

Registradores de Deslocamento e Memórias

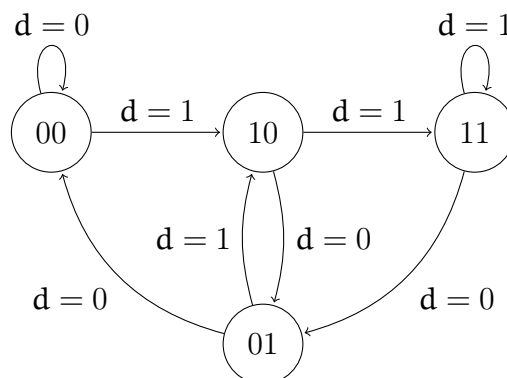
Rodrigo Hausen

1 Registradores de deslocamento

Exercício 1 Usando flip-flops do tipo D, projete uma máquina de estado com duas entradas, Ck (clock) e d (um bit de dado), e duas saídas, Q_1 , Q_0 , tais que a cada borda de descida do clock as saídas mudam de acordo com a seguinte tabela de transição:

estado atual		próx. estado	
Q_1	Q_0	Y_1	Y_0
a_1	a_0	d	a_1

Solução Passo um: diagrama de estados.



Passo dois: tabelas verdade.

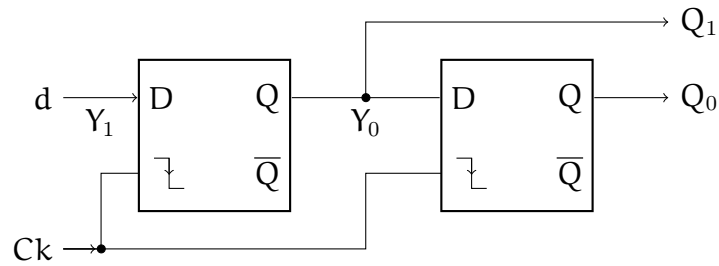
d	Q_1	Q_0	Y_1	Y_0
0	0	0	0	0
0	0	1	0	0
0	1	0	0	1
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	1	0
1	1	0	1	1
1	1	1	1	1

Passo três: expressões para Y_0 e Y_1 .

Pela observação das tabelas verdade, verificamos imediatamente que:

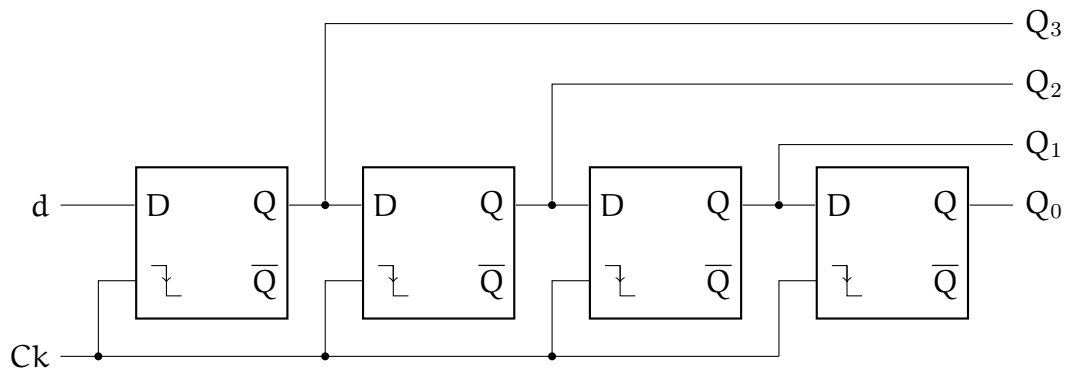
$$\begin{aligned} Y_1 &= d \\ Y_0 &= Q_1 \end{aligned}$$

Passo quatro: diagrama do circuito.

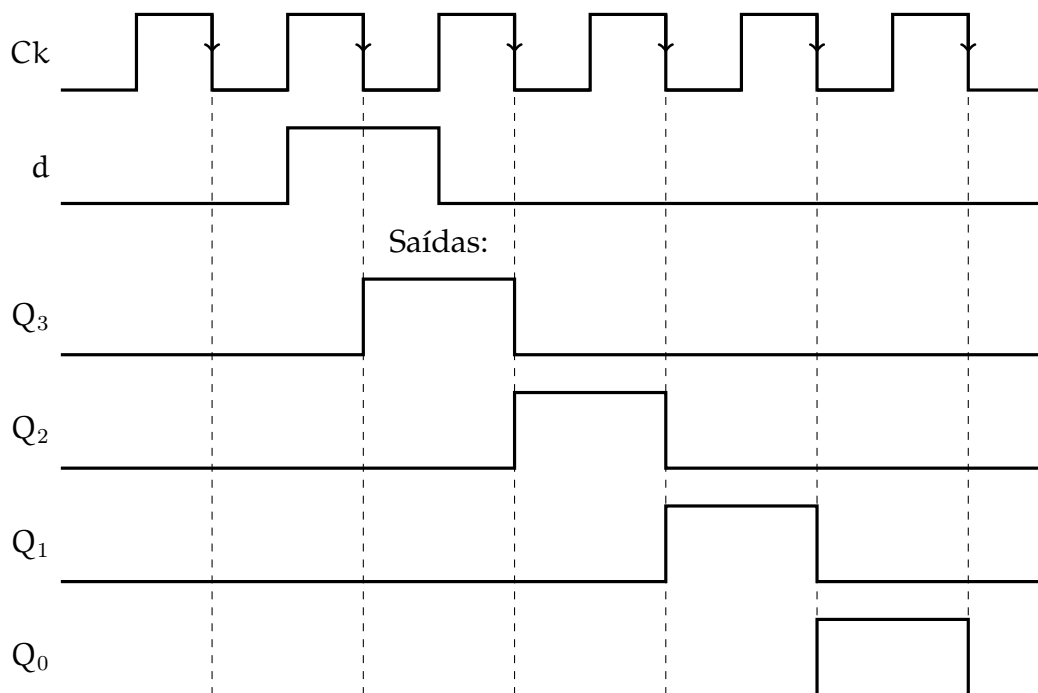


O circuito acima é chamado *registrador de deslocamento de 2 bits com entrada serial e saída paralela* (ou, simplesmente, *série para paralelo*).

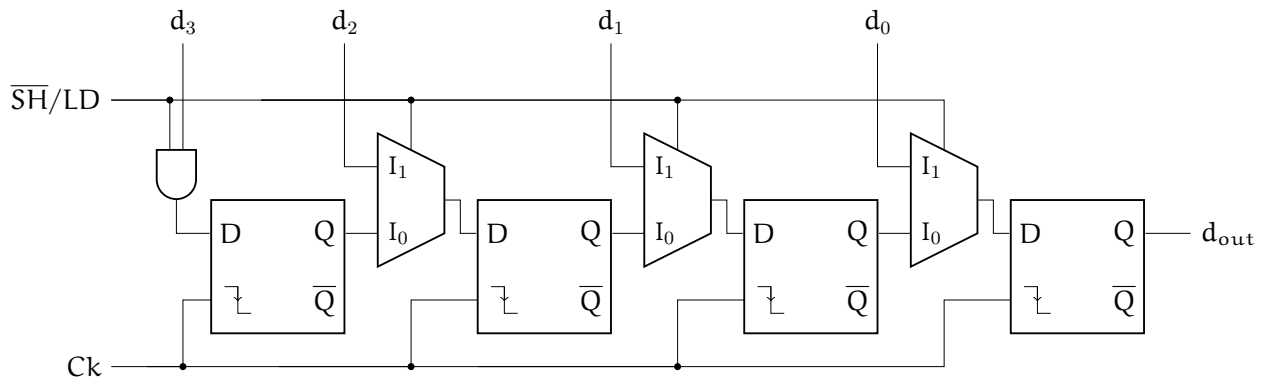
Exercício 2 Abaixo temos o circuito para um registrador de deslocamento série para paralelo de 4 bits:



Considerando os diagramas de forma de onda para d e Ck , e que o estado inicial de Q_0 , Q_1 , Q_2 e Q_3 é zero, esboce os diagramas de forma de onda para as saídas Q_0 , Q_1 , Q_2 e Q_3 .



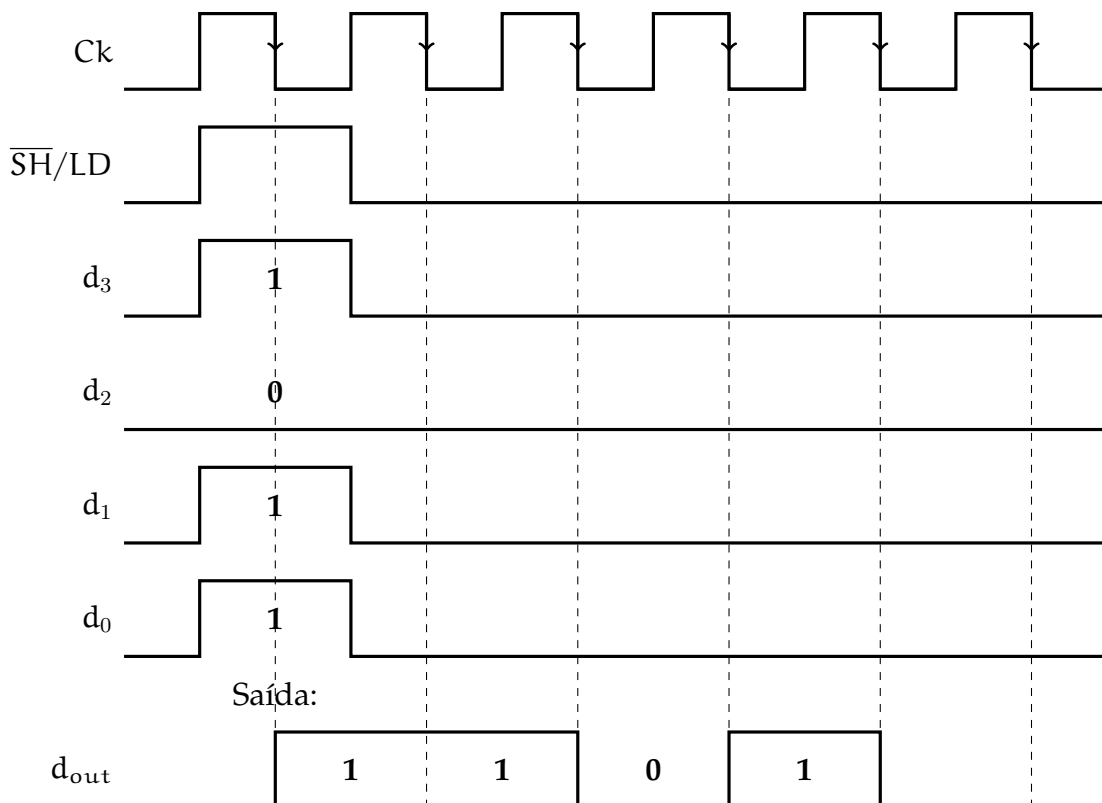
Exercício 3 Circuito para um registrador de deslocamento paralelo para série de 4 bits:



Neste registrador de deslocamento, a entrada $\overline{\text{SH}}/\text{LD}$ ("SHift or LoAD") indica qual operação será realizada:

- se $\overline{\text{SH}}/\text{LD} = 1$ será feito o carregamento (load) dos bits de dados no registrador: na próxima borda de descida do clock, os bits $d_3 \dots d_0$ são armazenados nos flip-flops e o bit d_0 será colocado na saída d_{out} .
- se $\overline{\text{SH}}/\text{LD} = 0$ será feito o deslocamento (shift) dos bits para a saída: a cada borda negativa do clock, um bit de dado será colocado na saída do clock, na sequência $d_1, d_2, d_3, 0, 0, \dots$

Esboce o diagrama de forma de onda para o carregamento do dado $d_3d_2d_1d_0 = 1011$ e seu deslocamento para a saída.



1.1 Para que servem registradores de deslocamento?

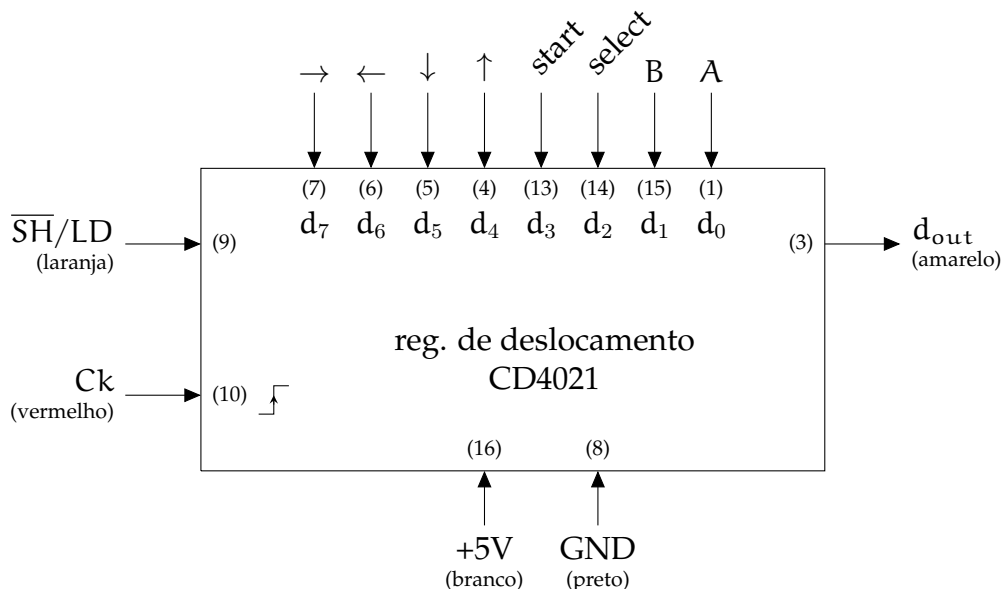
Estudo de caso de uso 1: controles do NES (Nintendo Entertainment System) e do SNES (Super Nintendo Entertainment System).

O controle padrão do NES possui 8 botões (\leftarrow , \uparrow , \rightarrow , \downarrow , A, B, select, start) e o do SNES possui 12 (além dos botões do NES, possui X, Y, L e R). Todos os botões podem ser acionados simultaneamente e o console de vídeo-game verifica o estado deles 60 vezes por segundo.

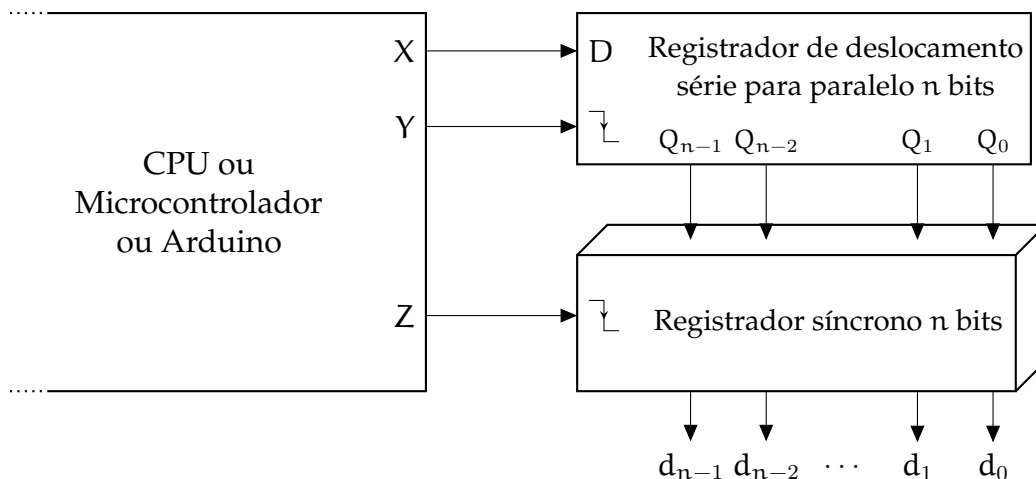
Para evitar o uso de um cabo com 8 ou 12 fios (isso sem contar com os fios de alimentação!), os controles possuem um registrador de deslocamento paralelo para série, cujas entradas de dados são o estado dos botões. O sinal de controle \overline{SH}/LD e o clock vêm do console, enquanto que a saída d_{out} do registrador de deslocamento é retornada do controle para o console.

Com a estratégia de transmissão serial do estado dos botões, o cabo que conecta os controles ao console precisa de apenas 5 fios (\overline{SH}/LD , Ck, d_{out} , +5V e GND/terra), não importa quantos botões o controle tenha! Quanto menos fios um cabo possui, mais barato e flexível ele é, além de ser menos propenso a falhas.

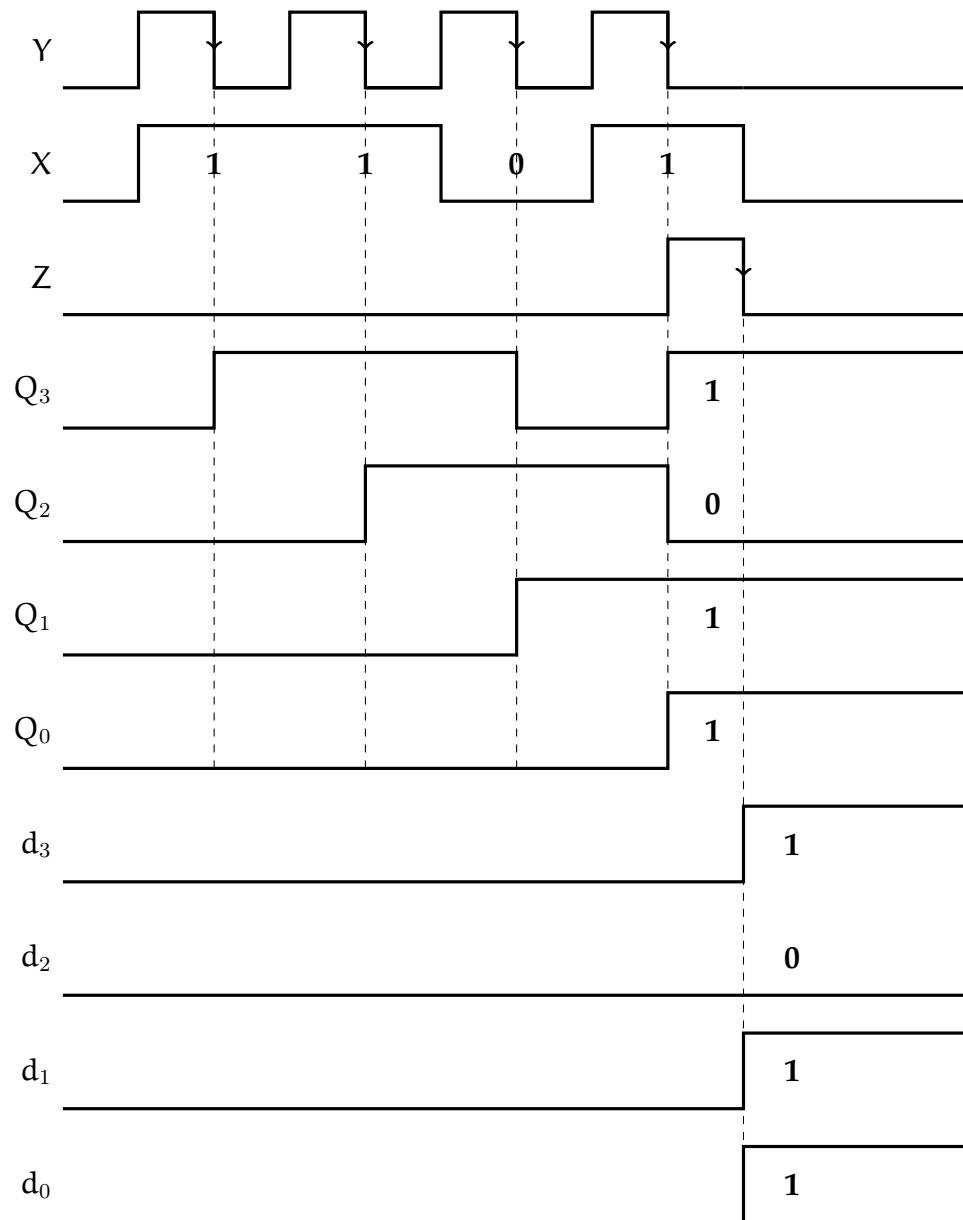
Apresentamos abaixo o esquema de ligação interna entre os componentes do controle do NES.



Estudo de caso de uso 2: suponha que você possua um processador/microcontrolador/Arduino com apenas 3 saídas disponíveis e deseje controlar $n > 3$ dispositivos diferentes d_0, d_1, \dots, d_{n-1} .



Exemplo: diagramas de forma de onda para fazer $d_0 = 1$, $d_1 = 1$, $d_2 = 0$, $d_3 = 1$ (ou seja, $d_3d_2d_1d_0 = 1011$).



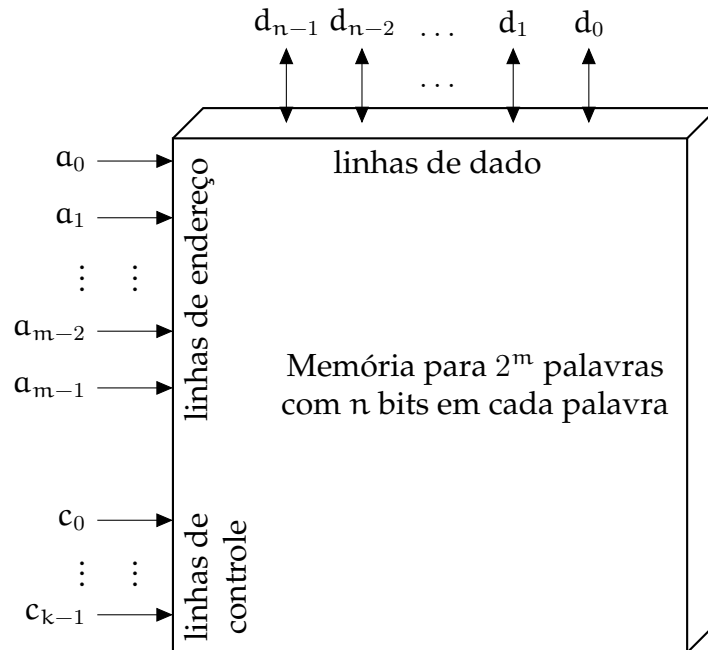
Para saber mais

O capítulo 9 do livro do Floyd apresenta mais detalhes sobre registradores de deslocamento.

2 Memórias

No contexto deste curso, *memória* é qualquer circuito que permita o armazenamento de informação digital.

Um registrador de armazenamento (visto na aula 12 e, em sua versão síncrona, na aula 14) é um tipo de memória. Até mesmo um latch ou flip-flop do tipo D é uma memória (para apenas 1 bit). Porém, é mais usual a aplicação do termo “memória” a um circuito digital cuja interface é similar à organização abaixo.



Exemplo: a Figura 1 mostra um circuito interno de uma memória para 4 palavras de n bits que foi construída usando-se registradores síncronos de n bits, um mux 4×1 de n bits e um decodificador 2×4 .

A memória da Figura 1 possui linhas separadas para entrada e saída de dados (entrada: d_{n-1}, \dots, d_0 ; saída: D_{n-1}, \dots, D_0), duas linhas de endereço (a_1, a_0) que selecionam qual registrador será lido ou escrito, e duas linhas de controle (*clock* C_k e bit de operação Op , que indica se um registrador será lido quando $Op = 0$, ou escrito quando $Op = 1$).

A memória deste exemplo é caracterizada como uma memória *estática, síncrona, volátil* e de *leitura/escrita*.

- *Estática:* uma vez que um dado é armazenado em uma posição da memória, ele é mantido até que uma operação de escrita o apague, ou até que a alimentação elétrica seja desligada.
- *Síncrona:* as operações na memória (neste caso, apenas a escrita) são sincronizadas por meio de um sinal de clock externo.
- *Volátil:* os dados armazenados serão perdidos caso a alimentação externa seja desligada.
- *De leitura/escrita:* são permitidas as operações de leitura e de escrita.

Contraste com o extremo oposto:

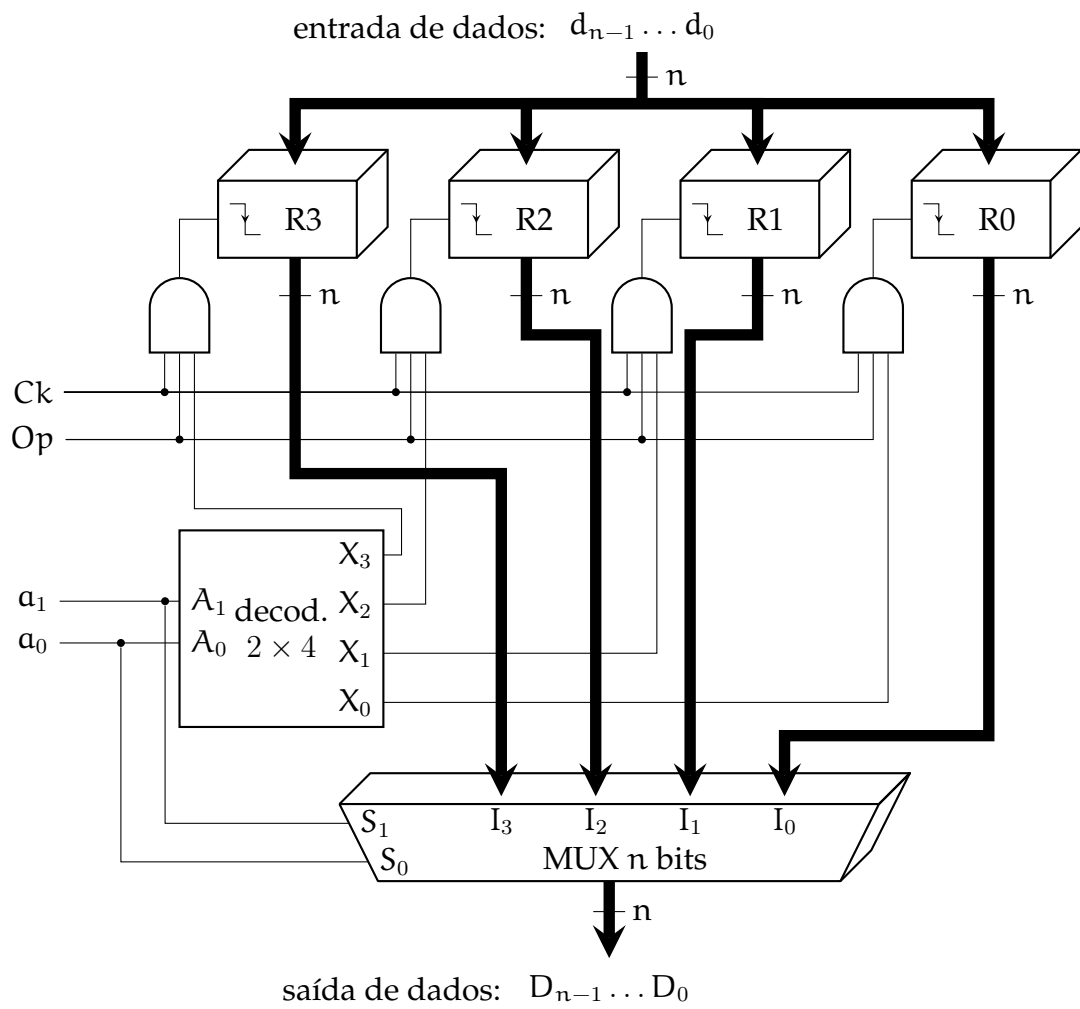


Figura 1: Memória para 4 palavras de n bits cada uma.

- *Dinâmica*: após a escrita do dado, ele será “esquecido” (perdido) após um certo tempo, mesmo que a alimentação elétrica seja mantida. Para que os dados não se percam, é necessário que a reescrita dos dados (*refresh*) seja feita periodicamente.
- *Assíncrona*: operações na memória não dependem de um *clock* externo.
- *Não-Volátil*: os dados são mantidos mesmo que a alimentação elétrica seja desligada.
- *Apenas de leitura* (ROM = *Read-Only Memory*): somente é permitida a leitura de dados pré-gravados.

2.1 Classificação de memórias

- Quanto à necessidade de *refresh*:
Estática (não necessita de *refresh*) × Dinâmica (necessita)
- Quanto à volatilidade dos dados:
Volátil (dados perdidos após desligamento da energia) × Não-volátil
- Quanto ao sincronismo:
Síncrona (necessita de *clock* externo) × assíncrona
- Quanto à possibilidade de reescrita/apagamento:
 - Somente leitura (ROM = *Read-Only Memory*)
 - WORM = *Write Once, Read Many*
 - Regravável (para escrever, é preciso apagar a memória inteira primeiro)
 - De leitura/escrita (R/W)
- Quanto ao método de acesso:
 - aleatório ou imediato (RAM = *Random Access Memory*): cada endereço pode ser acessado (lido ou escrito) imediatamente após a requisição.
 - sequencial: para ler ou escrever em um determinado endereço, é necessário acessar primeiramente todos os endereços da memória que o antecedem.
 - direto: para um dado um endereço *A*, acessa-se de modo imediato uma *vizinhança* desse endereço e, em seguida, é feita uma busca sequencial dentro da vizinhança para se encontrar o endereço *A*.
 - associativo: o acesso aos dados é feito não por endereço, mas por comparação com parte do seu conteúdo.
- Quanto à tecnologia: semicondutora (transistores), magnética, ótica, magneto-ótica, eletromecânica (relés, memória de linha de retardo de mercúrio, *delay line memory*), etc.

2.2 Exemplos de memórias

- Disco rígido (HD): estática, não-volátil, leitura/escrita, acesso direto, magnética.

- Pen-drive: estática, não-volátil, leitura/escrita¹, acesso direto, semicondutora.
- Fita de backup: não-volátil, leitura/escrita, acesso sequencial, magnética.
- CD/DVD/Blu-ray: não-volátil, ROM, acesso direto, óptica.
- CD-ROM/DVD-ROM/BD-ROM: não-volátil, WORM, acesso direto, óptica.
- CD-RW/DVD-RW/BD-RW: não-volátil, regravável, acesso direto, óptica.
- DIMM SDRAM (vulgarmente chamada de “memória RAM de PC”): dinâmica, síncrona, volátil, leitura/escrita, acesso imediato (RAM) semicondutora.
- memória cache: (tipicamente) estática, síncrona, volátil, leitura/escrita, acesso associativo, semicondutora.

Para saber mais

O capítulo 10 do livro do Floyd apresenta mais detalhes sobre memórias.

Referência

FLOYD, Thomas L. *Sistemas Digitais: Fundamentos e Aplicações*. 9ª edição. Bookman, 2007.

¹Sobre a classificação leitura/escrita para pen-drives: os dispositivos conhecidos atualmente com esse nome são feitos de um tipo de memória não-volátil chamado *flash*, que é regravável, e mais uma porção de memória RAM volátil, porém de leitura/escrita. A memória *flash* é um tipo de memória bem peculiar, organizada em “células” regraváveis. Para que uma célula possa ser reescrita, ela precisa ser primeiramente apagada por meio de um pulso elétrico de grande intensidade e curta duração (daí o nome “*flash*”).