

*UNIOESTE*  
*Ciência da Computação*

*Sistemas Digitais*  
*Circuitos Sequenciais*

*Prof. Jorge Habib El Khouiri*  
*Prof. Antonio Marcos Hachisuca*

2020/2021

## Referências Bibliográficas

1. *Digital Fundamentals*, Thomas L. Floyd; Editora: Pearson; Edição: 11; Ano: 2015;
2. *Sistemas Digitais Princípios e Aplicações*, Ronald J. Tocci; Editora: Pearson; Edição: 11; Ano: 2011;
3. *Computer Organization and Design*, David A. Patterson; Editora: Elsevier; Edição: 1; Ano: 2017
4. *Digital Design: Principles and Practices*, John F. Wakerly; Editora: Pearson; Edição: 5; Ano: 2018;
5. *Guide to Assembly Language Programming in Linux*, Sivarama P. Dandamudi; Editora: Springer; Edição: 1; Ano: 2005.
6. *Fundamentals of Logic Design*, Roth Jr, Charles H; Kinney, Larry L; Seventh Edition. Editora: Cengage Learning, Ano: 2013.

## Sumário

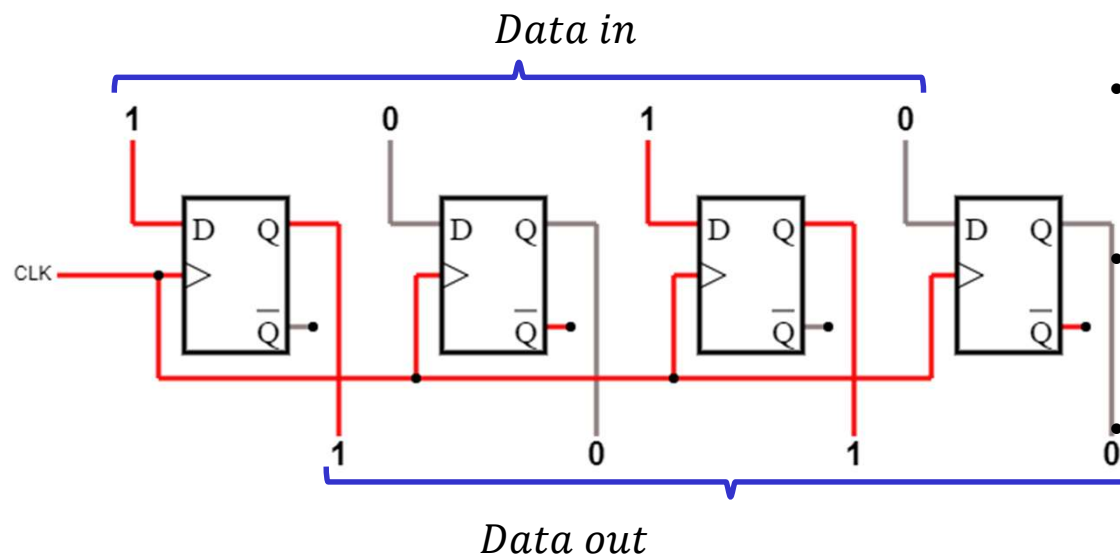
1. Revisão – Sistemas de Numeração
2. Revisão – Representação de Dados
3. Revisão – Operações com Binários
4. Álgebra Booleana
5. Simplificação de Expressões
6. Mapa de Karnaugh
7. Elementos Lógicos Universais
8. Circuitos Combinacionais
9. Circuitos Sequenciais

1. Latches
2. Flip-Flop
3. Registradores
4. Contadores
5. Máquina de Estados
6. Memória RAM

## Circuitos Sequenciais

### Registradores

- *Flip-flops* podem ser agrupados para formar um registrador;
- O seguinte circuito exemplifica um registrador de 4 *bits*:

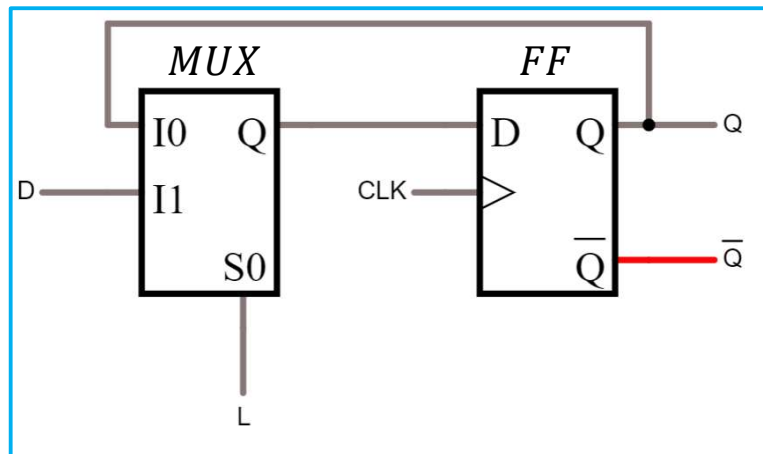


- Os dados de entrada serão transferidos para a saída na transição de borda do *clock*;
- Todos os *flip-flops* compartilham o mesmo sinal de *clock*;
- Esta configuração é denominada *parallel in – parallel out*.

## Circuitos Sequenciais

### Registradores

- É desejável que os dados de entrada sejam transferidos para a saída de forma controlada, além da sincronização com o *clock*;
- O seguinte circuito combina um *MUX-1* com o *flip-flop D*, agregando assim um sinal de *Load* ou *Enable* ao *flip-flop*:

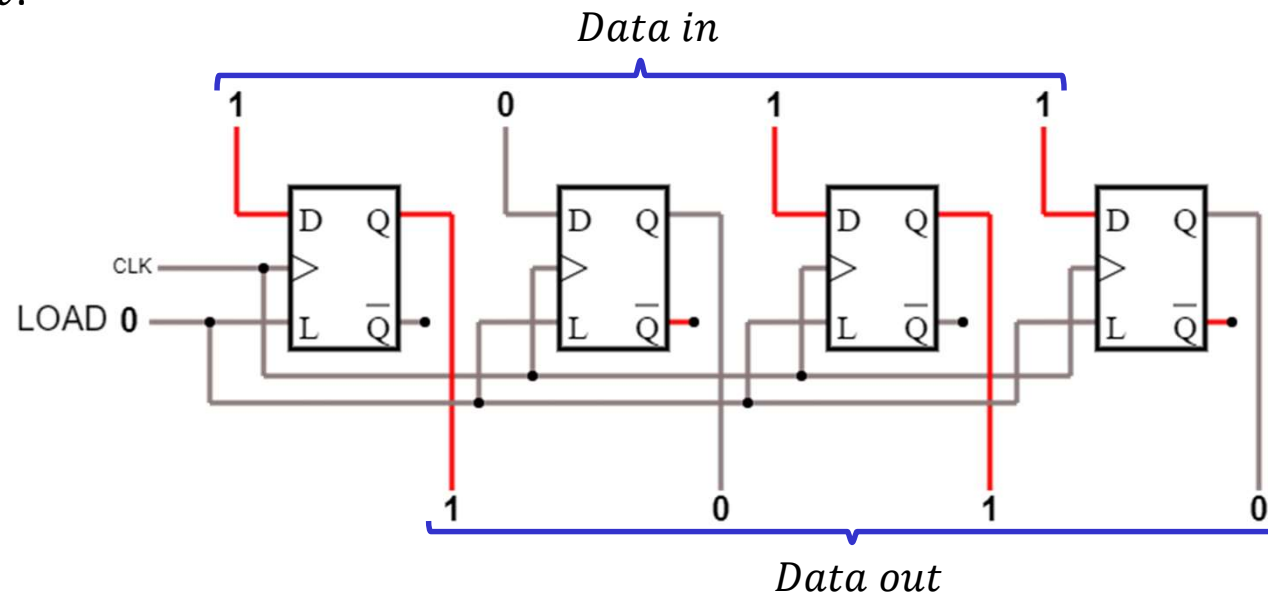


- Quando  $L == 0$ , a saída  $Q$  do *flip-flop* é mantida inalterada, em função da realimentação de  $Q$  em  $I_0$ ;
- Quando  $L == 1$ , a entrada  $D$  é transferida para a saída do *MUX*, e consequentemente para o *flip-flop*;
- Na próxima transição de borda do clock, o  $Q$  do *flip-flop* refletirá o valor de  $D$ ;

## Circuitos Sequenciais

### Registradores

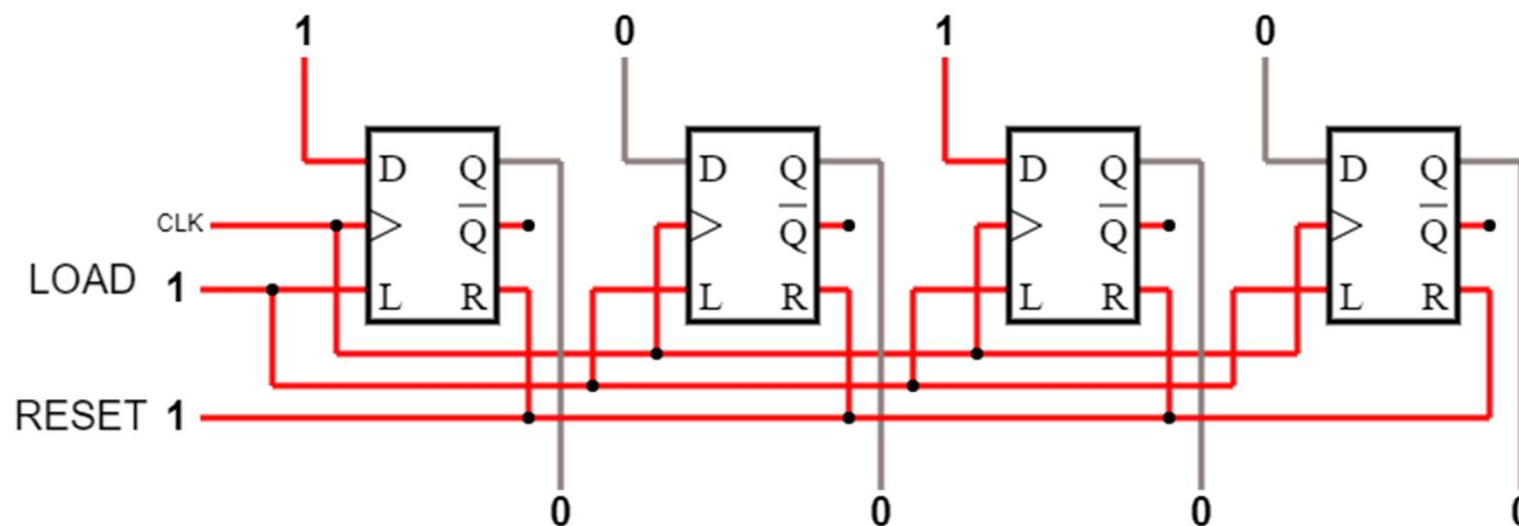
- O seguinte circuito exemplifica um registrador de 4 *bits* com controle de *Load* ou *Select*:



## Circuitos Sequenciais

### Registradores

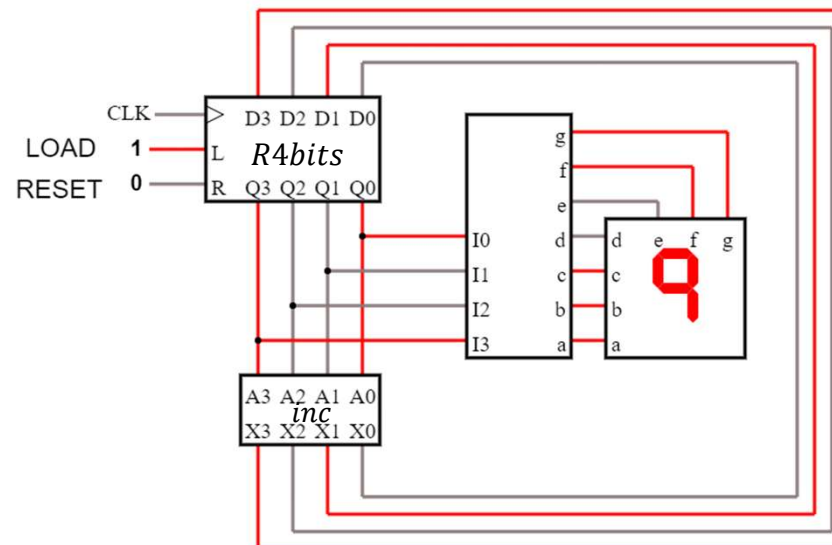
- Uma funcionalidade adicional interessante seria zerar a saída do registrador:



# Circuitos Sequenciais

## Registradores

- O problema do incrementador:





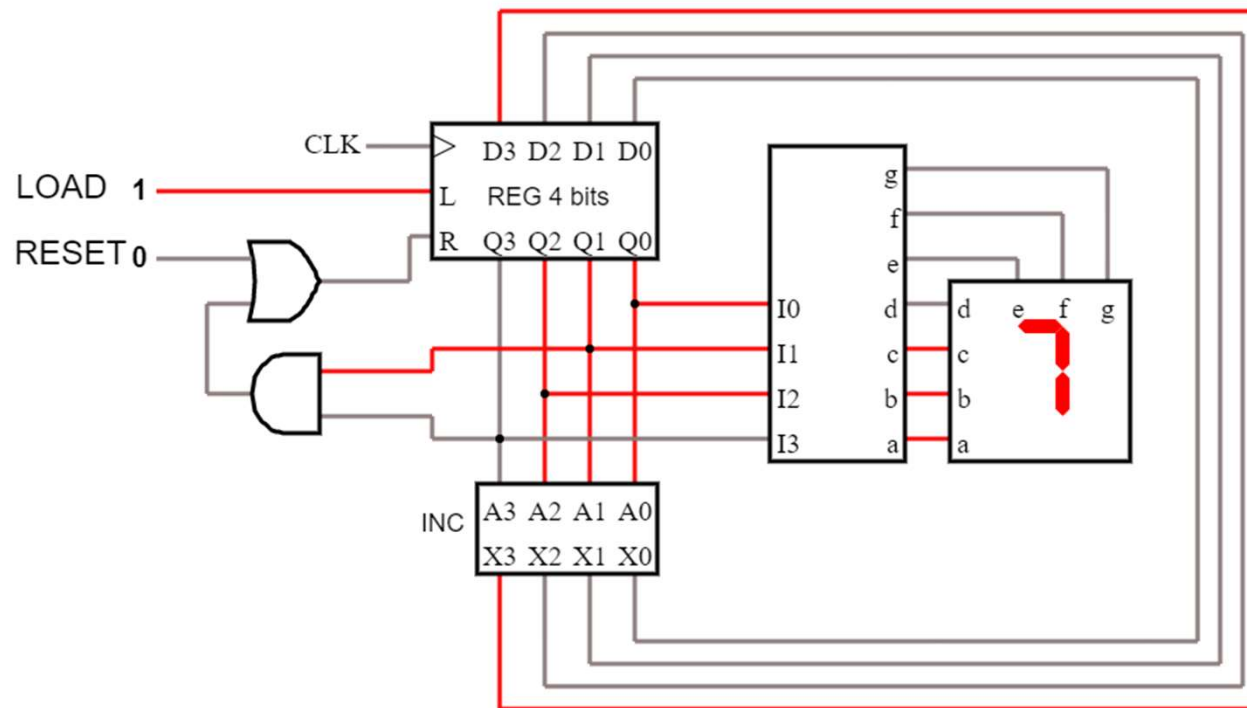
## Circuitos Sequenciais

### Registradores

- i. Introduzir pequenas modificações no diagrama do incrementador apresentado para que a contagem seja de 0 a 9:

# Circuitos Sequenciais

## Registradores

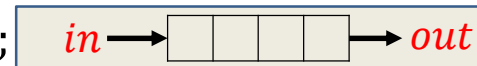


# Circuitos Sequenciais

## Registradores

- Uma diversidade de registradores específicos são utilizados em circuitos digitais;
- Normalmente são designados como registradores de deslocamento ou *shift registers*;
- Os principais são:

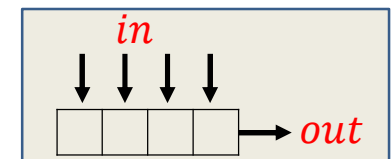
✓ *Serial in – shift right – serial out;*



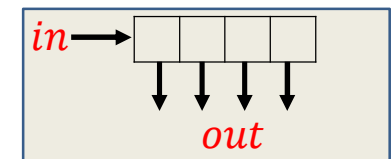
✓ *Serial in – shift left – serial out;*



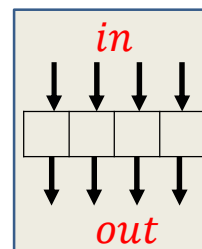
✓ *Parallel in – serial out;*



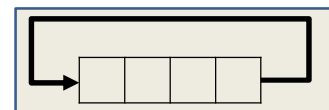
✓ *Serial in – parallel out;*



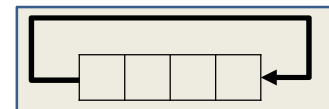
✓ *Parallel in – parallel out;*



✓ *Rotate right;*



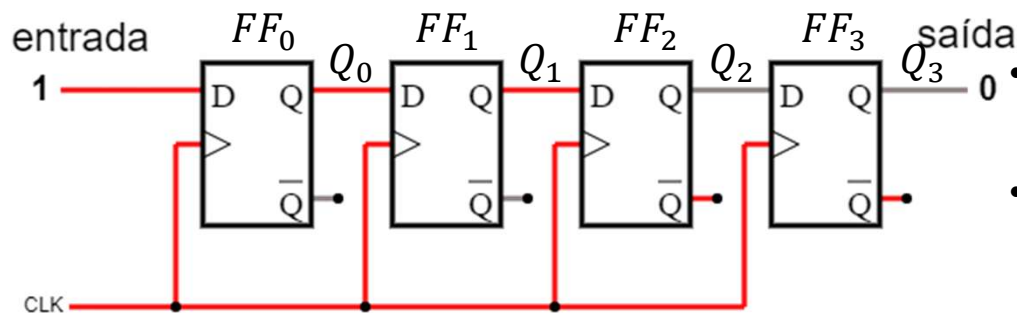
✓ *Rotate left;*



## Circuitos Sequenciais

### Registrador *serial in – serial out*

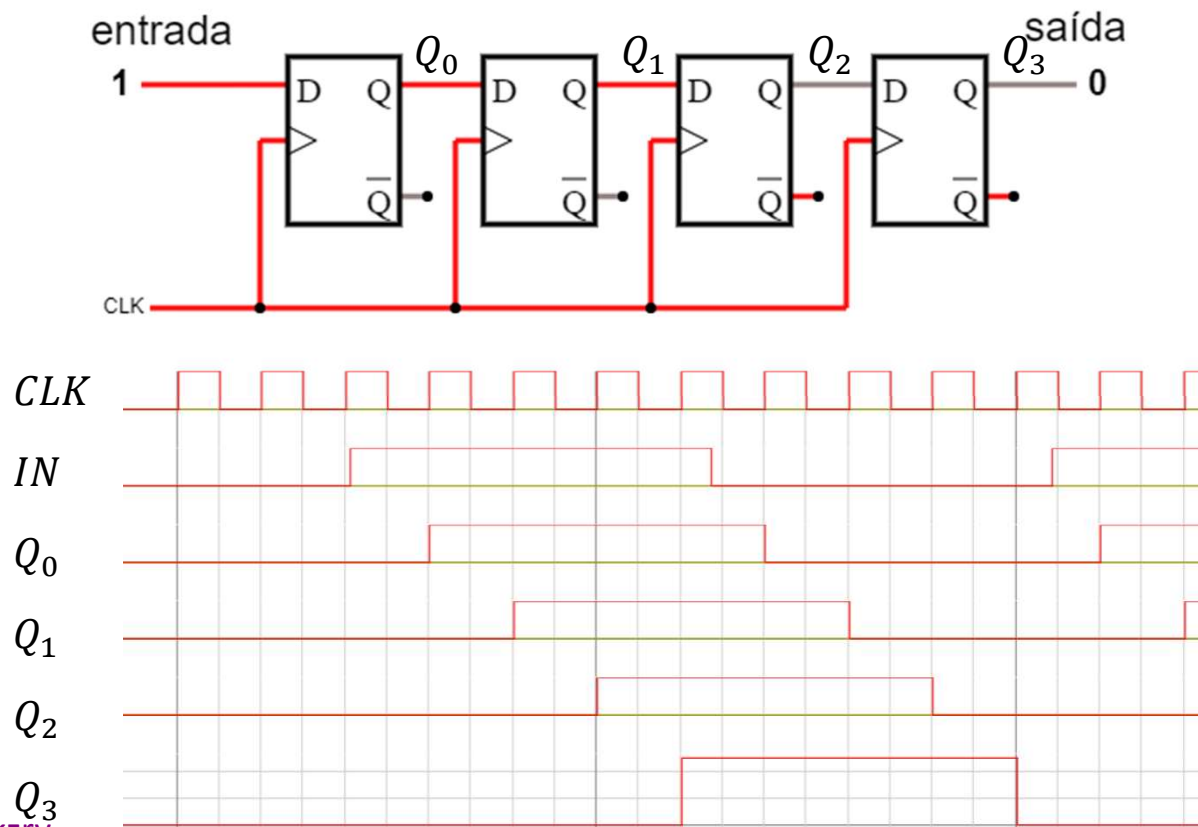
- Registrador do tipo *serial in – serial out* transfere bit a bit de uma sequência de bits da entrada para a saída:
- O seguinte circuito utiliza *flip-flops D* para realizar esta lógica:



- A entrada  $D$  do  $FF_0$  será transferida para a saída  $Q_0$  na borda de subida do *clock*;
- A informação  $Q_0$  será transferida para a saída  $Q_1$  na próxima borda;
- A informação  $Q_1$  será transferida para a saída  $Q_2$  na próxima borda; e assim sucessivamente;
- O último bit transferido fica retido em  $Q_3$ ;
- Uma onda de deslocamentos ocorre a medida que um novo bit é introduzido em  $Q$ .

## Circuitos Sequenciais

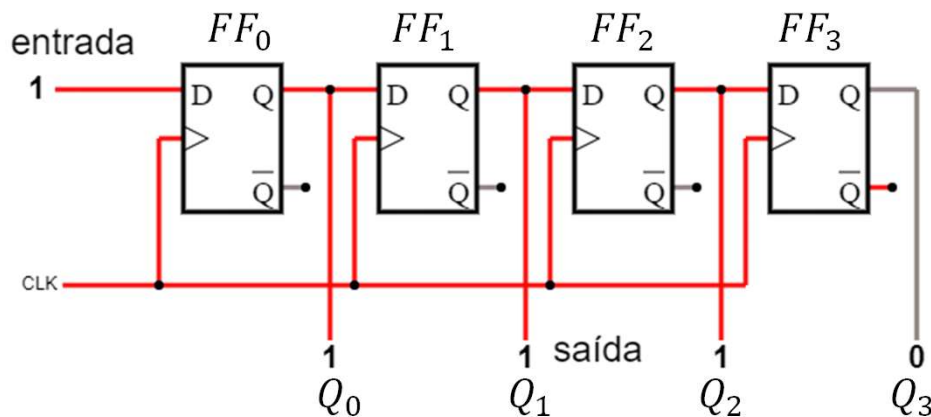
### Registrador *serial in – serial out*



## Circuitos Sequenciais

### Registrador *serial in – parallel out*

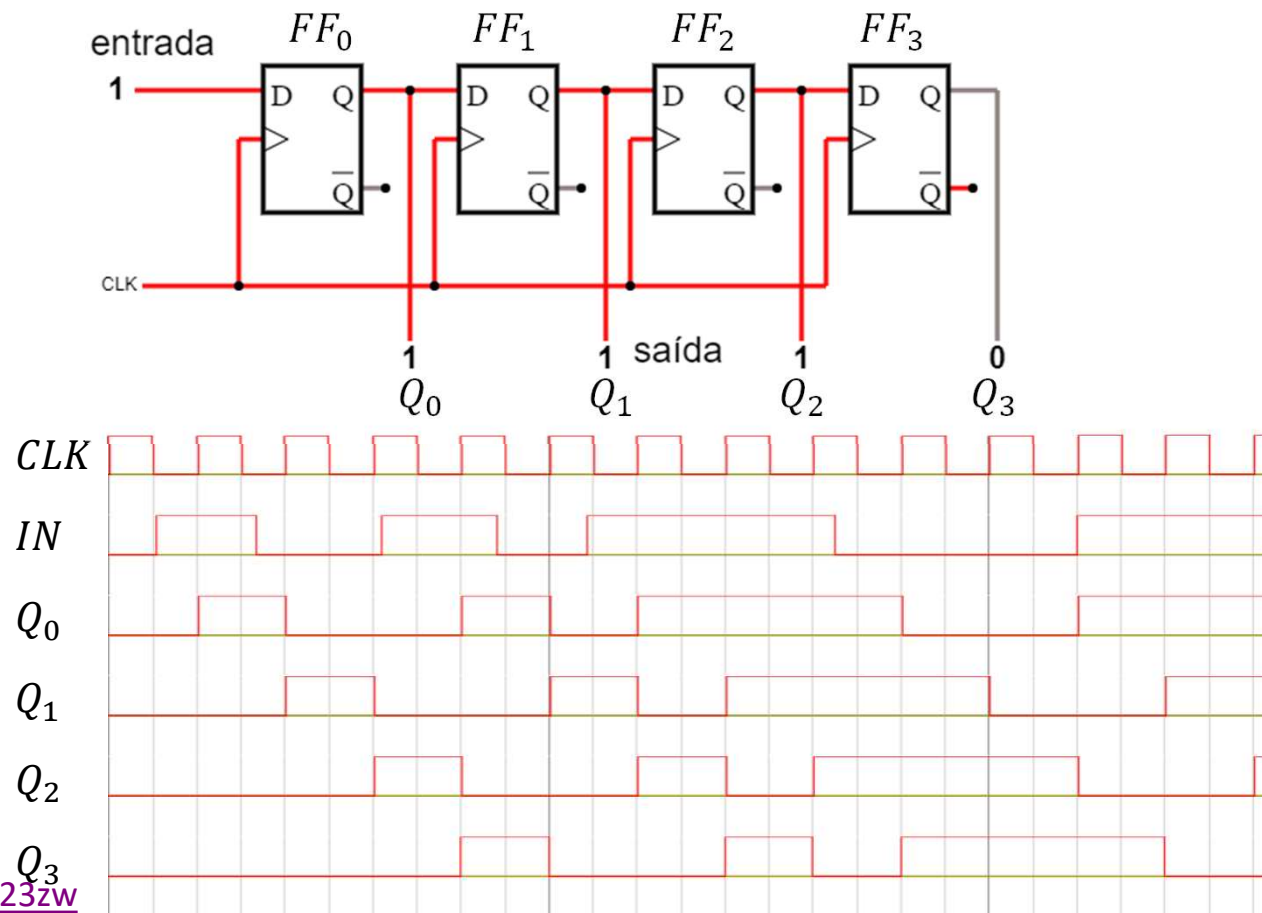
- Registrador do tipo *serial in – parallel out* transfere bit a bit de uma sequência de bits da entrada para as saídas:
- O seguinte circuito utiliza *flip-flops D* para realizar esta lógica:



- A entrada  $D$  do  $FF_0$  será transferida para a saída  $Q_0$  na borda de subida do *clock*;
- A informação  $Q_0$  será transferida para a saída  $Q_1$  na próxima borda;
- A informação  $Q_1$  será transferida para a saída  $Q_2$  na próxima borda; e
- Assim sucessivamente;
- O último bit transferido fica retido em  $Q_3$ .

## Circuitos Sequenciais

### Registrador *serial in – parallel out*



## Circuitos Sequenciais

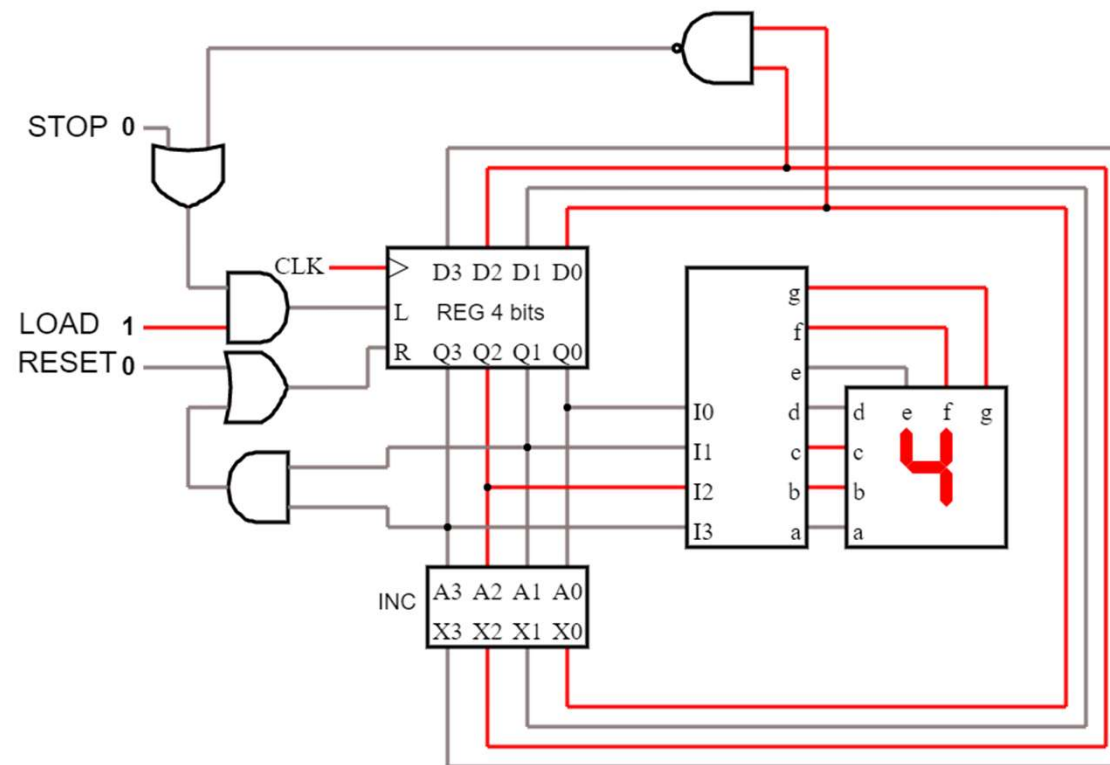
### Registradores

- i. Introduzir pequenas modificações no diagrama do contador de 0 a 9, para incluir uma parada em 4:



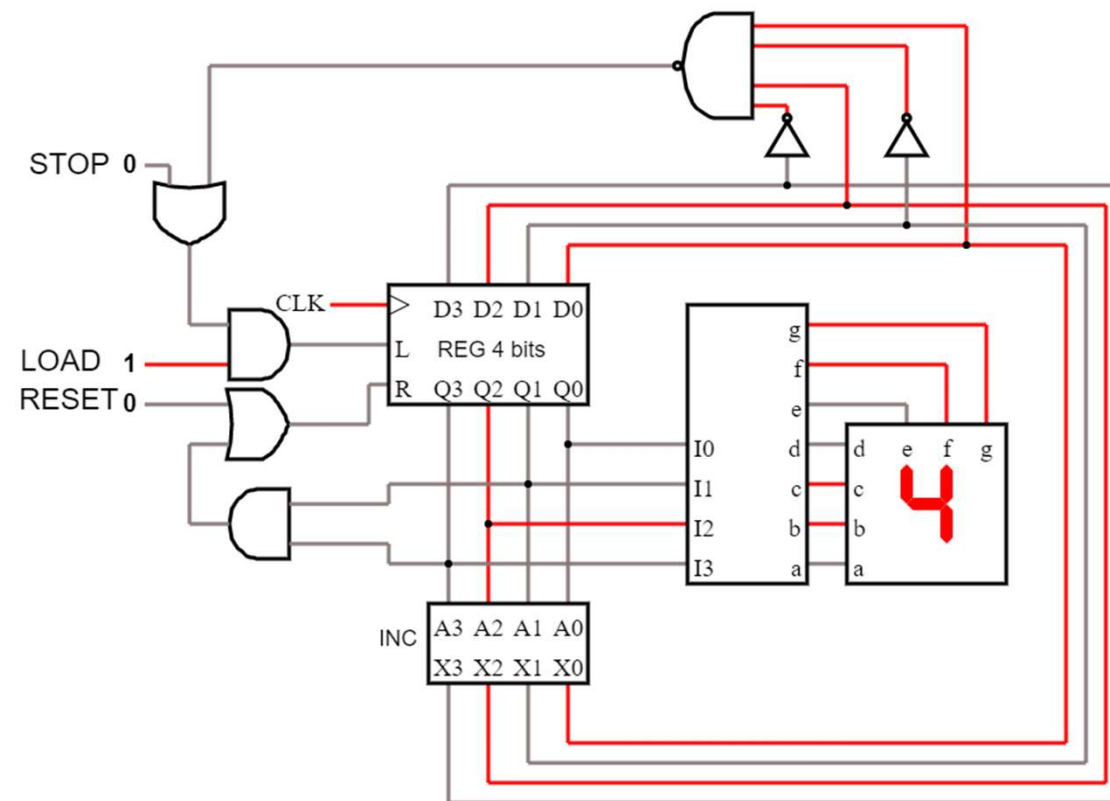
# Circuitos Sequenciais

## Registradores



# Circuitos Sequenciais

## Registradores



## Circuitos Sequenciais

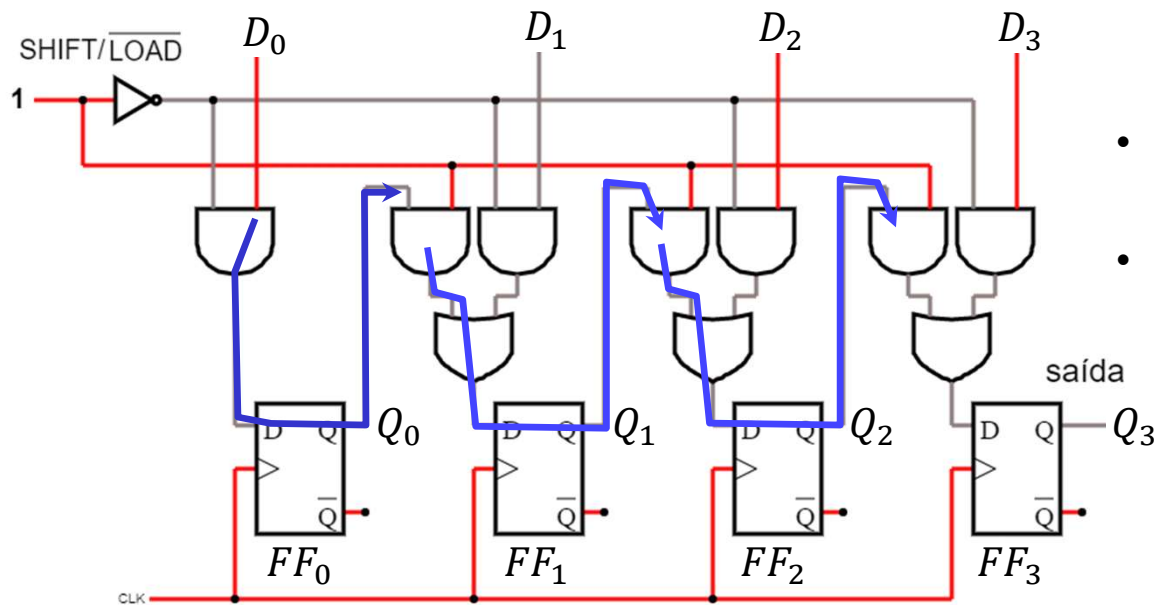
### Registradores

- ii. Adaptar o incrementador de 4 bits para incluir uma entrada que congela/retoma a contagem após 4 pulsos do *clock*:

## Circuitos Sequenciais

### Registrador *parallel in – serial out*

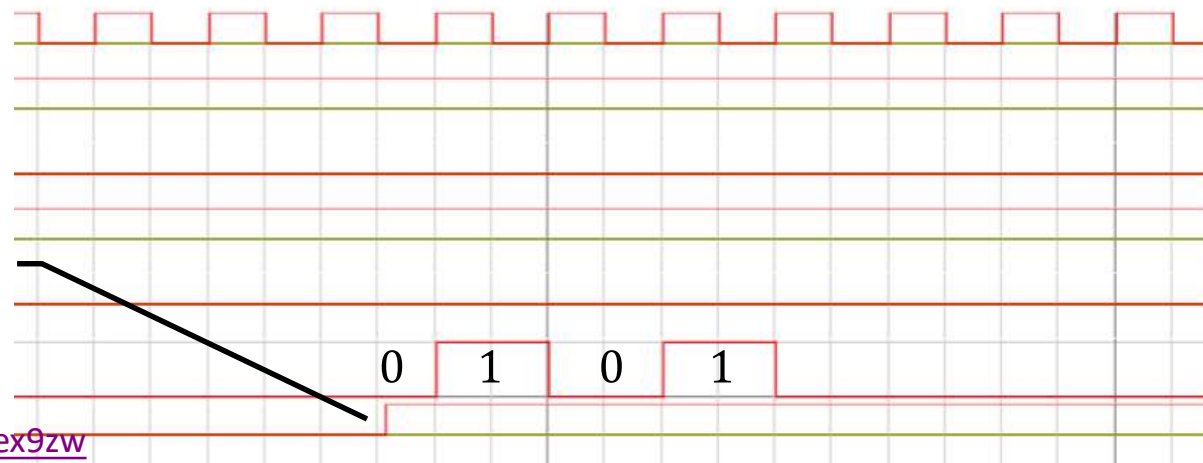
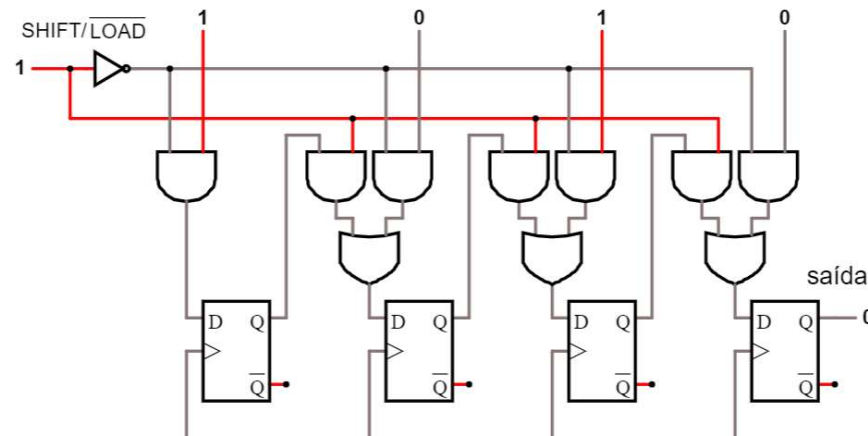
- Registrador do tipo *parallel in – serial out* transfere bit a bit a partir de uma entrada paralela de bits:
- O seguinte circuito utiliza *flip-flops D* para realizar esta lógica:



- A entrada  $SHIFT/\overline{LOAD}$  em 0 habilita as entradas  $D_{0-3}$  para os *flip-flops*;
  - A entrada  $SHIFT/\overline{LOAD}$  em 1 desabilita as entradas  $D_{0-3}$  e habilita a conexão em cascata dos *flip-flops*;
- Dando início assim ao processo de *shift*.

# Circuitos Sequenciais

## Registrador *parallel in – serial out*



<https://tinyurl.com/yjxex9zw>

## Circuitos Sequenciais

### Registrador de deslocamento

- Implementar um circuito para transmissão serial:
  - ✓ Em uma ponta os dados são armazenados em registrador de 4 *bits*;
  - ✓ Uma vez iniciada a comunicação, os bits são transferidos serialmente por uma única linha para a outra ponta;
  - ✓ Na recepção os bits são novamente reagrupados;

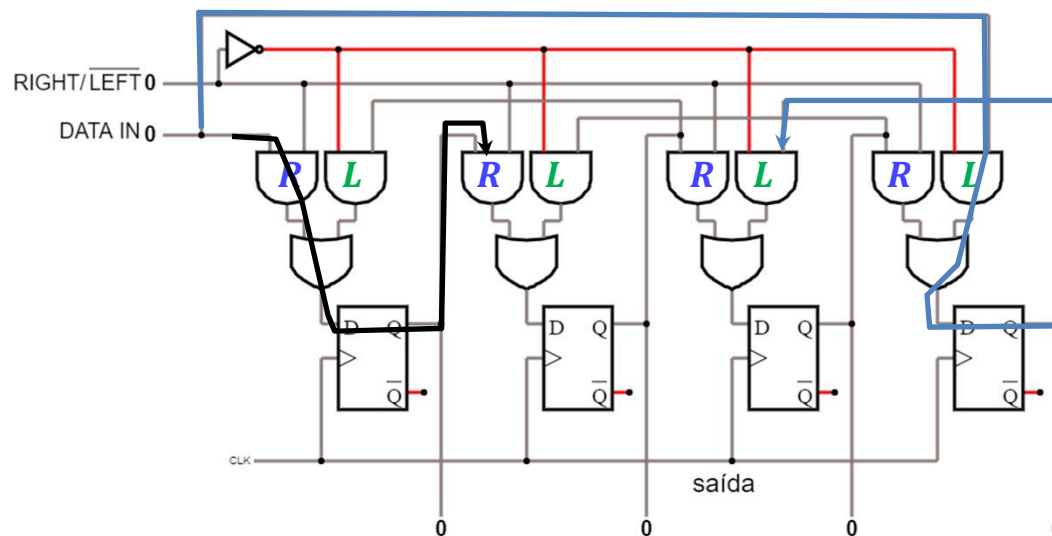
## Circuitos Sequenciais

### Registrador de deslocamento bidirecional

- Um registrador de deslocamento bidirecional permite o movimento dos bits tanto para a esquerda quanto para a direita;
- Ele pode ser implementado com uma entrada binária que habilita a transferência de um bit de dados de um estágio para outro à direita ou à esquerda.

# Circuitos Sequenciais

## Registrador de deslocamento bidirecional

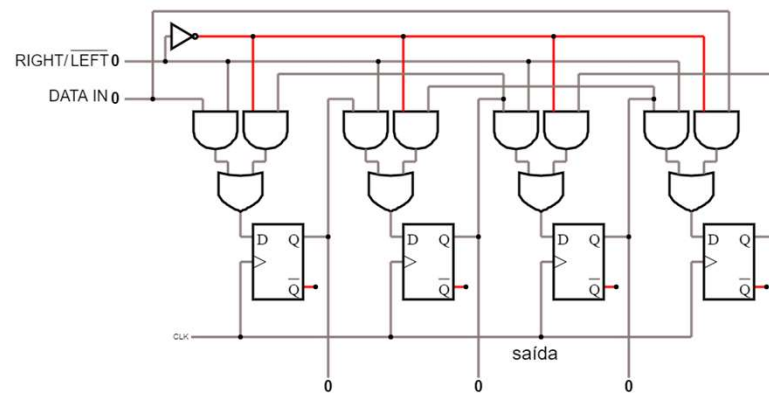


- Quando a entrada de controle  $RIGHT/\overline{LEFT} == 1$ , as portas **R** permitirão que o estado  $Q$  de cada *flip-flop* seja passado para a entrada  $D$  do próximo *flip-flop*.
- Quando ocorre um pulso de *clock*, os bits de dados serão deslocados para a direita.
- Quando a entrada de controle  $RIGHT/\overline{LEFT} == 0$  as portas **L** permitirão que a saída  $Q$  de cada *flip-flop* seja transferida para a entrada  $D$  do *flip-flop* anterior.
- Quando ocorre um pulso de *clock*, os bits de dados serão deslocados uma posição para a esquerda.

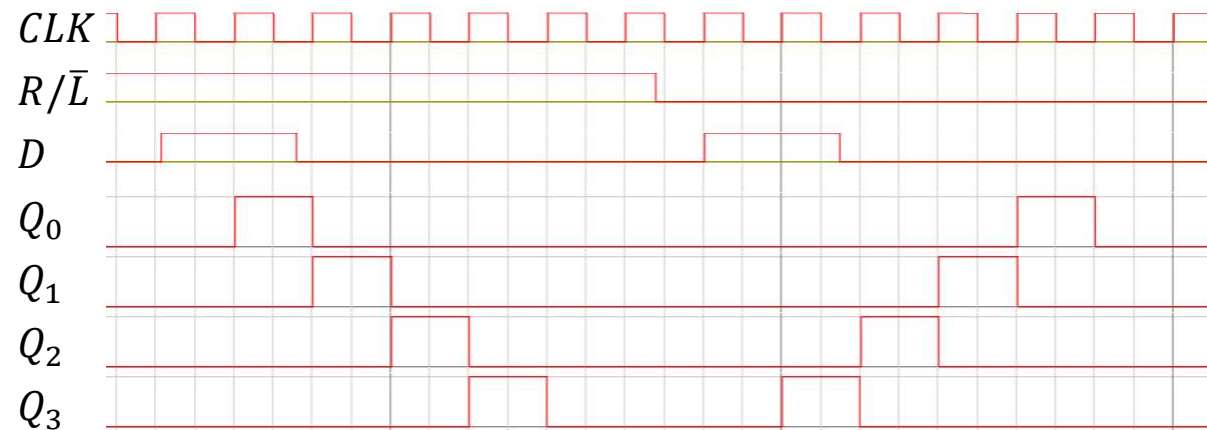


# Circuitos Sequenciais

## Registrador de deslocamento bidirecional



<https://tinyurl.com/yemjrtcy>



## Circuitos Sequenciais

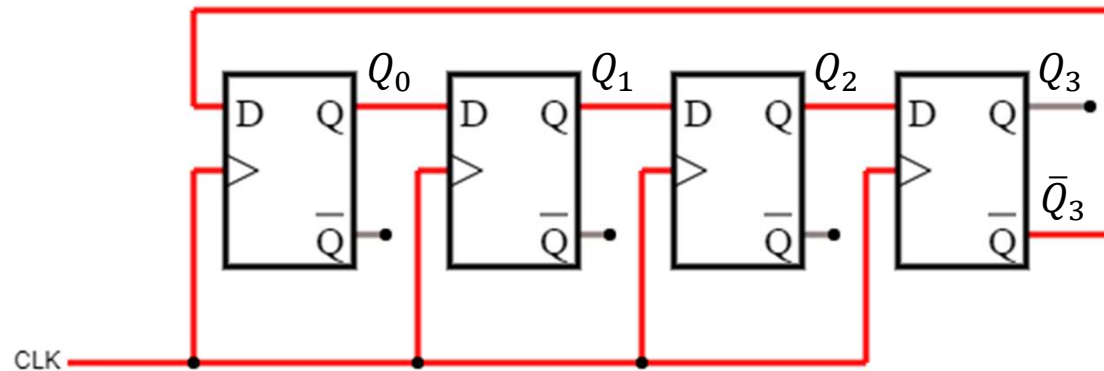
### Registrador de deslocamento contador

- Um registrador de deslocamento contador é basicamente um registrador de deslocamento, onde a saída serial é conectada na entrada serial;
- Esta configuração produz uma sequência especial de valores;
- Os registradores contadores mais comuns são:
  - ✓ Contador *Johnson*; e
  - ✓ Contador em anel.

## Circuitos Sequenciais

### Contador Johnson

- Em um contador Johnson, a saída  $\bar{Q}$  do último *flip-flop* é conectada em *feedback* na entrada  $D$  do primeiro *flip-flop*;
- É possível implementar com outros tipos de *flip-flops*;



## Circuitos Sequenciais

### Contador Johnson

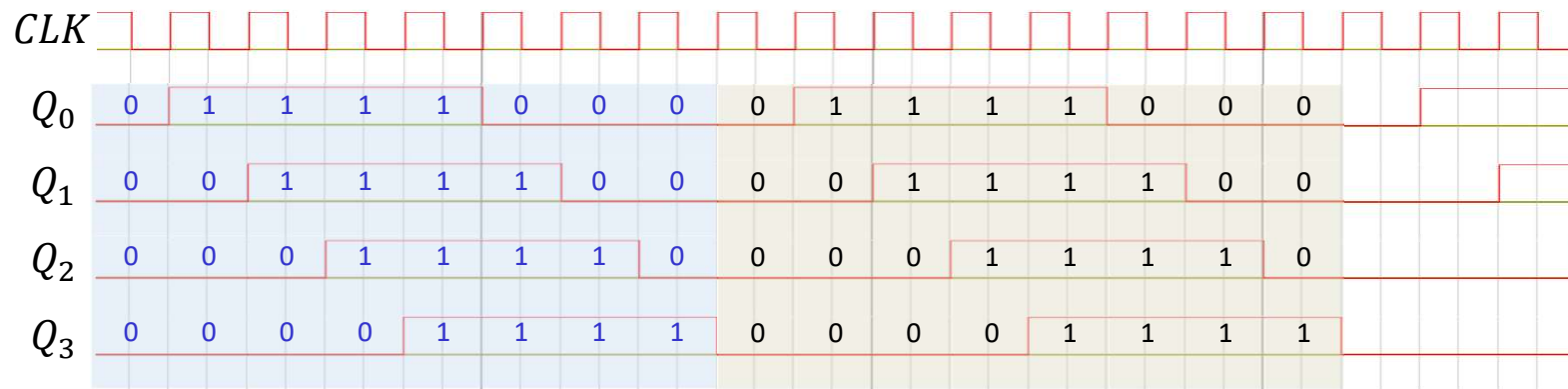
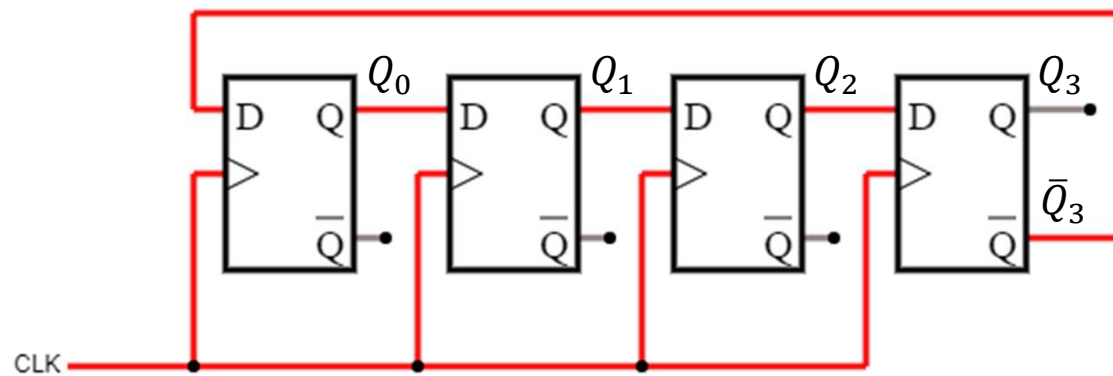
- Se o contador iniciar em 0, este arranjo de feedback produzirá a seguinte sequência clássica de estados:

<i>Clock Pulse</i>	$Q_0$	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$
0	0	0	0	0
1	1	0	0	0
2	1	1	0	0
3	1	1	1	0
4	1	1	1	1
5	0	1	1	1
6	0	0	1	1
7	0	0	0	1

- Observe que a sequência de 4 bits tem um total de oito estados, ou padrões de bits, e a sequência de 5 bits tem um total de dez estados;
- Em geral, um contador *Johnson* produzirá um módulo de  $2 \times n$ , onde  $n$  é o número de estágios do contador.

# Circuitos Sequenciais

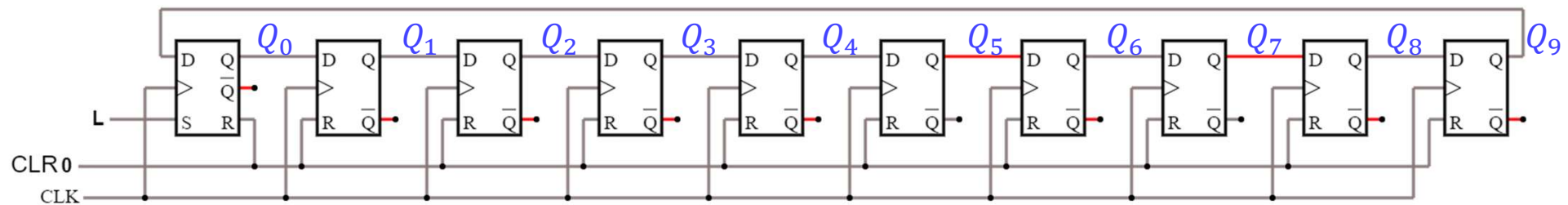
## Contador Johnson



## Circuitos Sequenciais

### Contador em anel

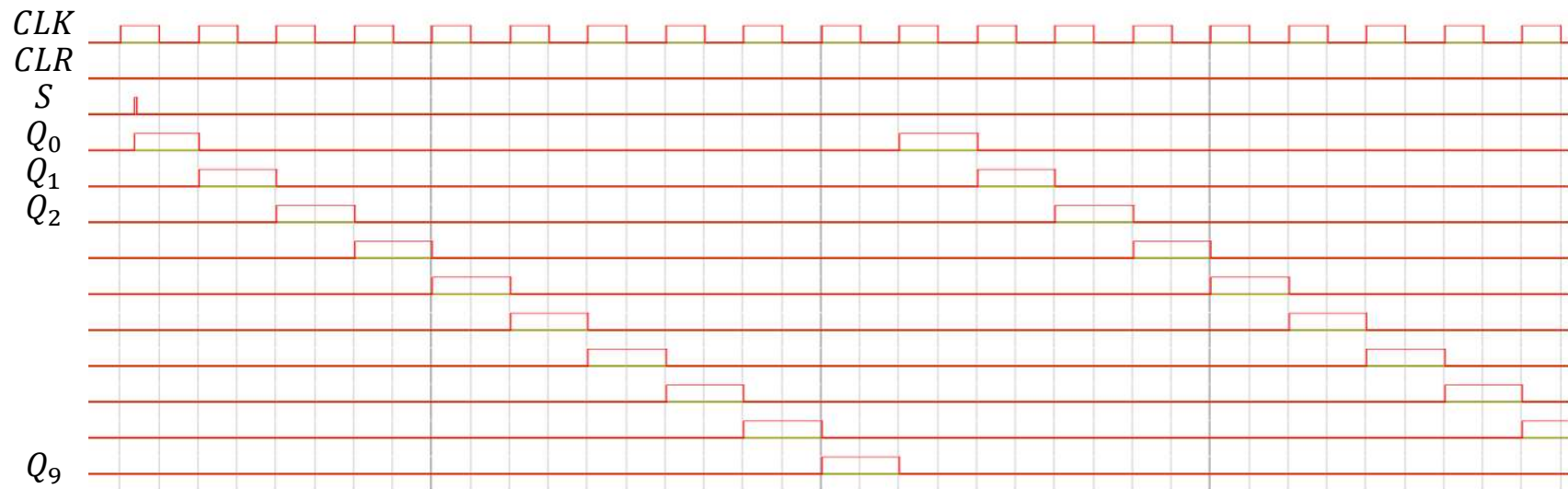
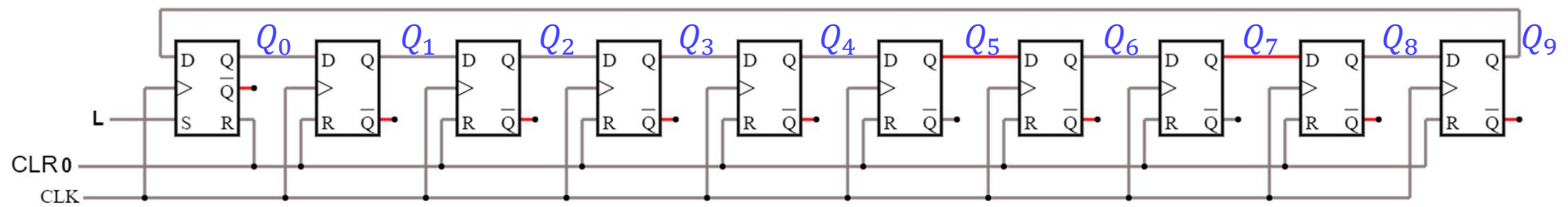
- Um contador em anel é basicamente um registrador de deslocamento circular;
- A saída  $Q$  do último *flip-flop* é conectada à entrada  $D$  do primeiro;



- A configuração mais comum é a de um único *bit* 1 circulando enquanto existirem pulsos do clock;
- A entrada  $S$  do primeiro *flip-flop* serve para introduzir o bit.

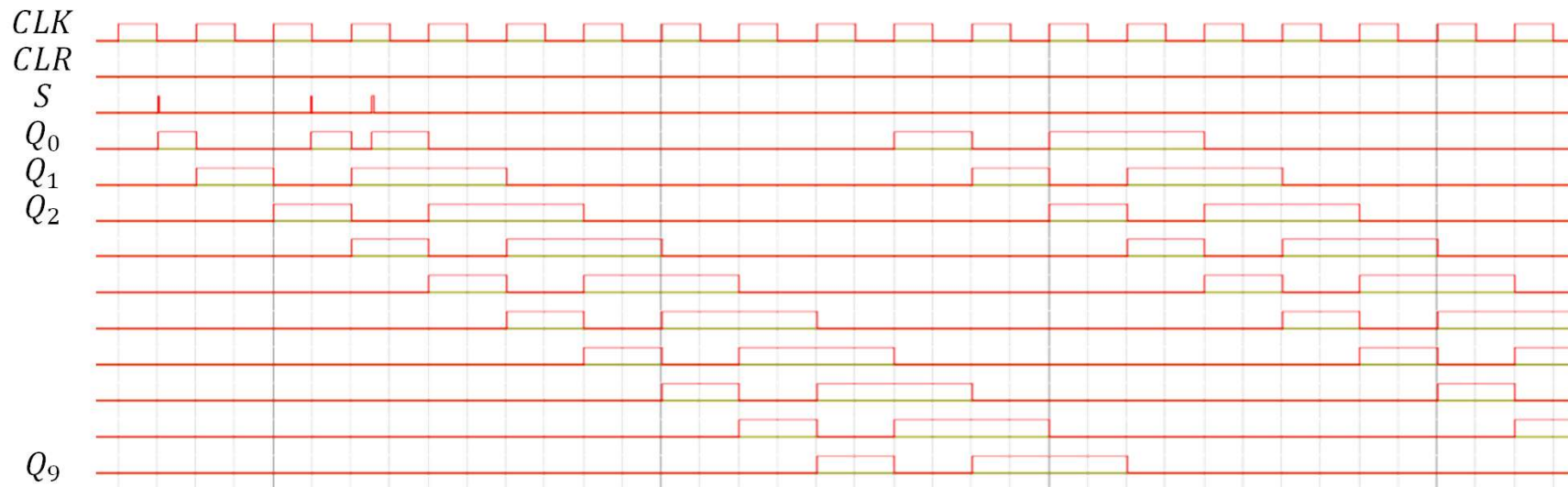
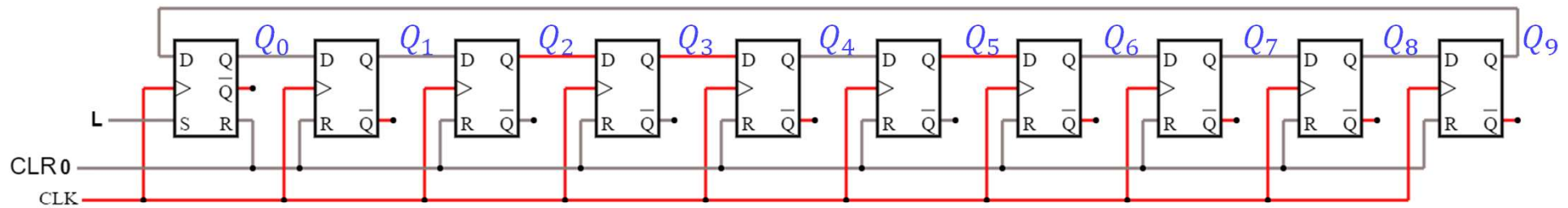
# Circuitos Sequenciais

## Contador em anel



## Circuitos Sequenciais

### Contador em anel





## Sumário

1. Revisão – Sistemas de Numeração
2. Revisão – Representação de Dados
3. Revisão – Operações com Binários
4. Álgebra Booleana
5. Simplificação de Expressões
6. Mapa de Karnaugh
7. Elementos Lógicos Universais
8. Circuitos Combinacionais
9. Circuitos Sequenciais

1. Latches
2. Flip-Flop
3. Registradores
4. Contadores
5. Máquina de Estados
6. Memória RAM

## Circuitos Sequenciais

### Contadores

- Uma máquina de estados é um circuito sequencial com um número limitado (finito) de estados que ocorrem em uma determinada ordem;
- Um contador é um exemplo de máquina de estado, onde o número de estados é denominado módulo;
- Dois tipos básicos de máquinas de estado são: modelo de *Moore* e o modelo de *Mealy*;
- A máquina de estado de *Moore* é aquela em que as saídas dependem apenas do estado atual;
- A máquina de estado de *Mealy* é aquela em que as saídas dependem do estado atual e das entradas;
- Os dois modelos possuem uma entrada de *clock* que não é considerada uma entrada de controle.

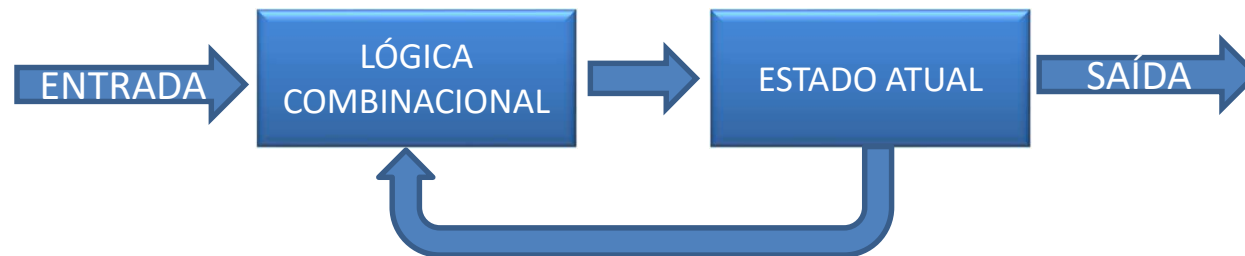
## Circuitos Sequenciais

### Contadores

Máquina de  
*Moore*



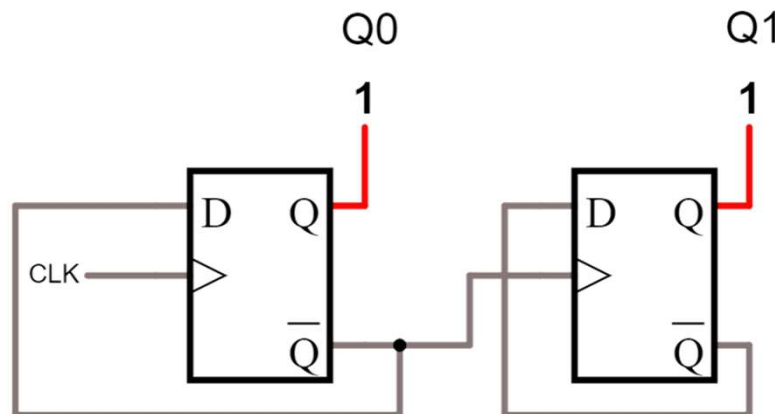
Máquina de  
*Mealy*



## Circuitos Sequenciais

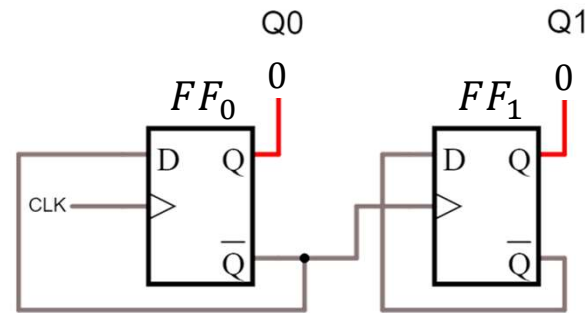
### Contadores assíncronos

- O termo assíncrono refere-se a eventos que não possuem uma relação fixa de tempo entre si;
- Um contador assíncrono é aquele em que os *flip-flops* (FF) que integram o contador não mudam de estado exatamente ao mesmo tempo, pois não compartilham o mesmo pulso de clock;
- O diagrama a seguir apresenta um contador assíncrono de 2 *bits*:



## Circuitos Sequenciais

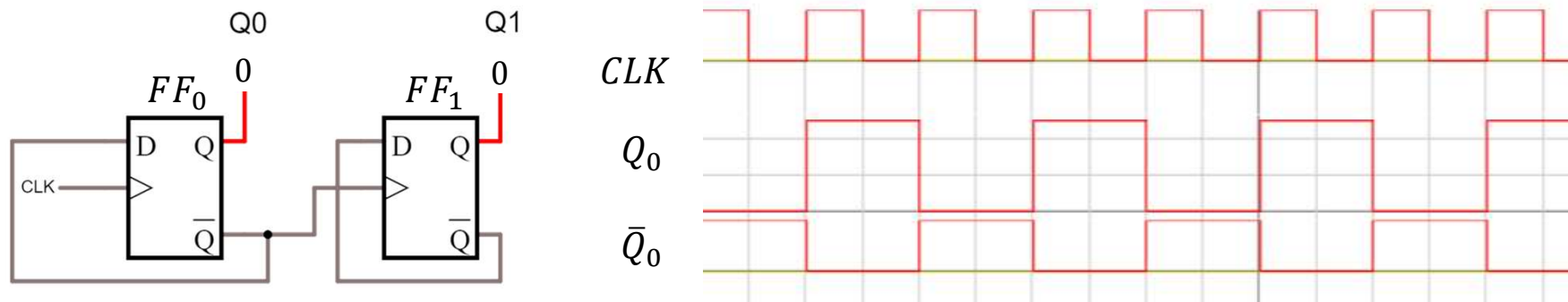
### Contadores assíncronos



- Para compreender o funcionamento deste circuito, iremos analisar o comportamento do  $FF_0$  para alguns pulsos do clock;
- Inicialmente  $Q_0 = 0$  e  $\bar{Q}_0 = 1$ , realimentando  $D_0 = \bar{Q}_0 = 1$ .
- Na próxima borda do *clock* teremos  $Q_0 = 1$  e  $\bar{Q}_0 = 0$ , realimentando  $D_0 = \bar{Q}_0 = 0$ ;
- Na próxima borda do *clock* teremos  $Q_0 = 0$  e  $\bar{Q}_0 = 1$ , realimentando  $D_0 = \bar{Q}_0 = 1$ ;
- A cada borda de subida do *clock* a saída  $Q_0$  vai alternando de valor;
- O seguinte gráfico ilustra o comportamento:

## Circuitos Sequenciais

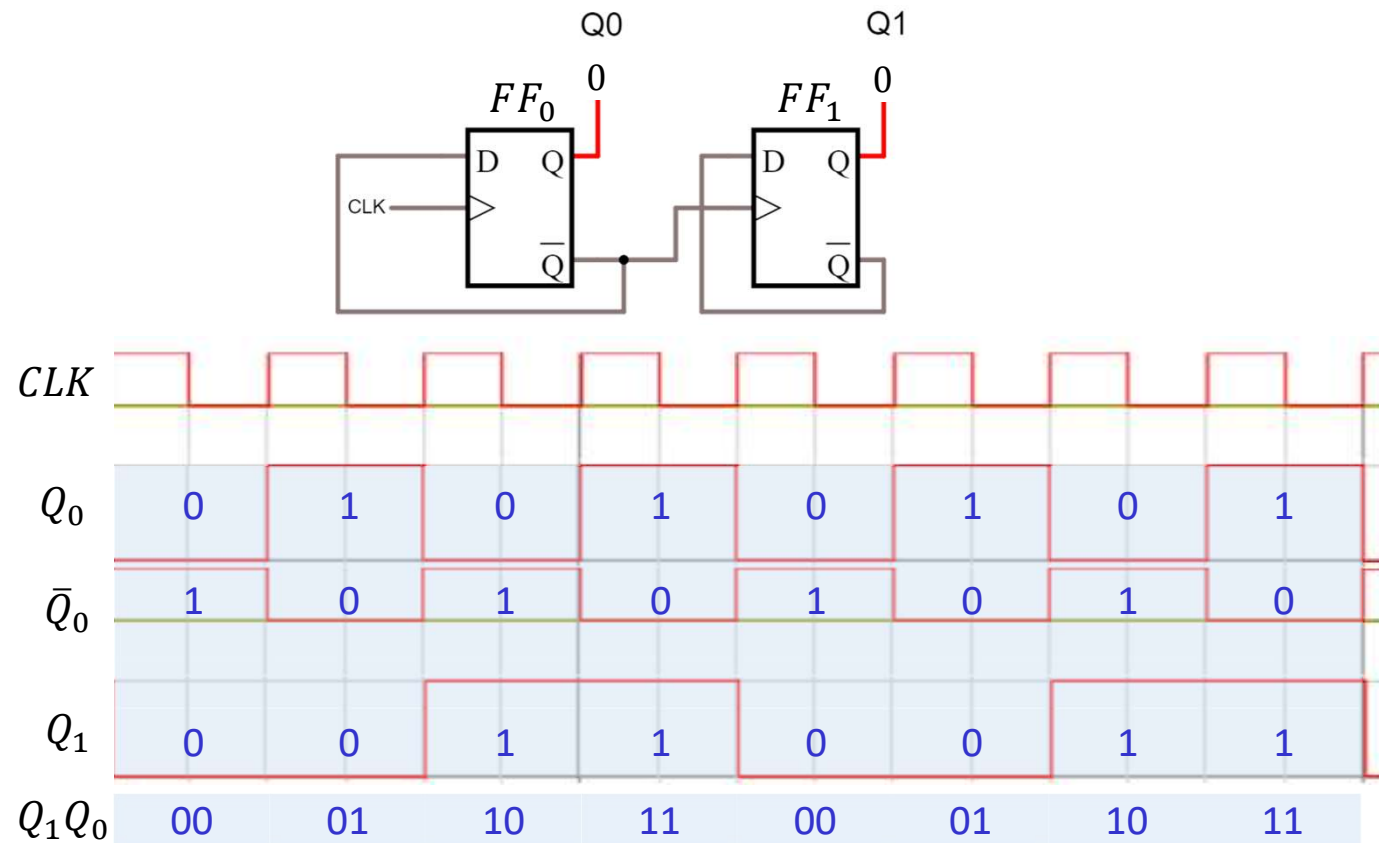
### Contadores assíncronos



- Iremos analisar o comportamento do  $FF_1$  em função dos pulsos recebidos a partir de  $\bar{Q}_0$ ;
- Sempre que  $\bar{Q}_0$  comutar de 0 para 1, o  $FF_1$  irá transferir a entrada  $D_1$  para  $Q_1$ ;
- Inicialmente  $Q_1 = 0$  e  $\bar{Q}_1 = 1$ , realimentando  $D_1 = \bar{Q}_1 = 1$ .
- Na próxima borda de  $\bar{Q}_0$  teremos  $Q_1 = 1$  e  $\bar{Q}_1 = 0$ , realimentando  $D_1 = \bar{Q}_1 = 0$ ;
- Na próxima borda do  $\bar{Q}_0$  teremos  $Q_1 = 0$  e  $\bar{Q}_1 = 1$ , realimentando  $D_1 = \bar{Q}_1 = 1$ ;
- A cada borda de subida do  $\bar{Q}_0$  a saída  $Q_1$  vai alternando de valor;

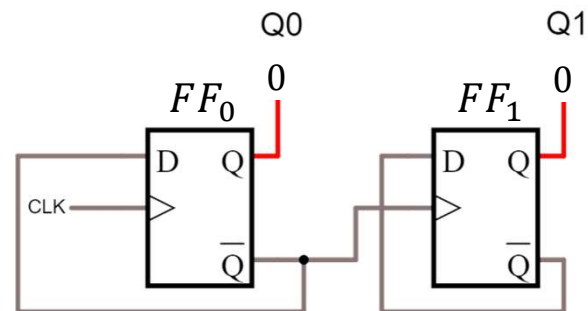
# Circuitos Sequenciais

## Contadores assíncronos



## Circuitos Sequenciais

### Contadores assíncronos



- A sequência de estados pode ser visualizada na seguinte tabela:

<i>Clock Pulse</i>	$Q_1$	$Q_0$
Inicial	0	0
1	0	1
2	1	0
3	1	1
4	0	0



## Circuitos Sequenciais

### Contadores assíncronos

