ORGANIZAÇÃO E ARQUITETURA DE COMPUTADORES I

Circuitos Seqüenciais

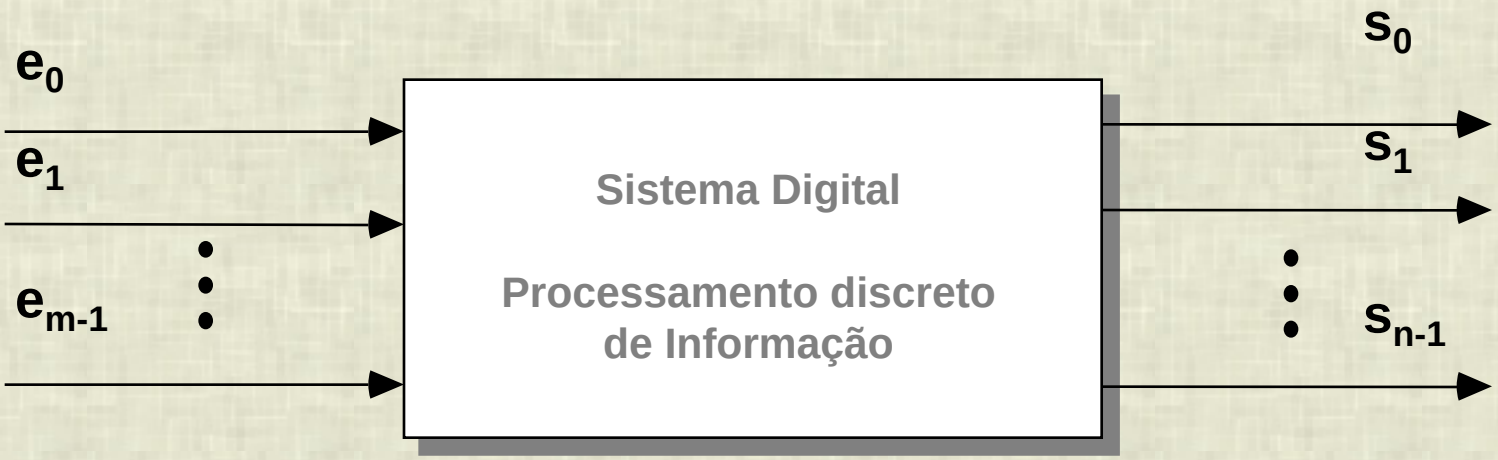
prof. Dr. César Augusto M. Marcon
prof. Dr. Edson Ifarraguirre Moreno

Sistemas Digitais

Definição funcional:

Aparato dotado de conjuntos finitos de **entradas** e **saídas** e capaz de processar informação representada sob forma **discreta**

Representação estrutural:



Subdivisão:

- **Circuitos combinacionais**
- **Circuitos seqüenciais**

Sistemas Digitais Seqüenciais

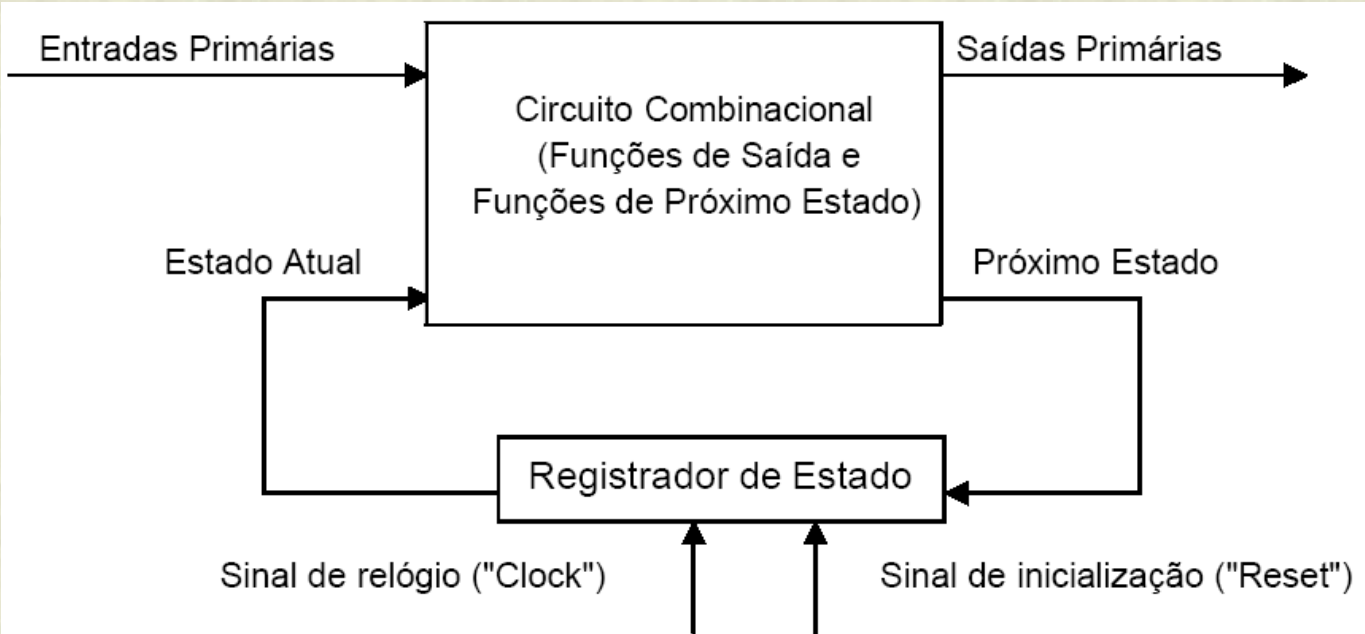
Definição:

Circuito, cujo comportamento de cada saída é descrito como função dos valores instantâneos das entradas e de seus valores passados

Intuitivamente esta definição leva ao conceito de memória, responsável por armazenar os valores passados

Memórias requerem sinais de controle para determinar os instantes de carga e os valores de inicialização

Representação:

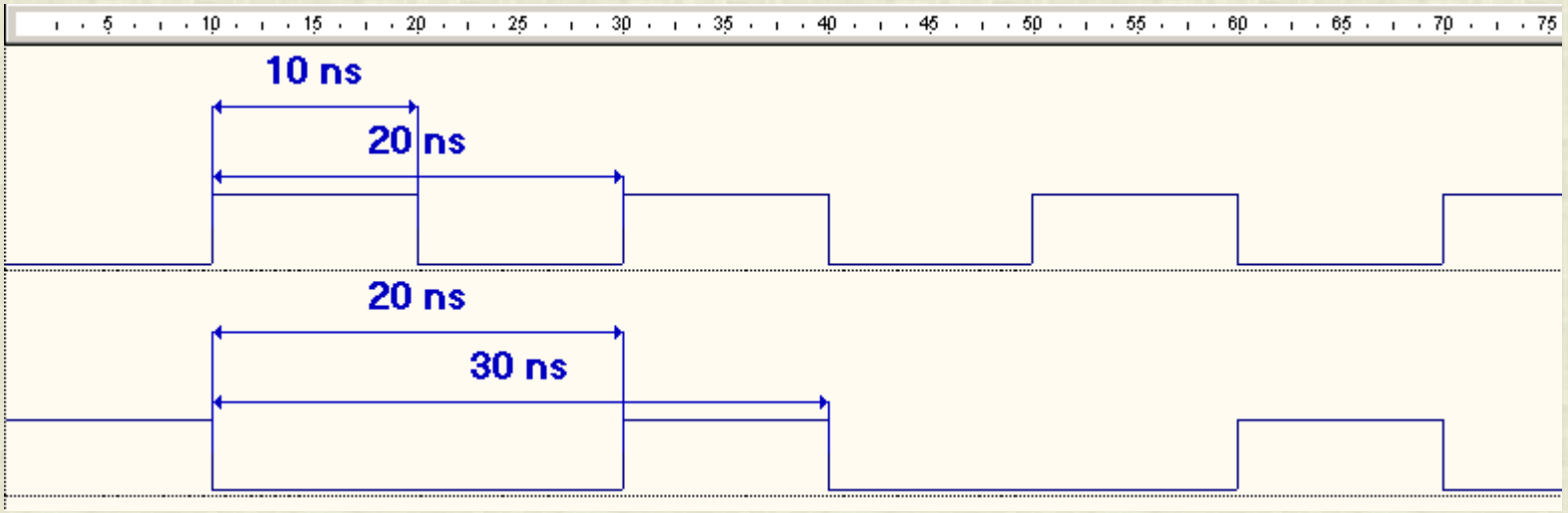


Sistemas Digitais Seqüenciais

- **Circuito seqüencial pode ser representado por um circuito combinacional associado à uma memória**
- **A parte combinacional tem como entradas, as entradas externas (entradas atuais) e as entradas internas, provenientes da memória (entradas passadas), que fornecem o *estado* do circuito**
- **A parte combinacional tem como saídas, as saídas externas (saídas do circuito seqüencial) e as saídas internas (fornecem o cálculo do próximo estado) para o circuito**
- **A memória tem como entradas o valor do próximo estado que será armazenado e sinais de controle**
  - Os principais sinais de controle são o relógio (do inglês, clock) e sinais de inicialização, tais como set, reset, clear, e outros. Estes últimos usados para iniciar a operação do circuito seqüencial em um estado conhecido
- **Circuitos seqüenciais são normalmente divididos em síncronos e assíncronos**
  - Síncronos são aqueles cujas transições são dependentes do evento de um sinal único de sincronismo – normalmente chamado de relógio
  - Assíncronos são aqueles cujas transições não são coordenadas por um único sinal

Relógio

- **Relógio é uma onda periódica com freqüência, fase e amplitude. O objetivo deste sinal é determinar os instantes de tempo em que o circuito seqüencial deve avaliar as suas entradas**
- **Exemplo:**
  - Abaixo seguem dois relógios CK1 e CK2 com períodos 20ns e 30ns, respectivamente. Conseqüentemente com freqüências 50MHz e 33,33MHz



- **Exercícios:**
  1. Desenhar um relógio com as seguintes características: freqüência de 1GHz, com 25% do período em 1 e 75% em 0
  2. Fazer o VHDL que corresponde ao relógio desenhado

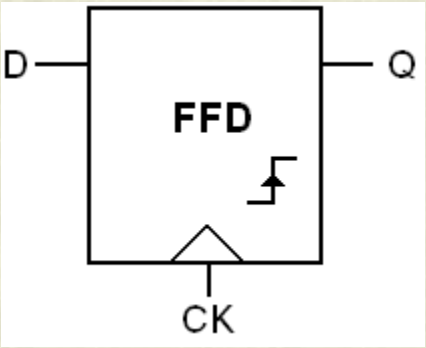
Flip-Flops

- **Flip-flop é um circuito digital pulsado capaz de servir como uma memória de um bit**
- **Também conhecido como multivibrador biestável, por ser um circuito oscilador com capacidade de assumir dois estados (0 ou 1)**
- **Existem diversos tipos de flip-flops. Para a área de Ciência da Computação, o modelo de flip-flop mais elementar é o flip-flop do tipo D (FFD)**
- **FFD é uma memória de um bit, que armazena o valor da entrada D sempre que ocorrer um evento de relógio. Este valor é mantido e amostrado na saída, normalmente chamada de Q, enquanto não ocorrer um novo evento de relógio**
- **Eventos de relógio são quaisquer variações do sinal de relógio que são reconhecidas pelo circuito, gerando uma alteração no seu comportamento. O usual para estes circuitos são as variações de 0 para 1 e de 1 para 0. Ou seja, sensibilidade à borda de subida ou borda de descida**
- **Além das entradas D e CK (relógio ou clock), o FFD tem normalmente as entradas de CE (chip enable) e clear ou preset. CE serve para habilitar o comportamento do FFD, enquanto clear e preset colocam o FFD com os valores 0 e 1 respectivamente**

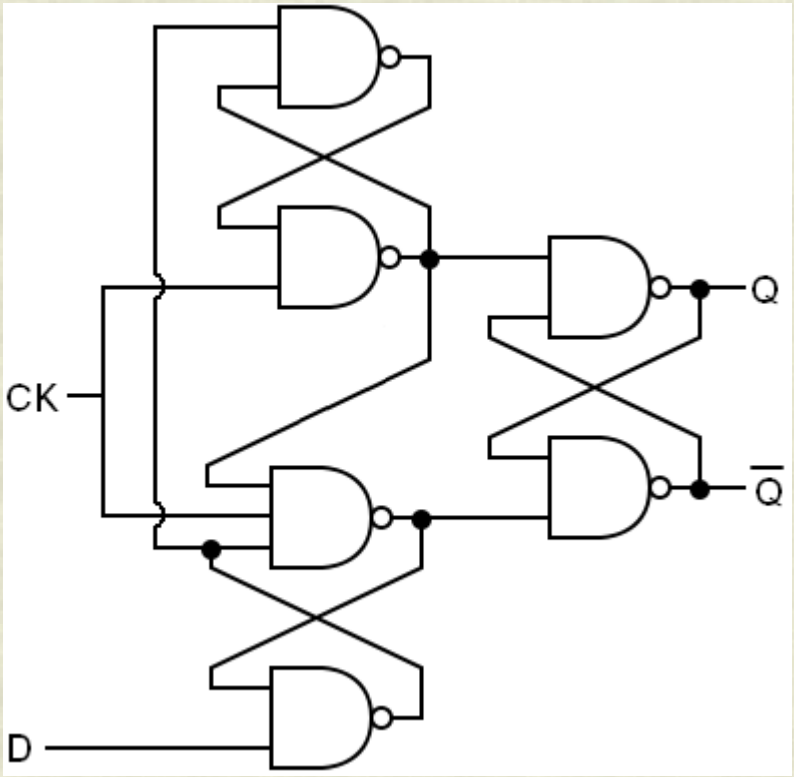
Flip-Flop D (FFD)

- **Exemplo de FFD, sensível à borda de subida, e apenas com as entradas D e CK**

Representação



Implementação com portas lógicas NAND



- **PERGUNTA: Como um circuito com apenas portas lógicas consegue armazenar informação?**

Equivalência entre Circuitos Combinacionais e Seqüenciais

- **Circuitos *combinacionais* implementam suas funcionalidades de maneira *espacial***
  - Ou seja, teoricamente, sua funcionalidade pode ser obtida instantaneamente
- **Circuitos *seqüenciais* implementam algoritmos de forma *espaço-temporal***
  - Ou seja, sua funcionalidade requer intervalos de tempo
- **Teoricamente, todo o circuito seqüencial pode ser implementado de forma combinacional**
  - O inverso, também é verdadeiro, já que um circuito combinacional é um caso especial de circuito seqüencial sem memórias
  - Todavia, certas funcionalidades são tipicamente implementadas de forma puramente espacial, enquanto outras são implementadas de forma espaço temporal
  - Os requisitos e restrições de projeto são fatores determinantes para direcionar a implementação

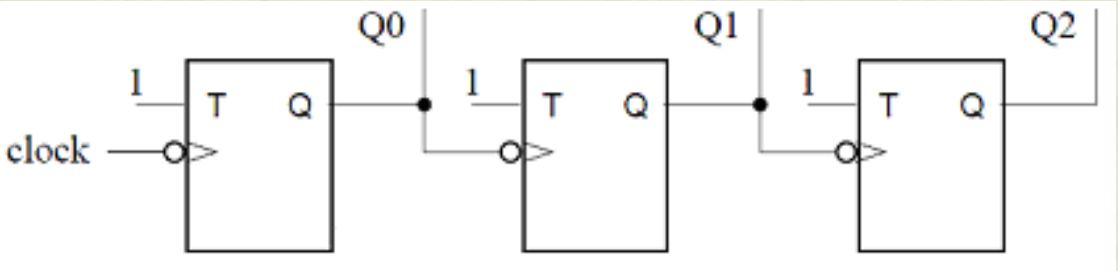
Exercícios de Equivalência entre Circuitos Combinacionais e Seqüenciais

1. Faça duas implementações de uma porta E de 4 entradas, utilizando portas lógicas e flip-flops D. Uma de forma combinacional e outra de forma seqüencial
2. Faça duas implementações equivalentes de um somador de 4 bits de forma seqüencial e de forma combinacional
3. Para ambos os casos acima, avalie vantagens e desvantagens de cada implementação. Principais aspectos a serem abordados: tempo de computação, escalabilidade do sistema, área ocupada, complexidade espaço temporal

Exercícios

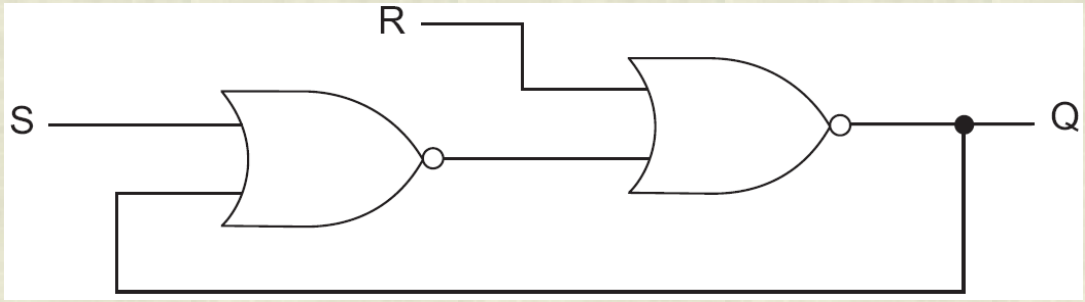
4. **(POSCOMP 2003 - 21)** O contador da figura abaixo é:

   a. **Síncrono**
   b. **Assíncrono**
   c. **Isócrono**
   d. **Anisócrono**
   e. **Auto-sincronizado**



5. **(ENADE 2005 Eng. II - 29)** A figura abaixo apresenta um circuito básico para construção de máquinas seqüenciais. Com relação a este circuito, tem-se que:

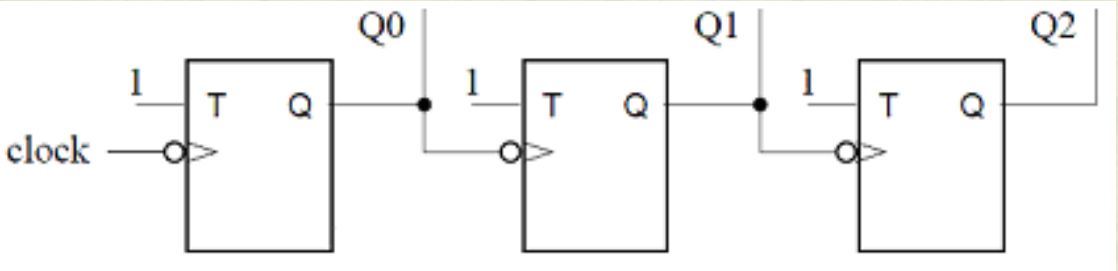
   a. **Se S = 1, então Q = 1**
   b. **Se R = 1 e S = 1, então Q é indeterminado**
   c. **Na transição de SR = 11 para SR = 10, Q é indeterminado**
   d. **Na transição de SR = 11 para SR = 00, Q é indeterminado**
   e. **Na transição de SR = 00 para SR = 11, Q é indeterminado**



Resposta de Exercícios

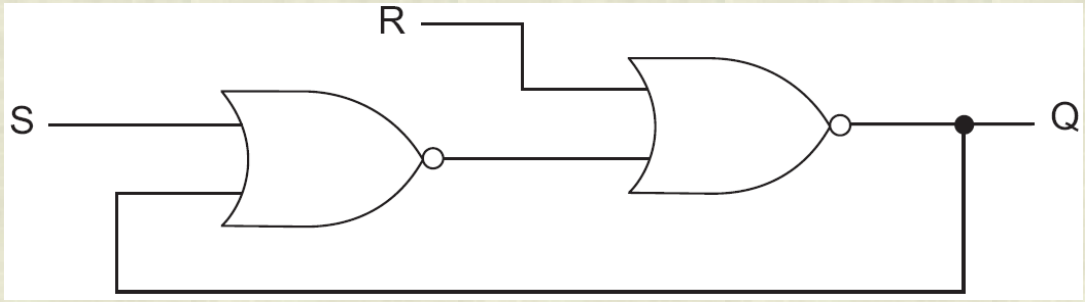
4. **(POSCOMP 2003 - 21)** O contador da figura abaixo é:

   a. **Síncrono**
   b. **Assíncrono**
   c. **Isócrono**
   d. **Anisócrono**
   e. **Auto-sincronizado**



5. **(ENADE 2005 Eng. II - 29)** A figura abaixo apresenta um circuito básico para construção de máquinas seqüenciais. Com relação a este circuito, tem-se que:

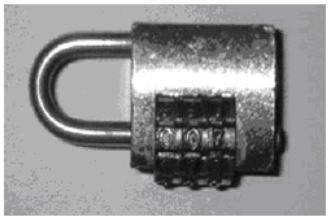
   a. **Se S = 1, então Q = 1**
   b. **Se R = 1 e S = 1, então Q é indeterminado**
   c. **Na transição de SR = 11 para SR = 10, Q é indeterminado**
   d. **Na transição de SR = 11 para SR = 00, Q é indeterminado**
   e. **Na transição de SR = 00 para SR = 11, Q é indeterminado**



Exercícios

I. TELEFONE CELULAR

II. CADEADO COM SEGREDO



III. SEGREDO DE COFRE

6. **(ENADE 2005 Eng. II - 19) Os circuitos lógicos podem ser classificados como combinacionais ou seqüenciais. Nos circuitos combinacionais, a saída é uma mera combinação lógica dos sinais de entrada. Nos circuitos seqüenciais, a seqüência dos sinais de entrada influencia a saída. Em outras palavras, os circuitos seqüenciais guardam uma memória do passado e os combinacionais, não**

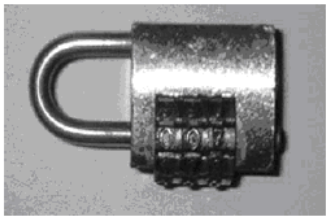
- **Identificando a Lógica Combinacional pela letra C e a Lógica Seqüencial pela letra S, as lógicas utilizadas pelos objetos acima representados seriam modeladas, respectivamente, como:**

1. **C - C - C**
2. **C - S - S**
3. **S - C - C**
4. **S - C - S**
5. **S - S - S**

Resposta do Exercício

I. TELEFONE CELULAR

II. CADEADO COM SEGREDO



III. SEGREDO DE COFRE

6. **(ENADE 2005 Eng. II - 19) Os circuitos lógicos podem ser classificados como combinacionais ou seqüenciais. Nos circuitos combinacionais, a saída é uma mera combinação lógica dos sinais de entrada. Nos circuitos seqüenciais, a seqüência dos sinais de entrada influencia a saída. Em outras palavras, os circuitos seqüenciais guardam uma memória do passado e os combinacionais, não**

- **Identificando a Lógica Combinacional pela letra C e a Lógica Seqüencial pela letra S, as lógicas utilizadas pelos objetos acima representados seriam modeladas, respectivamente, como:**

1. **C - C - C**
2. **C - S - S**
3. **S - C - C**
4. **S - C - S**
5. **S - S - S**