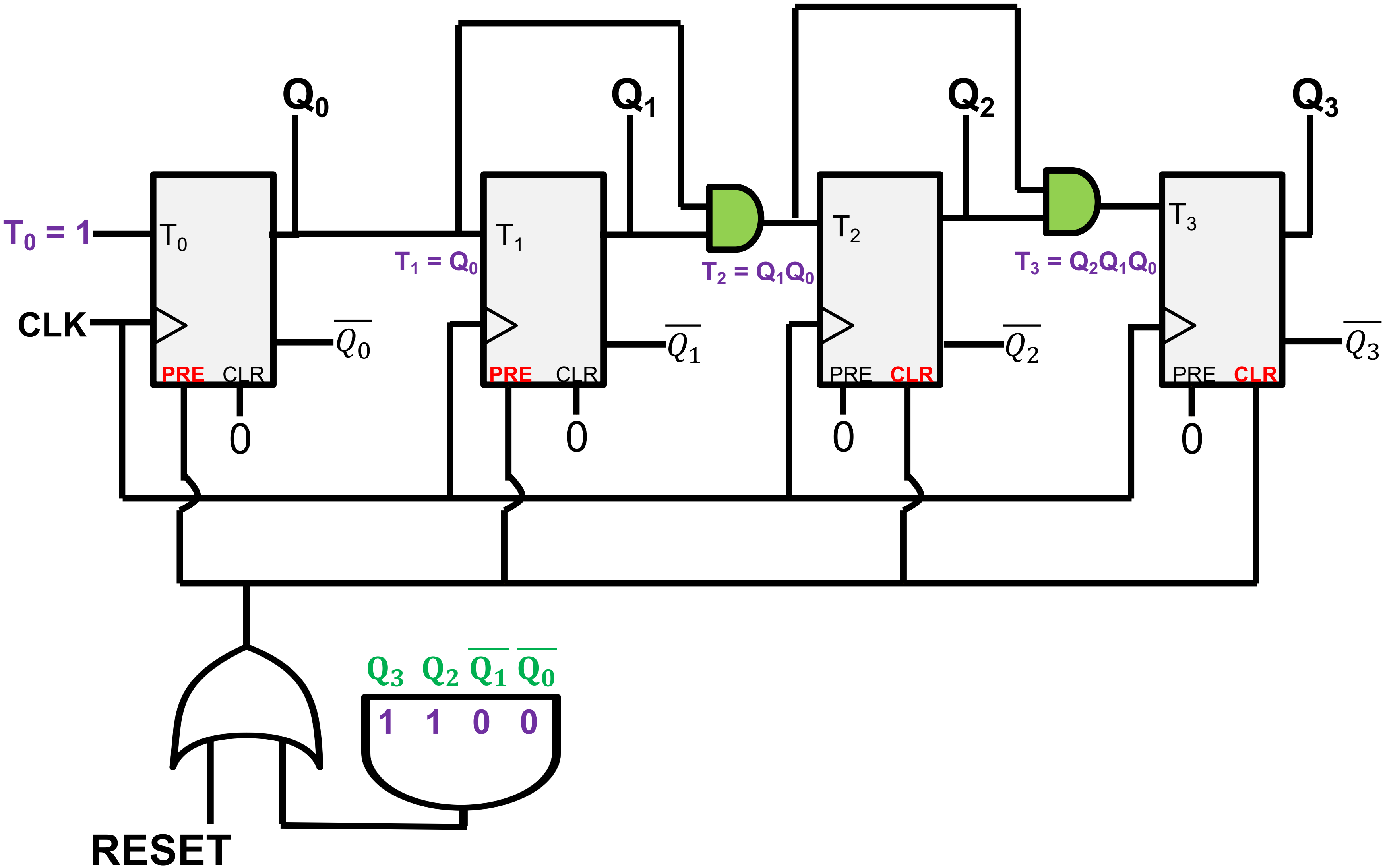
C = 1 → DECRESCENTE



CONTADOR DE DÉCADA SÍNCRONO



CONTADOR DE 3 a 11 SÍNCRONO

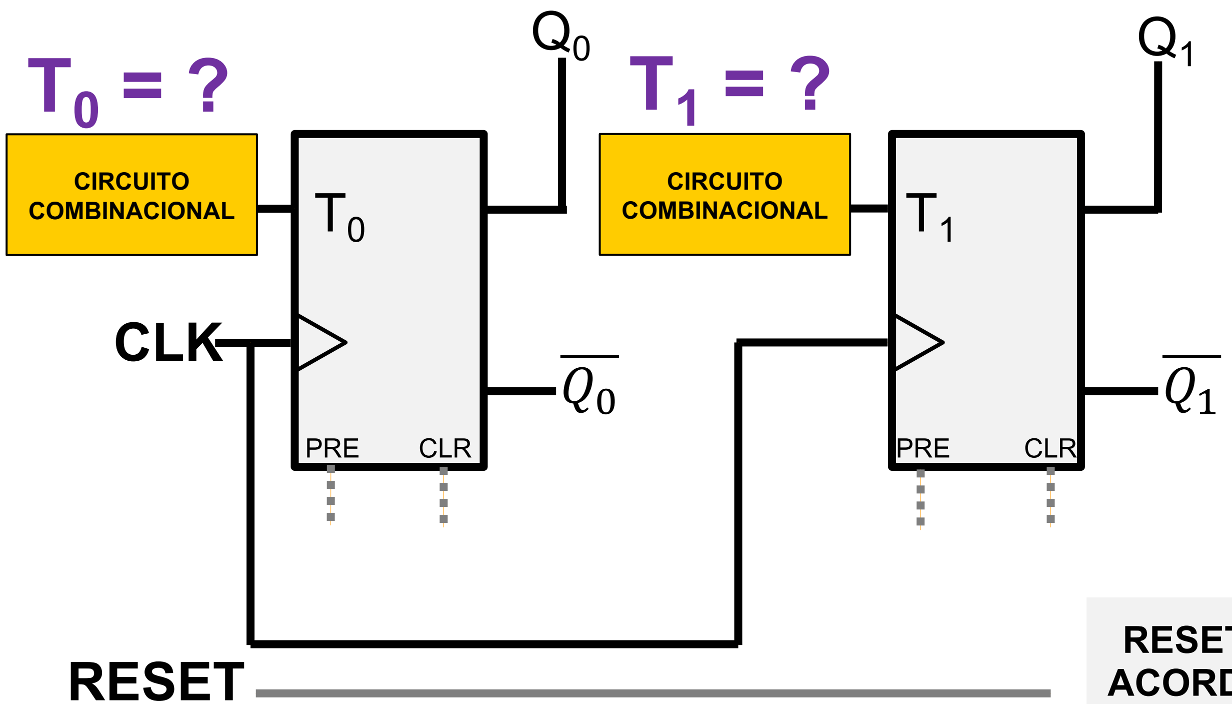


- **Como fazer o seguinte contador?**

Pulso de Clock	Q_1	Q_0	Valor decimal
Valor inicial	0	0	0
1º	1	0	2
2º	1	1	3
3º (reciclagem)	0	0	0

PROJETO DE CONTADORES SÍNCRONOS

- **O contador tem palavras de 2 bits → 2 flip-flops**
- **As saídas serão Q_1 e Q_0**
- **Precisamos definir os valores de entrada para cada FF (T_1 e T_0)**



RESET É DEFINIDO DE ACORDO COM O VALOR INICIAL DE CONTAGEM

PROJETO DE CONTADORES SÍNCRONOS

- **Podemos representar um contador através de uma máquina de estados:**

Pulso de Clock	Q_1	Q_0
Valor inicial	0	0
1º	1	0
2º	1	1
3º (reciclagem)	0	0

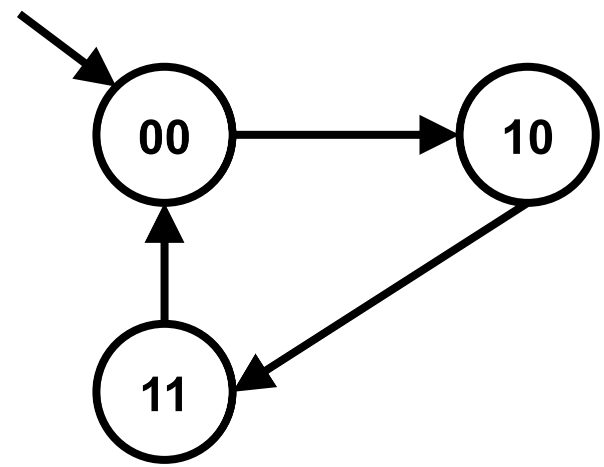


DIAGRAMA DE ESTADOS

PROJETO DE CONTADORES SÍNCRONOS

- **Círculos (vértices) representam um estado**
- **O valor contido no círculo representa(m) a(s) saída(s) do circuito**
- **A flecha (arco) em roxo aponta para o estado inicial**
- **Flechas (arcos) em verde representam transições de estados**

Pulso de Clock	Q_1	Q_0
Valor inicial	0	0
1º	1	0
2º	1	1
3º (reciclagem)	0	0

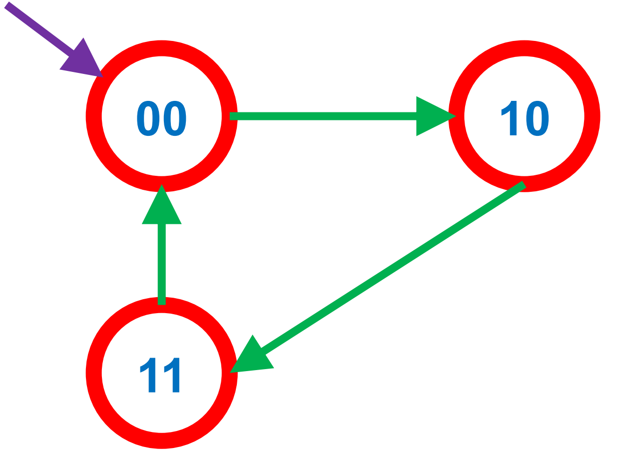
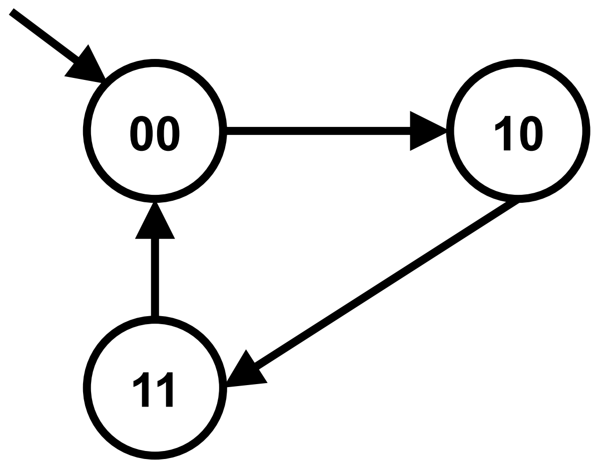


DIAGRAMA DE ESTADOS

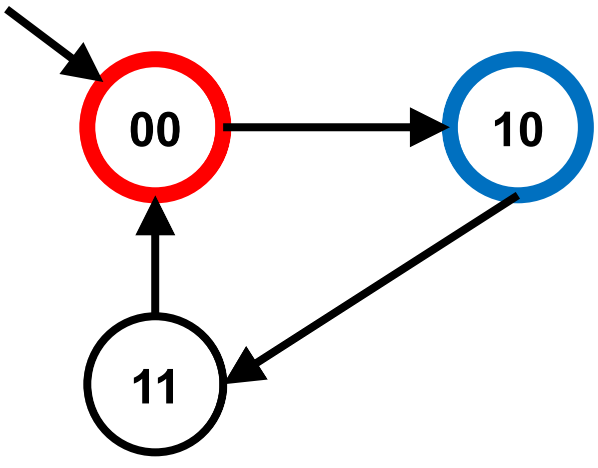
PROJETO DE CONTADORES SÍNCRONOS

- **1º PASSO : Construir o diagrama de estados**



PROJETO DE CONTADORES SÍNCRONOS

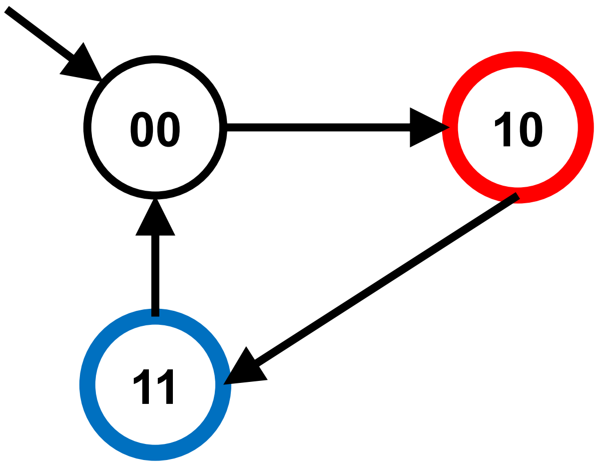
- **2º PASSO : Construir a tabela verdade baseada no diagrama de estados**



ESTADO ATUAL		PRÓXIMO ESTADO	
Q_1	Q_0	Q_1	Q_0
0	0	1	0

PROJETO DE CONTADORES SÍNCRONOS

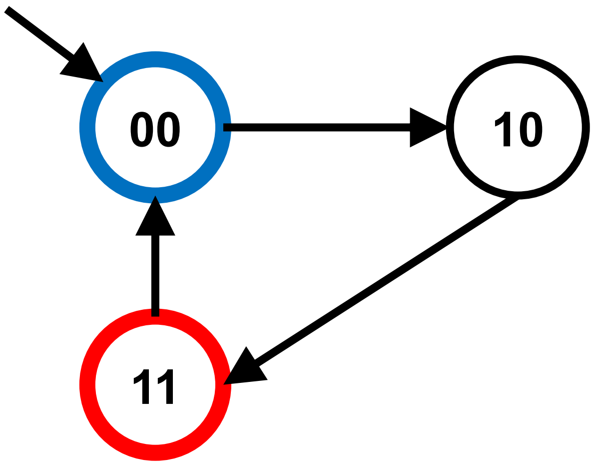
- **2º PASSO : Construir a tabela verdade baseada no diagrama de estados**



ESTADO ATUAL		PRÓXIMO ESTADO	
Q_1	Q_0	Q_1	Q_0
0	0	1	0
1	0	1	1

PROJETO DE CONTADORES SÍNCRONOS

- **2º PASSO : Construir a tabela verdade baseada no diagrama de estados**



ESTADO ATUAL		PRÓXIMO ESTADO	
Q_1	Q_0	Q_1	Q_0
0	0	1	0
1	0	1	1
1	1	0	0

PROJETO DE CONTADORES SÍNCRONOS

- **2º PASSO : Definir as Equações de Entrada na tabela verdade de acordo com o FF utilizado**

ESTADO ATUAL		PRÓXIMO ESTADO		EQUAÇÕES DE ENTRADA	
Q_1	Q_0	Q_1	Q_0	T_1	T_0
0	0	1	0		
1	0	1	1		
1	1	0	0		

PROJETO DE CONTADORES SÍNCRONOS

- **2º PASSO : Definir as Equações de Entrada na tabela verdade de acordo com o FF utilizado**

ESTADO ATUAL		PRÓXIMO ESTADO		EQUAÇÕES DE ENTRADA	
Q_1	Q_0	Q_1	Q_0	T_1	T_0
0	0	1	0		
1	0	1	1		
1	1	0	0		

O valor de Q_1 deve mudar de 0 para 1 no próx. estado, ou seja, inverter seu valor.

Qual o valor de T para que isso aconteça?

PROJETO DE CONTADORES SÍNCRONOS

- **2º PASSO : Definir as Equações de Entrada na tabela verdade de acordo com o FF utilizado**

ESTADO ATUAL		PRÓXIMO ESTADO		EQUAÇÕES DE ENTRADA	
Q_1	Q_0	Q_1	Q_0	T_1	T_0
0	0	1	0	**1**	
1	0	1	1		
1	1	0	0		

CLK	T	Q_{t+1}
≠↑	X	Q_t
↑	0	Q_t
↑	1	$\overline{Q_t}$

PROJETO DE CONTADORES SÍNCRONOS

- **2º PASSO : Definir as Equações de Entrada na tabela verdade de acordo com o FF utilizado**

ESTADO ATUAL		PRÓXIMO ESTADO		EQUAÇÕES DE ENTRADA	
Q_1	Q_0	Q_1	Q_0	T_1	T_0
0	0	1	0	**1**	
1	0	1	1		
1	1	0	0		

O valor de Q_0 deve se manter em 0 no próximo estado.

Qual o valor de T para que isso aconteça?

PROJETO DE CONTADORES SÍNCRONOS

- **2º PASSO : Definir as Equações de Entrada na tabela verdade de acordo com o FF utilizado**

ESTADO ATUAL		PRÓXIMO ESTADO		EQUAÇÕES DE ENTRADA	
Q_1	Q_0	Q_1	Q_0	T_1	T_0
0	0	1	0	**1**	**0**
1	0	1	1		
1	1	0	0		

CLK	T	Q_{t+1}
≠↑	X	Q_t
↑	0	Q_t
↑	1	$\overline{Q_t}$

PROJETO DE CONTADORES SÍNCRONOS

- **2º PASSO : Definir as Equações de Entrada na tabela verdade de acordo com o FF utilizado**

ESTADO ATUAL		PRÓXIMO ESTADO		EQUAÇÕES DE ENTRADA	
Q_1	Q_0	Q_1	Q_0	T_1	T_0
0	0	1	0	**1**	**0**
1	0	1	1	**0**	**1**
1	1	0	0		

PROJETO DE CONTADORES SÍNCRONOS

- **2º PASSO : Definir as Equações de Entrada na tabela verdade de acordo com o FF utilizado**

ESTADO ATUAL		PRÓXIMO ESTADO		EQUAÇÕES DE ENTRADA	
Q_1	Q_0	Q_1	Q_0	T_1	T_0
0	0	1	0	**1**	**0**
1	0	1	1	**0**	**1**
1	1	0	0	**1**	**1**

PROJETO DE CONTADORES SÍNCRONOS

- **2º PASSO : Definir as Equações de Entrada na tabela verdade de acordo com o FF utilizado**

ESTADO ATUAL		PRÓXIMO ESTADO		EQUAÇÕES DE ENTRADA	
Q_1	Q_0	Q_1	Q_0	T_1	T_0
0	0	1	0	**1**	**0**
1	0	1	1	**0**	**1**
1	1	0	0	**1**	**1**

Equações de Entrada para o FF tipo T:

Se o valor do próximo estado for igual ao estado atual → 0

Se o valor do próximo estado for diferente ao estado atual → 1

PROJETO DE CONTADORES SÍNCRONOS

- **3º PASSO : Obter as Equações de Entrada T_1 e T_0 → minimizar se possível**

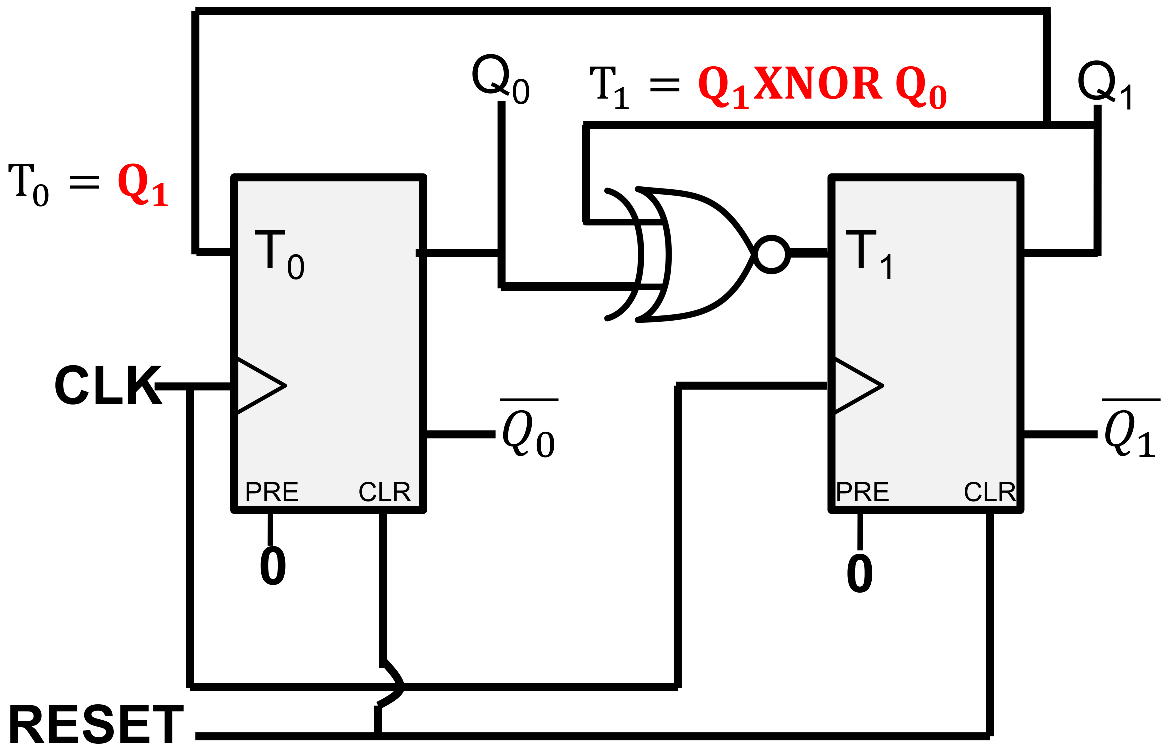
ESTADO ATUAL		EQUAÇÕES DE ENTRADA	
Q_1	Q_0	T_1	T_0
0	0	1	0
1	0	0	1
1	1	1	1

$$T_1 = \overline{Q_1}\,\overline{Q_0} + Q_1Q_0 = \mathbf{Q_1 XNOR\ Q_0}$$

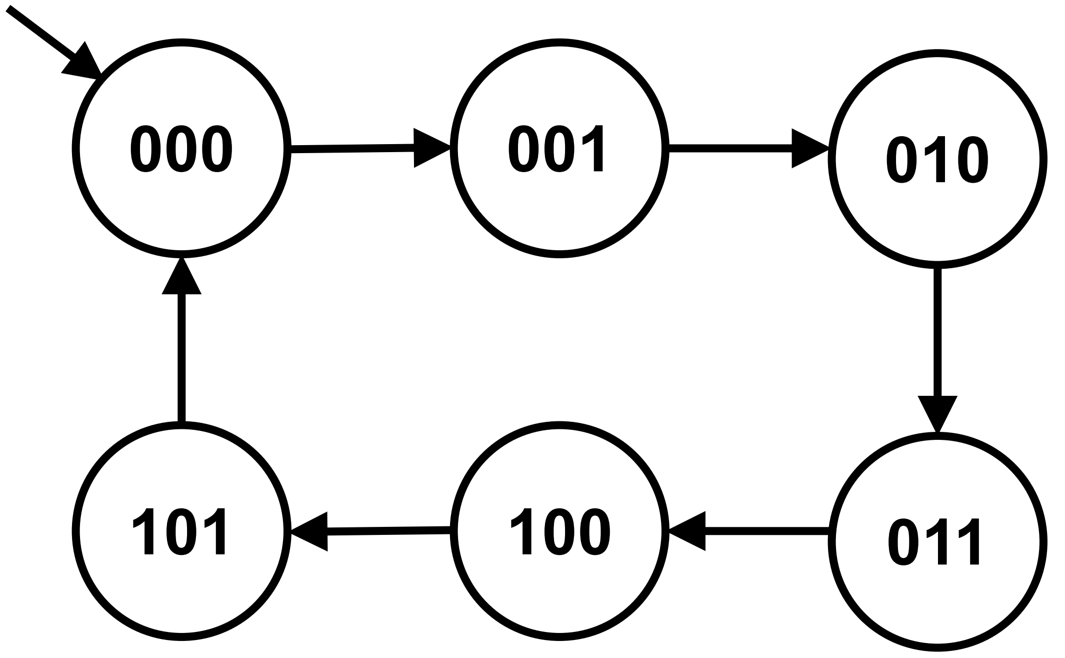
$$T_0 = Q_1\overline{Q_0} + Q_1Q_0 = Q_1(\overline{Q_0} + Q_0) = \mathbf{Q_1}$$

PROJETO DE CONTADORES SÍNCRONOS

- **4º PASSO :** **Construir o circuito**



EXEMPLO: CONTADOR SÍNCRONO DE 0 A 5



MÁQUINA DE ESTADOS

EXEMPLO: CONTADOR SÍNCRONO DE 0 A 5

ESTADO ATUAL			PRÓXIMO ESTADO			EQUAÇÕES DE ENTRADA		
Q_2	Q_1	Q_0	Q_2	Q_1	Q_0	T_2	T_1	T_0
0	0	0	0	0	1	**0**	**0**	**1**
0	0	1	0	1	0	**0**	**1**	**1**
0	1	0	0	1	1	**0**	**0**	**1**
0	1	1	1	0	0	**1**	**1**	**1**
1	0	0	1	0	1	**0**	**0**	**1**
1	0	1	0	0	0	**1**	**0**	**1**
1	1	0	X	X	X	**X**	**X**	**X**
1	1	1	X	X	X	**X**	**X**	**X**

EXEMPLO: CONTADOR SÍNCRONO DE 0 A 5

ESTADO ATUAL			PRÓXIMO ESTADO			EQUAÇÕES DE ENTRADA		
Q_2	Q_1	Q_0	Q_2	Q_1	Q_0	T_2	T_1	T_0
0	0	0	0	0	1	**0**	**0**	**1**
0	0	1	0	1	0	**0**	**1**	**1**
0	1	0	0	1	1	**0**	**0**	**1**
0	1	1	1	0	0	**1**	**1**	**1**
1	0	0	1	0	1	**0**	**0**	**1**
1	0	1	0	0	0	**1**	**0**	**1**
1	1	0	X	X	X	**X**	**X**	**X**
1	1	1	X	X	X	**X**	**X**	**X**

LINHAS OPCIONAIS:
ESTADOS NÃO UTILIZADOS PELO CONTADOR

DEFINIÇÃO DE ESTADOS NÃO UTILIZADOS NA TABELA PODE:

→ **AJUDAR A REDUZIR A ÁREA DO CIRCUITO (MAIOR SIMPLIFICAÇÃO DAS EQ. BOOLEANAS)**

→ **TORNAR O CIRCUITO MAIS TOLERANTE A POSSÍVEIS FALHAS (DEFINE O QUE O CIRCUITO FARÁ CASO ENTRE EM UM ESTADO NÃO UTILIZADO)**

EXEMPLO: CONTADOR SÍNCRONO DE 0 A 5

ESTADO ATUAL			EQUAÇÕES DE ENTRADA		
Q_2	Q_1	Q_0	T_2	T_1	T_0
0	0	0	**0**	**0**	**1**
0	0	1	**0**	**1**	**1**
0	1	0	**0**	**0**	**1**
0	1	1	**1**	**1**	**1**
1	0	0	**0**	**0**	**1**
1	0	1	**1**	**0**	**1**
1	1	0	**X**	**X**	**X**
1	1	1	**X**	**X**	**X**

Q_2 \ Q_1Q_0	00	01	11	10
0	0 (0)	0 (1)	1 (3)	0 (2)
1	0 (4)	1 (5)	X (7)	X (6)

$$T_2 = Q_1 Q_0 + Q_2 Q_0$$

$$T_2 = Q_0 (Q_1 + Q_2)$$

COMO FOI DEFINIDO DON`T CARES (X) PARA OS ESTADOS NÃO UTILIZADOS, CONSEGUIU-SE UMA EQ. BOOLEANA MAIS SIMPLIFICADA

EXEMPLO: CONTADOR SÍNCRONO DE 0 A 5

ESTADO ATUAL			EQUAÇÕES DE ENTRADA		
Q_2	Q_1	Q_0	T_2	T_1	T_0
0	0	0	**0**	**0**	**1**
0	0	1	**0**	**1**	**1**
0	1	0	**0**	**0**	**1**
0	1	1	**1**	**1**	**1**
1	0	0	**0**	**0**	**1**
1	0	1	**1**	**0**	**1**
1	1	0	**X**	**X**	**X**
1	1	1	**X**	**X**	**X**

Q_2 \ Q_1Q_0	00	01	11	10
0	0 $_{0}$	1 $_{1}$	1 $_{3}$	0 $_{2}$
1	0 $_{4}$	0 $_{5}$	X $_{7}$	X $_{6}$

$$T_1 = \overline{Q_2}Q_0$$

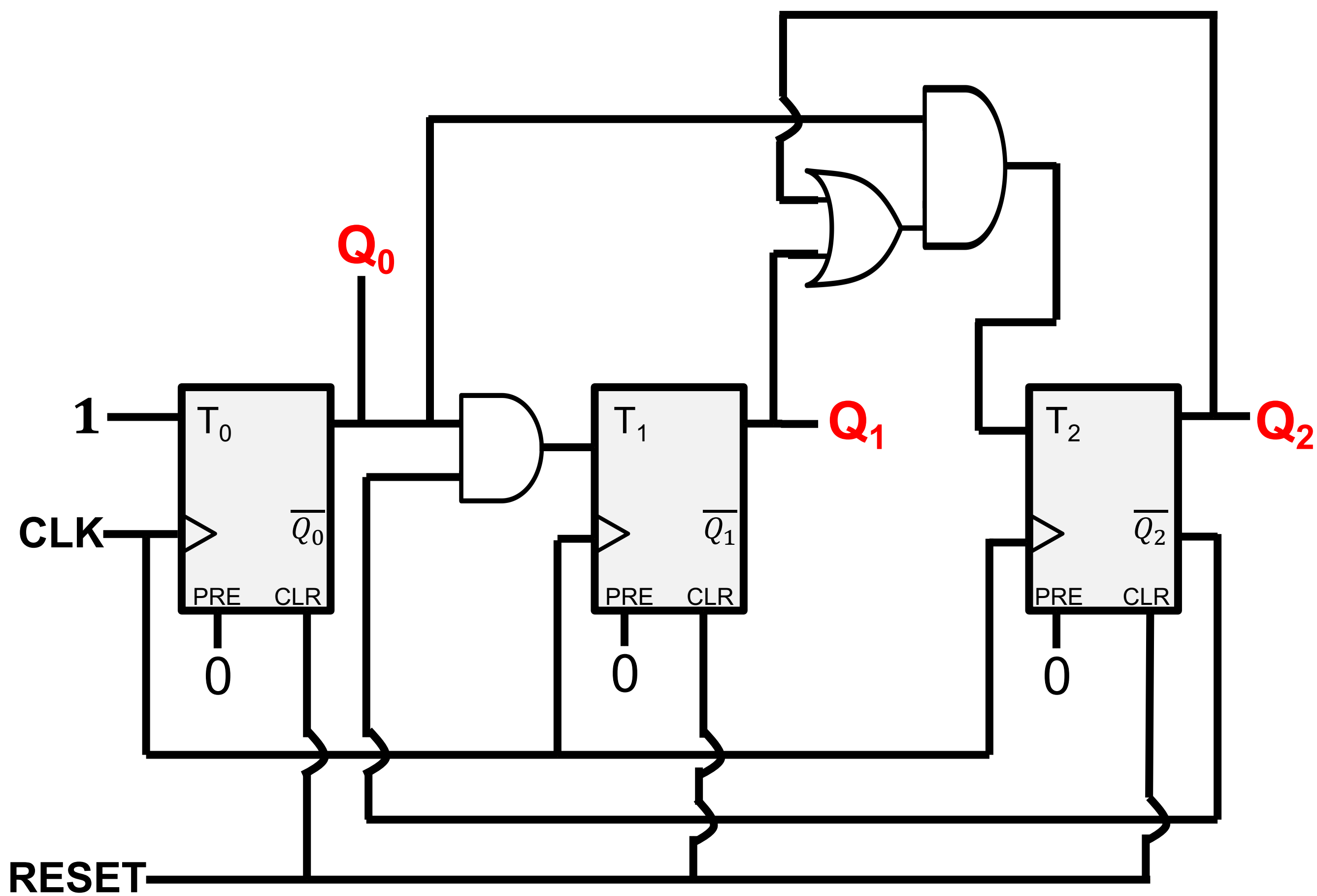
EXEMPLO: CONTADOR SÍNCRONO DE 0 A 5

ESTADO ATUAL			EQUAÇÕES DE ENTRADA		
Q_2	Q_1	Q_0	T_2	T_1	T_0
0	0	0	**0**	**0**	**1**
0	0	1	**0**	**1**	**1**
0	1	0	**0**	**0**	**1**
0	1	1	**1**	**1**	**1**
1	0	0	**0**	**0**	**1**
1	0	1	**1**	**0**	**1**
1	1	0	**X**	**X**	**X**
1	1	1	**X**	**X**	**X**

Q_2 \ Q_1Q_0	00	01	11	10
0	1 $_0$	1 $_1$	1 $_3$	1 $_2$
1	1 $_4$	1 $_5$	X $_7$	X $_6$

$$T_0 = 1$$

EXEMPLO: CONTADOR SÍNCRONO DE 0 A 5

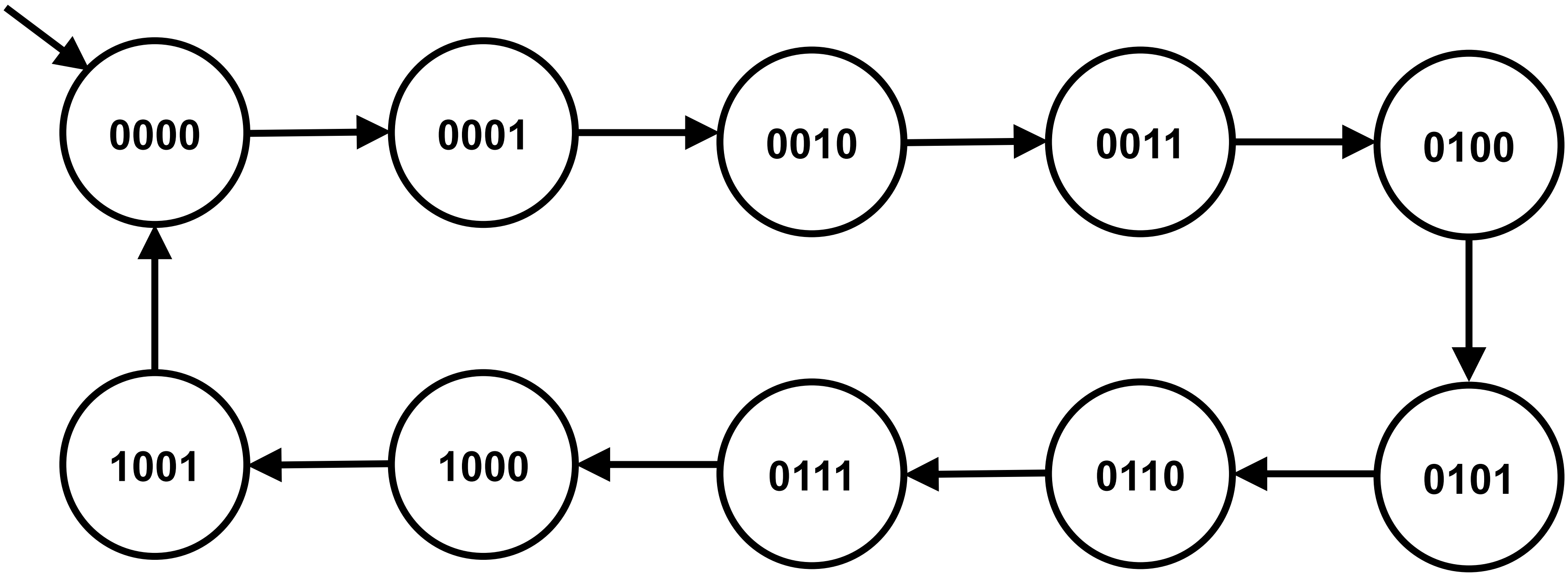


$T_0 = \mathbf{1}$

$T_1 = \overline{\mathbf{Q_2}}\mathbf{Q_0}$

$T_2 = \mathbf{Q_0}\,(\mathbf{Q_1} + \mathbf{Q_2})$

EXEMPLO: CONTADOR SÍNCRONO DE 0 A 9



MÁQUINA DE ESTADOS

EXEMPLO: CONTADOR SÍNCRONO DE 0 A 9

ESTADO ATUAL				PRÓXIMO ESTADO				EQUAÇÕES DE ENTRADA			
Q_3	Q_2	Q_1	Q_0	Q_3	Q_2	Q_1	Q_0	T_3	T_2	T_1	T_0
0	0	0	0	0	0	0	1	**0**	**0**	**0**	**1**
0	0	0	1	0	0	1	0	**0**	**0**	**1**	**1**
0	0	1	0	0	0	1	1	**0**	**0**	**0**	**1**
0	0	1	1	0	1	0	0	**0**	**1**	**1**	**1**
0	1	0	0	0	1	0	1	**0**	**0**	**0**	**1**
0	1	0	1	0	1	1	0	**0**	**0**	**1**	**1**
0	1	1	0	0	1	1	1	**0**	**0**	**0**	**1**
0	1	1	1	1	0	0	0	**1**	**1**	**1**	**1**
1	0	0	0	1	0	0	1	**0**	**0**	**0**	**1**
1	0	0	1	0	0	0	0	**1**	**0**	**0**	**1**
1	0	1	0	X	X	X	X	X	X	X	X
1	0	1	1	X	X	X	X	X	X	X	X
1	1	0	0	X	X	X	X	X	X	X	X
1	1	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X
1	1	1	0	X	X	X	X	X	X	X	X
1	1	1	1	X	X	X	X	X	X	X	X

EXEMPLO: CONTADOR SÍNCRONO DE 0 A 9

ESTADO ATUAL				PRÓXIMO ESTADO				EQUAÇÕES DE ENTRADA			
Q_3	Q_2	Q_1	Q_0	Q_3	Q_2	Q_1	Q_0	T_3	T_2	T_1	T_0
0	0	0	0	0	0	0	1	**0**	**0**	**0**	**1**
0	0	0	1	0	0	1	0	**0**	**0**	**1**	**1**
0	0	1	0	0	0	1	1	**0**	**0**	**0**	**1**
0	0	1	1	0	1	0	0	**0**	**1**	**1**	**1**
0	1	0	0	0	1	0	1	**0**	**0**	**0**	**1**
0	1	0	1	0	1	1	0	**0**	**0**	**1**	**1**
0	1	1	0	0	1	1	1	**0**	**0**	**0**	**1**
0	1	1	1	1	0	0	0	**1**	**1**	**1**	**1**
1	0	0	0	1	0	0	1	**0**	**0**	**0**	**1**
1	0	0	1	0	0	0	0	**1**	**0**	**0**	**1**
1	0	1	0	X	X	X	X	X	X	X	X
1	0	1	1	X	X	X	X	X	X	X	X
1	1	0	0	X	X	X	X	X	X	X	X
1	1	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X
1	1	1	0	X	X	X	X	X	X	X	X
1	1	1	1	X	X	X	X	X	X	X	X

LINHAS OPCIONAIS:
ESTADOS NÃO UTILIZADOS PELO CONTADOR

EXEMPLO: CONTADOR SÍNCRONO DE 0 A 9

ESTADO ATUAL				EQUAÇÕES DE ENTRADA			
Q_3	Q_2	Q_1	Q_0	T_3	T_2	T_1	T_0
0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	1	0	0	1	1
0	0	1	0	0	0	0	1
0	0	1	1	0	1	1	1
0	1	0	0	0	0	0	1
0	1	0	1	0	0	1	1
0	1	1	0	0	0	0	1
0	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	1	1	0	0	1
1	0	1	0	X	X	X	X
1	0	1	1	X	X	X	X
1	1	0	0	X	X	X	X
1	1	0	1	X	X	X	X
1	1	1	0	X	X	X	X
1	1	1	1	X	X	X	X

Q_3Q_2 \ Q_1Q_0	00	01	11	10
00	0 0	0 1	0 3	0 2
01	0 4	0 5	1 7	0 6
11	X 12	X 13	X 15	X 14
10	0 8	1 9	X 11	X 10

$$T_3 = Q_2 Q_1 Q_0 + Q_3 Q_0$$

EXEMPLO: CONTADOR SÍNCRONO DE 0 A 9

ESTADO ATUAL				EQUAÇÕES DE ENTRADA			
Q_3	Q_2	Q_1	Q_0	T_3	T_2	T_1	T_0
0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	1	0	0	1	1
0	0	1	0	0	0	0	1
0	0	1	1	0	1	1	1
0	1	0	0	0	0	0	1
0	1	0	1	0	0	1	1
0	1	1	0	0	0	0	1
0	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	1	1	0	0	1
1	0	1	0	X	X	X	X
1	0	1	1	X	X	X	X
1	1	0	0	X	X	X	X
1	1	0	1	X	X	X	X
1	1	1	0	X	X	X	X
1	1	1	1	X	X	X	X

Q_3Q_2 \ Q_1Q_0	00	01	11	10
00	0 0	0 1	1 3	0 2
01	0 4	0 5	1 7	0 6
11	X 12	X 13	X 15	X 14
10	0 8	0 9	X 11	X 10

$$T_2 = Q_1 Q_0$$

EXEMPLO: CONTADOR SÍNCRONO DE 0 A 9

ESTADO ATUAL				EQUAÇÕES DE ENTRADA			
Q_3	Q_2	Q_1	Q_0	T_3	T_2	T_1	T_0
0	0	0	0	**0**	**0**	**0**	**1**
0	0	0	1	**0**	**0**	**1**	**1**
0	0	1	0	**0**	**0**	**0**	**1**
0	0	1	1	**0**	**1**	**1**	**1**
0	1	0	0	**0**	**0**	**0**	**1**
0	1	0	1	**0**	**0**	**1**	**1**
0	1	1	0	**0**	**0**	**0**	**1**
0	1	1	1	**1**	**1**	**1**	**1**
1	0	0	0	**0**	**0**	**0**	**1**
1	0	0	1	**1**	**0**	**0**	**1**
1	0	1	0	X	X	X	X
1	0	1	1	X	X	X	X
1	1	0	0	X	X	X	X
1	1	0	1	X	X	X	X
1	1	1	0	X	X	X	X
1	1	1	1	X	X	X	X

Q_3Q_2 \ Q_1Q_0	00	01	11	10
00	0 0	1 1	1 3	0 2
01	0 4	1 5	1 7	0 6
11	X 12	X 13	X 15	X 14
10	0 8	0 9	X 11	X 10

$$T_1 = \overline{Q_3}Q_0$$

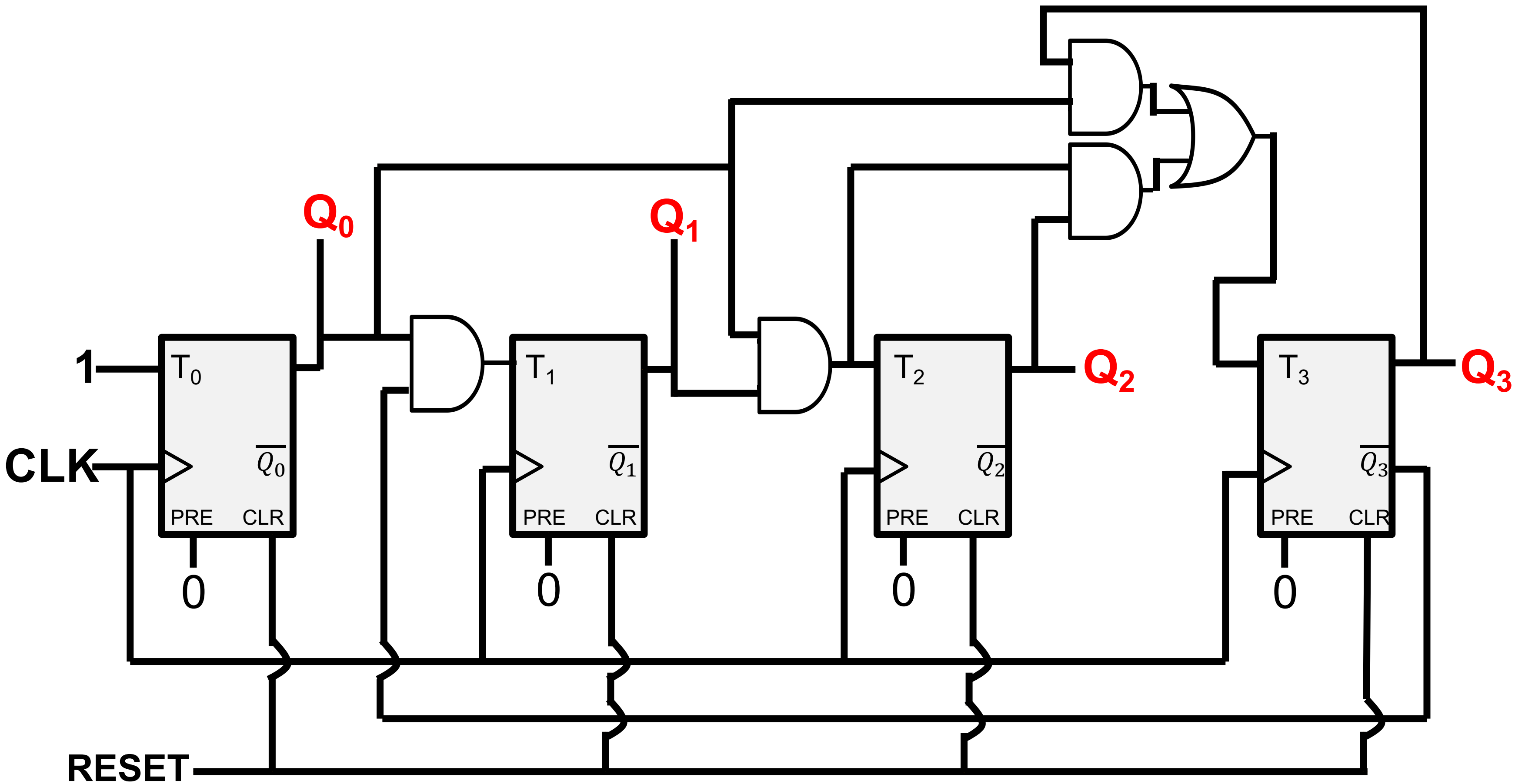
EXEMPLO: CONTADOR SÍNCRONO DE 0 A 9

ESTADO ATUAL				EQUAÇÕES DE ENTRADA			
Q_3	Q_2	Q_1	Q_0	T_3	T_2	T_1	T_0
0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	1	0	0	1	1
0	0	1	0	0	0	0	1
0	0	1	1	0	1	1	1
0	1	0	0	0	0	0	1
0	1	0	1	0	0	1	1
0	1	1	0	0	0	0	1
0	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	1	1	0	0	1
1	0	1	0	X	X	X	X
1	0	1	1	X	X	X	X
1	1	0	0	X	X	X	X
1	1	0	1	X	X	X	X
1	1	1	0	X	X	X	X
1	1	1	1	X	X	X	X

Q_3Q_2 \ Q_1Q_0	00	01	11	10
00	1 (0)	1 (1)	1 (3)	1 (2)
01	1 (4)	1 (5)	1 (7)	1 (6)
11	X (12)	X (13)	X (15)	X (14)
10	1 (8)	1 (9)	X (11)	X (10)

$$T_0 = 1$$

EXEMPLO: CONTADOR SÍNCRONO DE 0 A 9

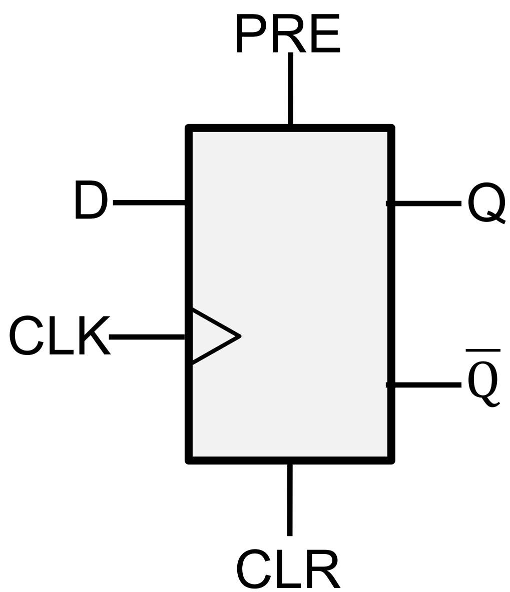


$T_0 = \mathbf{1}$ $T_1 = \overline{\mathbf{Q_3}}\mathbf{Q_0}$ $T_2 = \mathbf{Q_1 Q_0}$ $T_3 = \mathbf{Q_2 Q_1 Q_0 + Q_3 Q_0}$

CONTADORES SÍNCRONOS COM FF TIPO D

PRE	CLR	Q_{t+1}
0	0	FUNCIONAMENTO NORMAL
0	1	**0**
1	0	**1**
1	1	NÃO PERMITIDO

CLK	D	Q_{t+1}
$\neq\uparrow$	X	Q_t
$\uparrow$	0	**0**
$\uparrow$	1	**1**

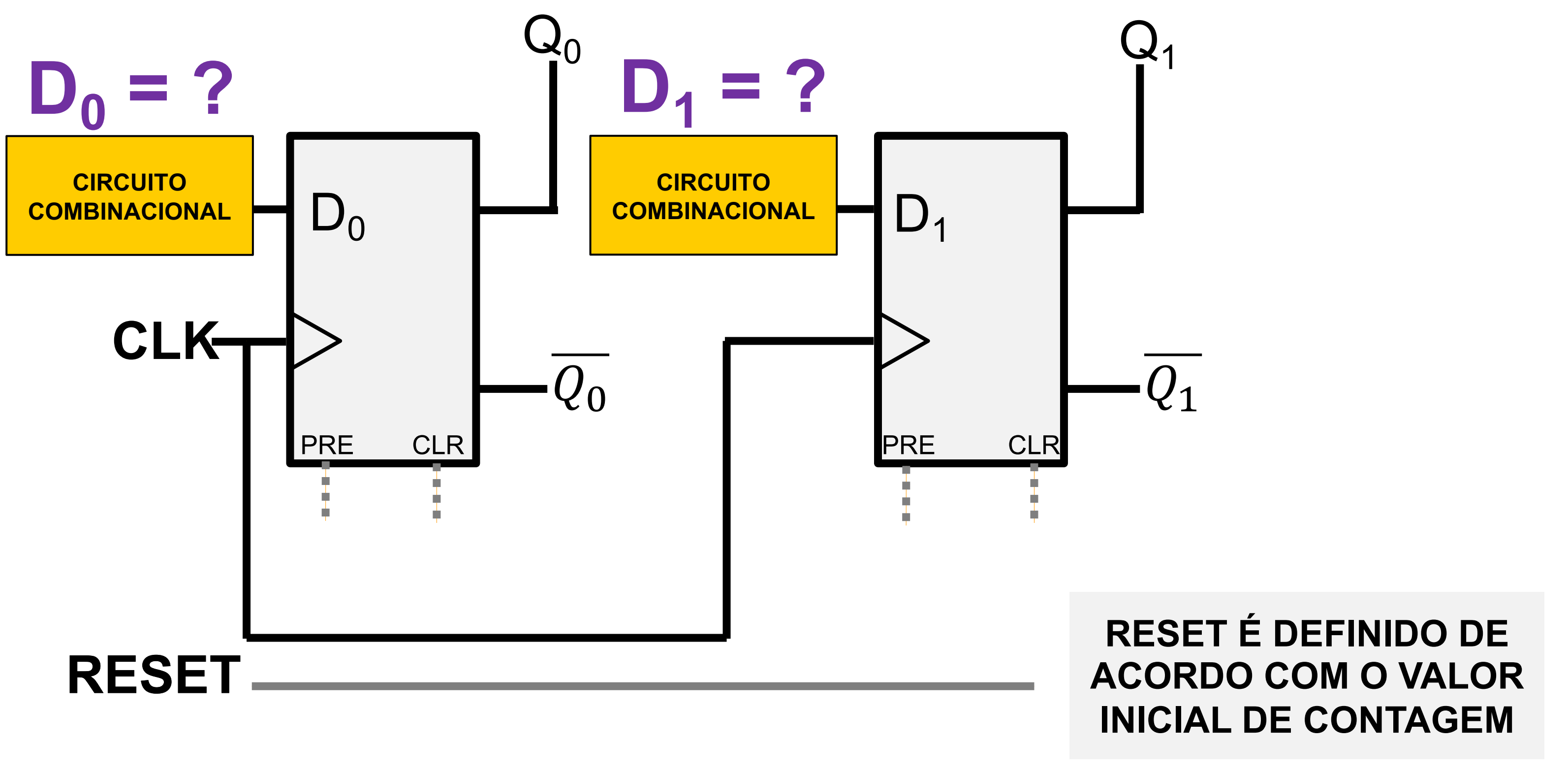


☹ **GERA EQUAÇÕES DE ENTRADA MAIS COMPLEXAS QUE O FF T!**

😁 **PROJETO MAIS SIMPLES QUE O FF T!**

CONTADORES SÍNCRONOS COM FF TIPO D

- **O contador tem palavras de 2 bits → 2 flip-flops**
- **As saídas serão Q_1 e Q_0**
- **Precisamos definir os valores de entrada para cada FF (D_1 e D_0)**



LEMBRANDO:

- **Equações de entrada para o FF tipo T**

$$T_0 = 1$$

$$T_1 = Q_0$$

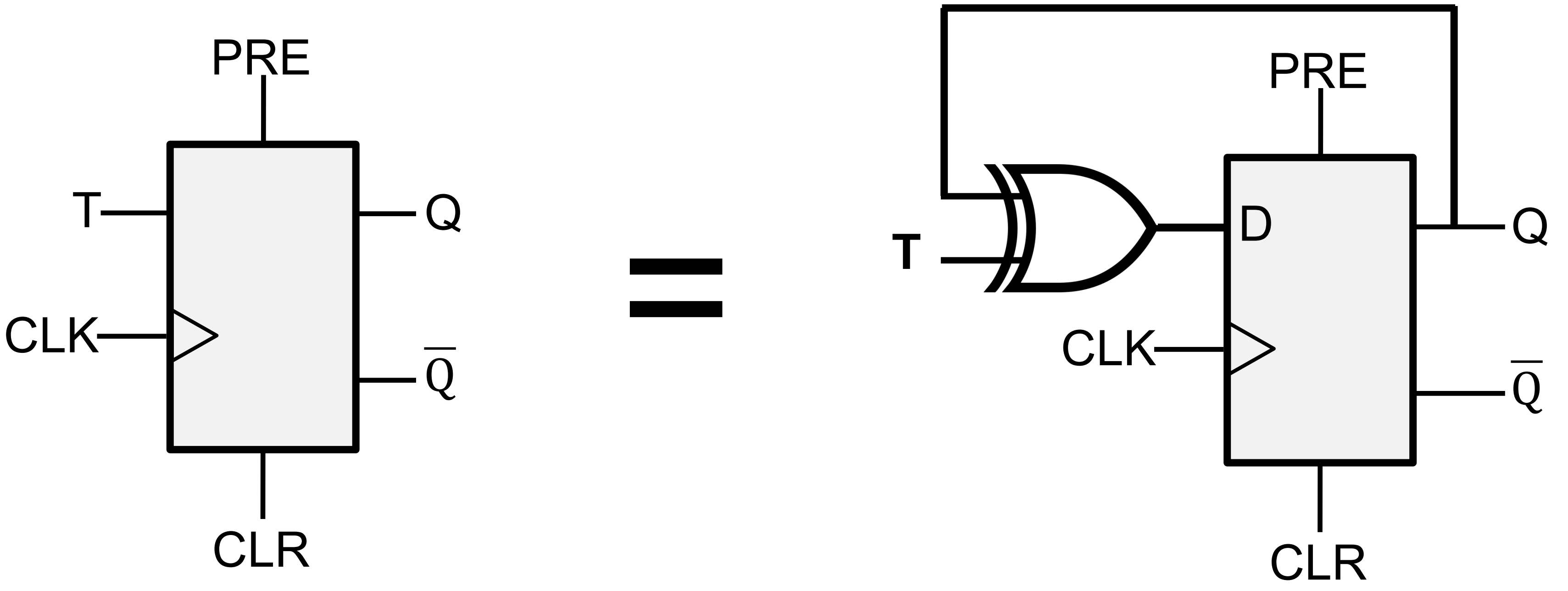
$$T_2 = Q_0 \bullet Q_1$$

$$T_3 = Q_0 \bullet Q_1 \bullet Q_2$$

$$\vdots$$

$$T_n = Q_0 \bullet Q_1 \bullet \ldots \bullet Q_{n-1}$$

FF T IMPLEMENTADO A PARTIR DE FF D



$$D = T \oplus Q$$

EQUAÇÕES DE ENTRADA PARA O FF TIPO D

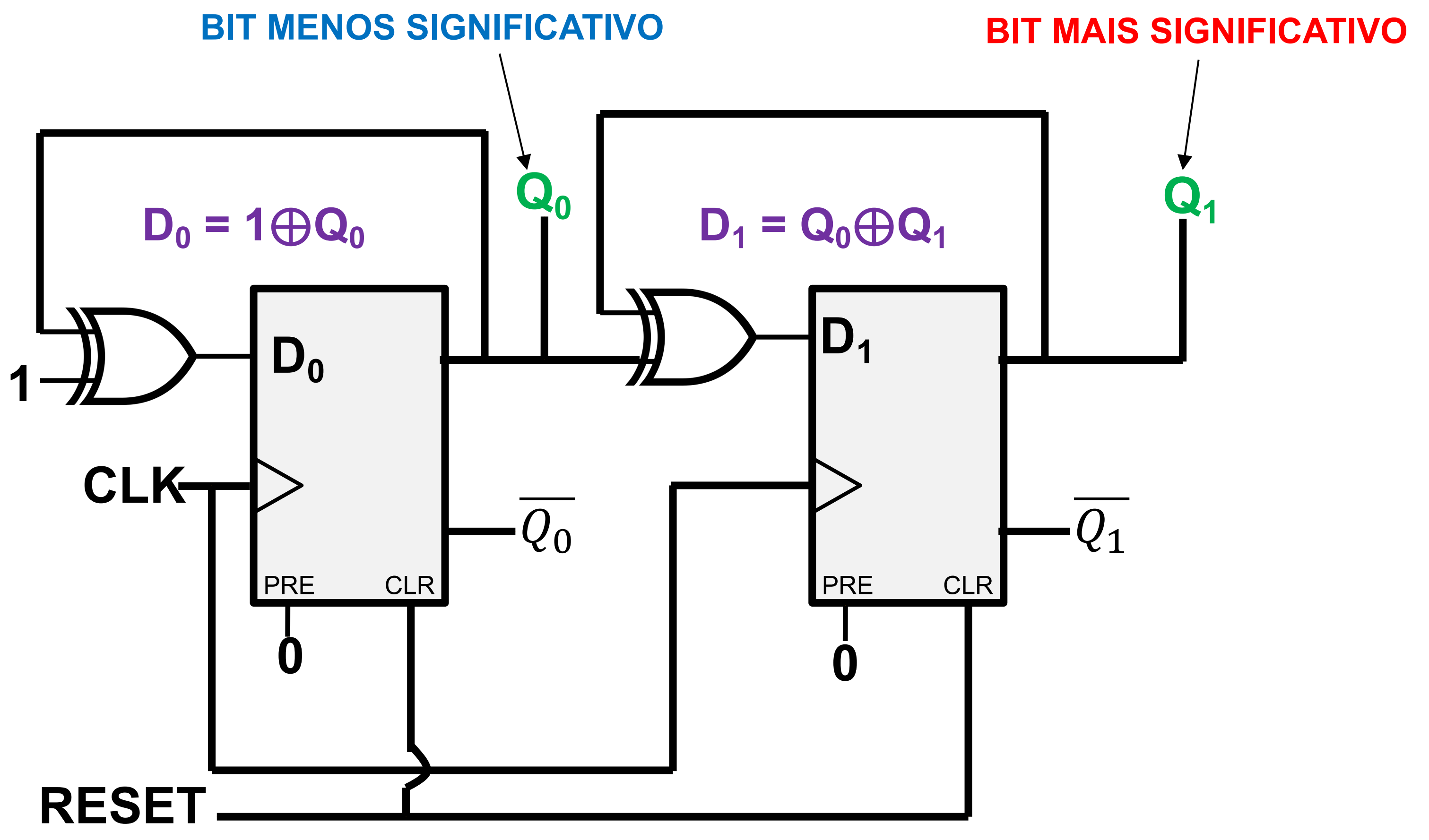
$$D_n = T_n \oplus Q_n$$

$$T_0 = 1$$
$$T_1 = Q_0$$
$$T_2 = Q_0 \bullet Q_1$$
$$T_3 = Q_0 \bullet Q_1 \bullet Q_2$$
$$\vdots$$
$$T_n = Q_0 \bullet Q_1 \bullet \ldots \bullet Q_{n-1}$$

$$D_0 = 1 \oplus Q_0$$
$$D_1 = Q_0 \oplus Q_1$$
$$D_2 = (Q_0 \bullet Q_1) \oplus Q_2$$
$$D_3 = (Q_0 \bullet Q_1 \bullet Q_2) \oplus Q_3$$
$$\vdots$$
$$D_n = (Q_0 \bullet Q_1 \bullet \ldots \bullet Q_{n-1}) \oplus Q_n$$

CONTADORES SÍNCRONOS COM FF TIPO D

- Exemplo : Contador de palavras de **2 bits**



PROJETO DE CONT. SÍNCRONOS COM FF D

- **Podemos representar um contador através de uma máquina de estados:**

Pulso de Clock	Q_1	Q_0
Valor inicial	0	0
1º	0	1
2º	1	1
3º (reciclagem)	0	0

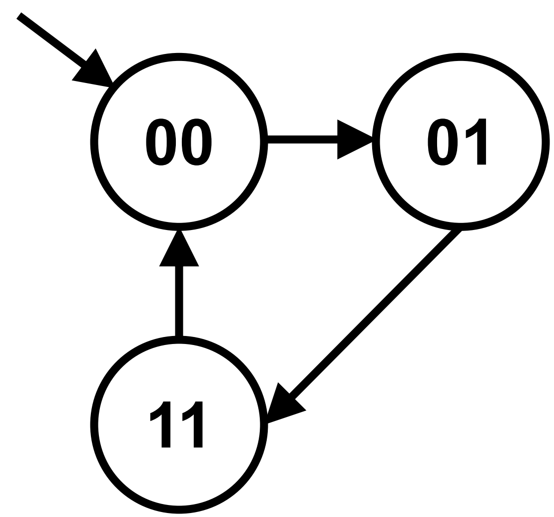
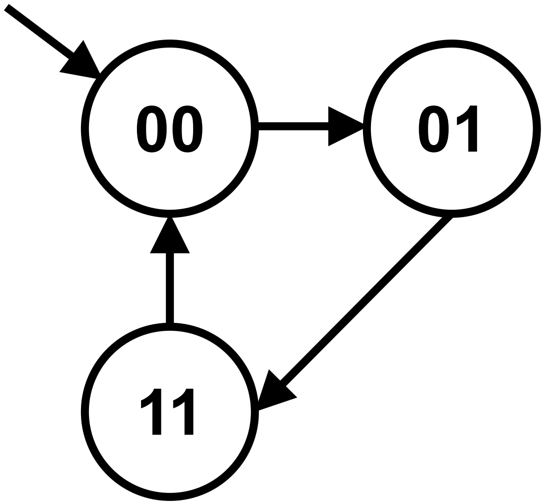


DIAGRAMA DE ESTADOS

PROJETO DE CONT. SÍNCRONOS COM FF D

- **Exemplo:**



ESTADO ATUAL		PRÓXIMO ESTADO	
Q_1	Q_0	Q_1	Q_0
0	0	0	1
0	1	1	1
1	1	0	0

PROJETO DE CONT. SÍNCRONOS COM FF D

- **Obtenção das equações de entrada:**

ESTADO ATUAL		PRÓXIMO ESTADO		EQUAÇÕES DE ENTRADA	
Q_1	Q_0	Q_1	Q_0	D_1	D_0
0	0	0	1		
0	1	1	1		
1	1	0	0		

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

Qual o valor de D para que isso aconteça?

PROJETO DE CONT. SÍNCRONOS COM FF D

- **Obtenção das equações de entrada:**

ESTADO ATUAL		PRÓXIMO ESTADO		EQUAÇÕES DE ENTRADA	
Q_1	Q_0	Q_1	Q_0	D_1	D_0
0	0	0	1	**0**	
0	1	1	1		
1	1	0	0		

CLK	D	Q_{t+1}
≠↑	X	Q_t
↑	0	**0**
↑	1	**1**

PROJETO DE CONT. SÍNCRONOS COM FF D

Obtenção das equações de entrada:

ESTADO ATUAL		PRÓXIMO ESTADO		EQUAÇÕES DE ENTRADA	
Q_1	Q_0	Q_1	Q_0	D_1	D_0
0	0	0	1	**0**	
0	1	1	1		
1	1	0	0		

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

Qual o valor de D para que isso aconteça?

PROJETO DE CONT. SÍNCRONOS COM FF D

- **Obtenção das equações de entrada:**

ESTADO ATUAL		PRÓXIMO ESTADO		EQUAÇÕES DE ENTRADA	
Q_1	Q_0	Q_1	Q_0	D_1	D_0
0	0	0	1	**0**	**1**
0	1	1	1		
1	1	0	0		

CLK	D	Q_{t+1}
≠↑	X	Q_t
↑	0	**0**
↑	1	**1**

PROJETO DE CONT. SÍNCRONOS COM FF D

- **Obtenção das equações de entrada:**

ESTADO ATUAL		PRÓXIMO ESTADO		EQUAÇÕES DE ENTRADA	
Q_1	Q_0	Q_1	Q_0	D_1	D_0
0	0	0	1	**0**	**1**
0	1	1	1	**1**	**1**
1	1	0	0	**0**	**0**

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

PROJETO DE CONT. SÍNCRONOS COM FF D

- **Obtenção das equações de entrada:**

ESTADO ATUAL		EQUAÇÕES DE ENTRADA	
Q_1	Q_0	D_1	D_0
0	0	**0**	**1**
0	1	**1**	**1**
1	1	**0**	**0**

$$D_1 = \overline{Q_1} Q_0$$

PROJETO DE CONT. SÍNCRONOS COM FF D

- **Obtenção das equações de entrada:**

ESTADO ATUAL		EQUAÇÕES DE ENTRADA	
Q_1	Q_0	D_1	D_0
0	0	0	1
0	1	1	1
1	1	0	0

$$D_0 = \overline{Q_1}\,\overline{Q_0} + \overline{Q_1}Q_0 = \overline{Q_1}(\overline{Q_0} + Q_0)$$

$$D_0 = \overline{Q_1}$$

PROJETO DE CONT. SÍNCRONOS COM FF D