

Dispositivos de Memória

SD65A – Sistemas Digitais

Curso: Engenharia Elétrica

Turma: E65A

Professor: Layhon Santos
layhonsantos@utfpr.edu.br

Dispositivos de memória

- Tecnologias de memória:

Tecnologias

Não-volátil

Volátil

Semicondutora

Não semicondutora

ROM

EPROM

E²PROM

FLASH

Magnética

Ótica

Pendrive

Solid-State Drive (SSD)

HardDisk (HD)

CD-ROM



Dispositivos de memória

- **Memória Não Volátil:**
 - **Armazenamento Óptico :**
CD-ROM

680 MB

A **memória apenas de leitura em disco compacto (CD-ROM)** consiste em um disco de 120 mm de diâmetro com uma cobertura de três camadas: um plástico policarbonato na parte inferior, uma fina folha de alumínio para proporcionar reflexão e uma cobertura superior de verniz para proteção.



CD-ROM

Dispositivos de memória

- **Memória Não Volátil:**
 - **Armazenamento Óptico :**
CD-ROM

680 MB

Gravação:

Os dados são pré-gravados na fábrica na forma de minuciosos entalhes denominados *pits* (um pequeno fosso) e a área plana ao redor dos *pits* é chamada de *lands* (terra).

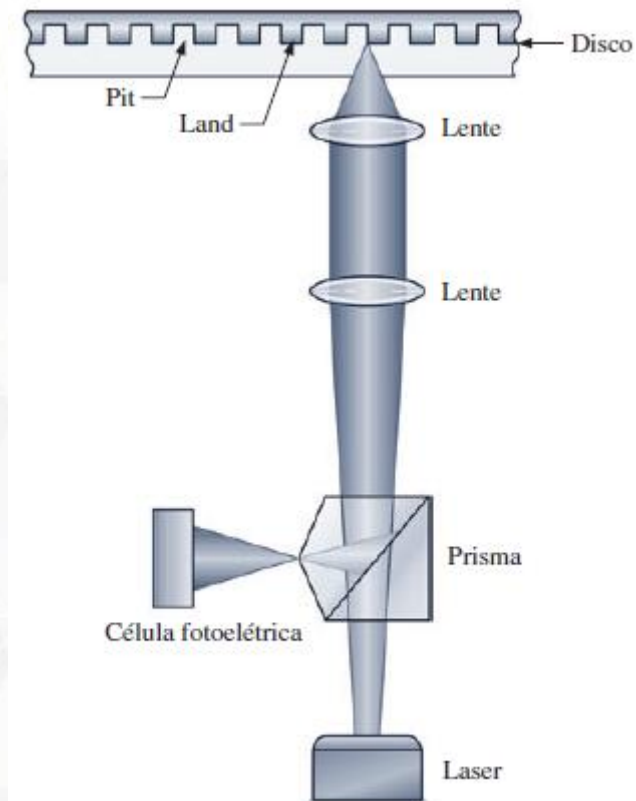


Diagrama Simplificado do mecanismo de leitura

Dispositivos de memória

- **Memória Não Volátil:**
 - **Armazenamento Óptico :**
CD-ROM

680 MB

Leitura:

A luz do laser refletida de um *pit* é 180° defasada da luz refletida pelos *lands*. À medida que o disco gira, o estreito feixe de laser choca contra uma série de *pits* e *lands* de comprimentos que variam, e um fotodiodo detecta a diferença na luz refletida. O resultado é uma série de 1s e 0s que correspondem à configuração de pits e lands ao longo da trilha.

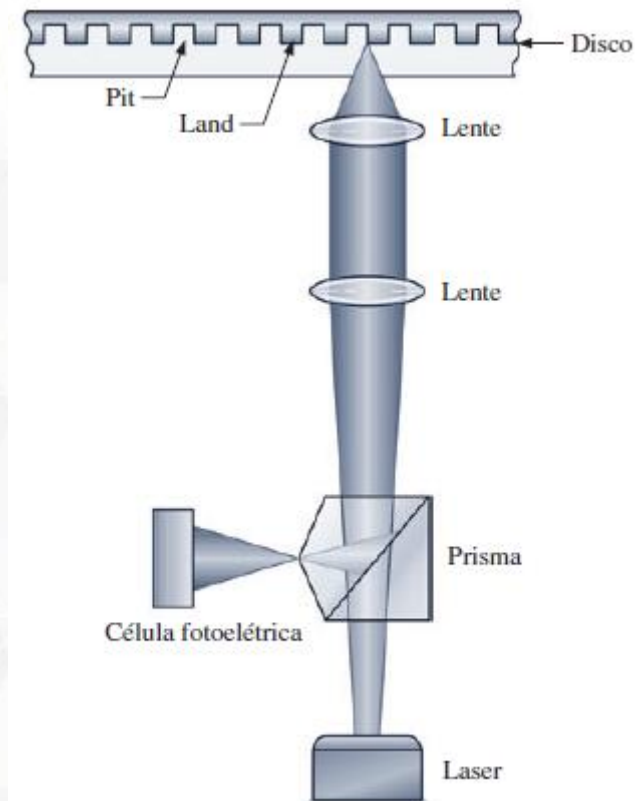


Diagrama Simplificado do mecanismo de leitura

Dispositivos de memória

- **Memória Não Volátil:**
 - **Armazenamento Óptico :**

700 MB

O **CD-R** tem uma trilha em espiral semelhante ao CD-ROM, mas em vez de imprimir os entalhes mecanicamente no disco para representar os dados, o CD-R usa um laser para “queimar” pontos microscópicos numa **tintura** orgânica superficial.



CD-R

Dispositivos de memória

- **Memória Não Volátil:**
 - **Armazenamento Óptico :**
CD-ROM -> CD-R -> CD-RW

700 MB

Em vez de uma camada de gravação baseada numa tintura como no CD-R, o **CD-RW** normalmente usa um composto cristalino com uma propriedade especial.

Quando ele é aquecido a uma certa **temperatura**, ele se torna **cristalino** quando esfria; mas se for aquecido a uma temperatura maior, ele derrete e se torna **amorfo** quando esfria.



Dispositivos de memória

- **Memória Não Volátil:**

- **Armazenamento Óptico :**

DVD-ROM -> DVD-R -> DVD-RW

4.7 GB single-layer

8.5 GB dual-layer

Originalmente DVD era uma abreviação para Digital Video Disk (Disco de Vídeo Digital), mas eventualmente veio representar **Digital Versatile Disk**.

A principal diferença entre o CDROM e o DVD-ROM é que o CD é de face única, enquanto o DVD tem **dados nos dois lados**. Além dos discos DVD serem de dupla face, existem também discos com **múltiplas camadas**, provendo capacidades de armazenamento de dezenas de gigabytes.

Para acessar todas as camadas, o feixe de laser necessita **reajustar o foco** ao passar de uma camada para outra.



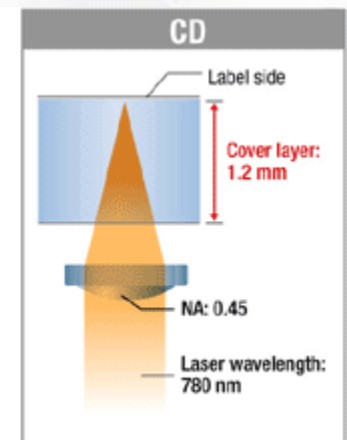
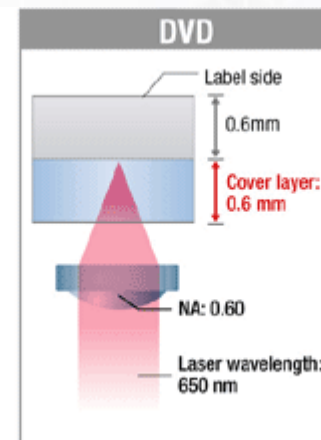
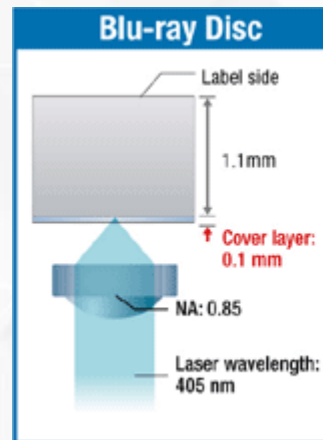
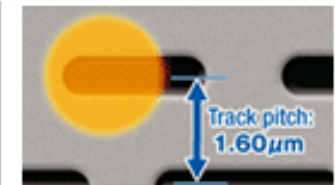
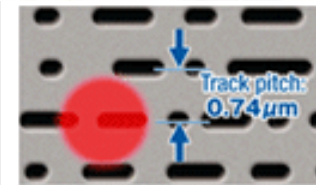
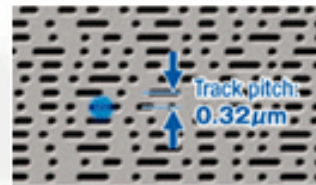
Dispositivos de memória

- **Memória Não Volátil:**
 - **Armazenamento Óptico :**
Blu-Ray

25 GB single-layer

50 GB dual-layer

Enquanto as tecnologias atuais de DVD dependem de um laser vermelho para ler e gravar dados, o **Blue-ray usa um laser azul-violeta**. Essa evolução leva a um maior número de pistas, bem como layers, justificando o maior número de dados armazenados

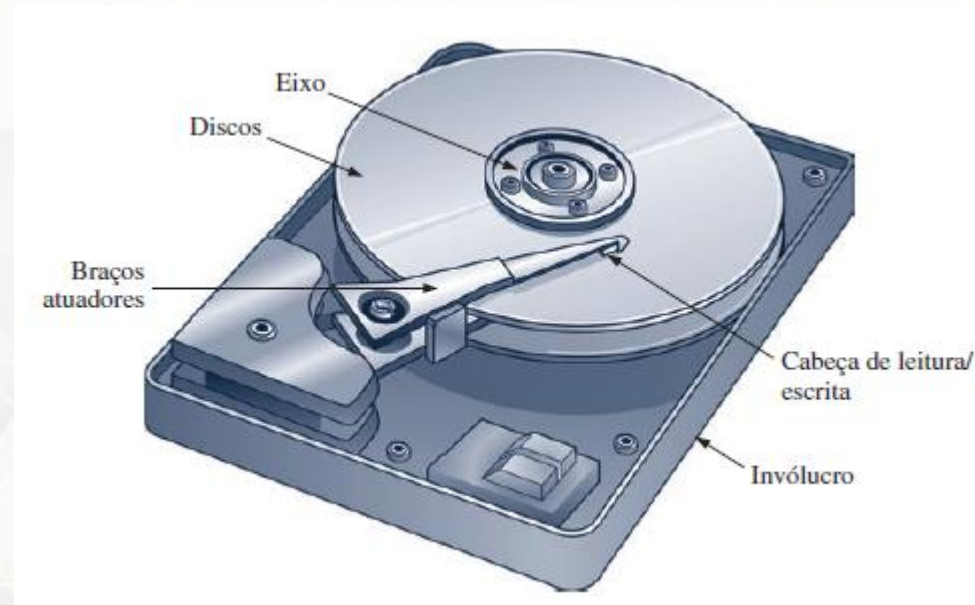
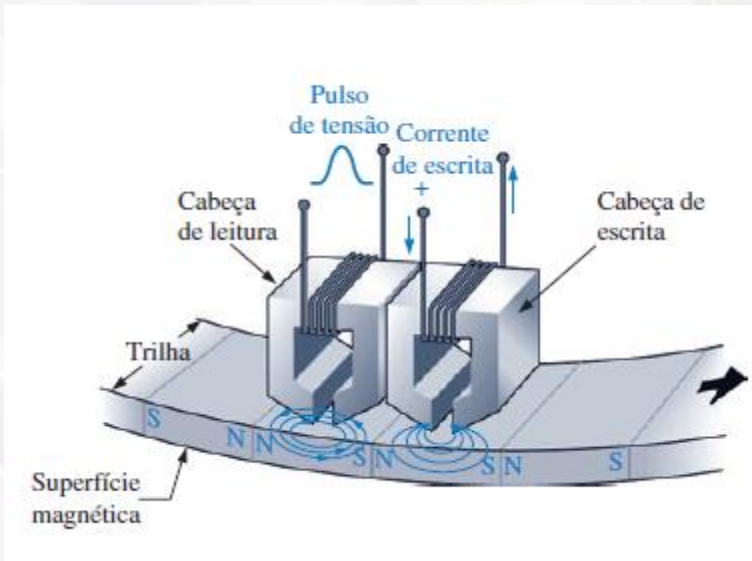


Dispositivos de memória

- **Memória Não Volátil:**

- **Armazenamento Magnético:**

Os primeiros Discos Rígidos (HD – *Hard Disk*) eram baseados em princípios magnéticos.

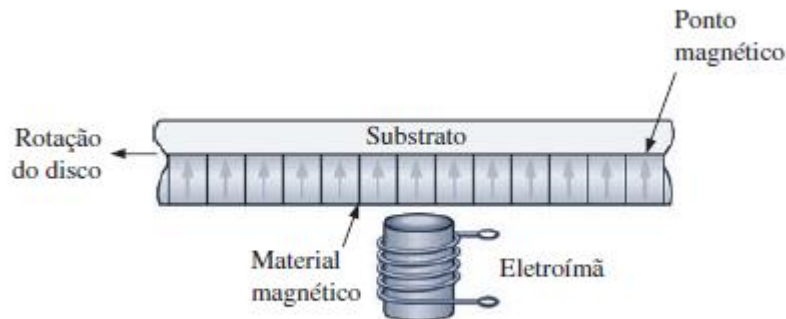


Dispositivos de memória

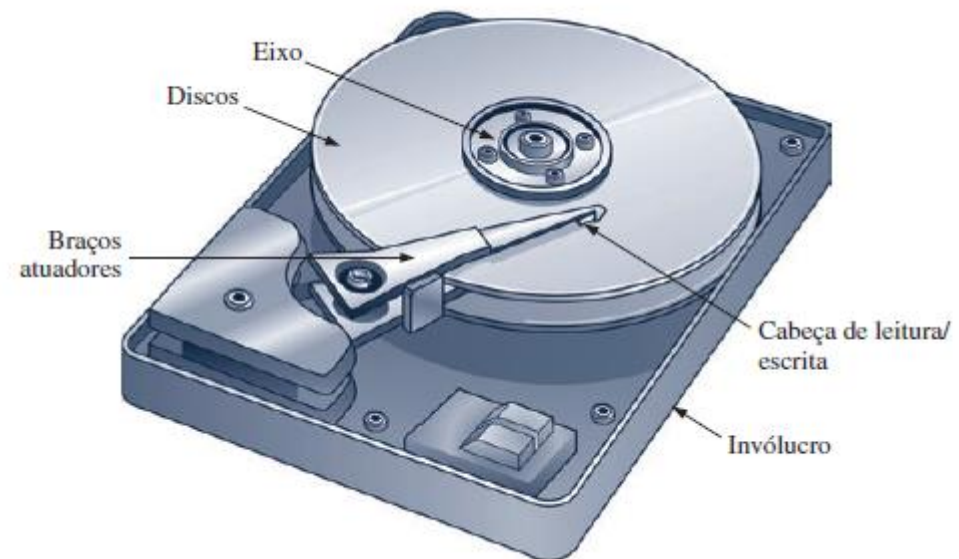
- **Memória Não Volátil:**

- **Armazenamento Magneto-Óptico:**

Discos Rígidos (HD – *Hard Disk*) atuais utilizam princípios magneto-ótico (MO). A diferença básica entre um disco puramente magnético e um disco MO é que a cobertura magnética usada no disco MO **requer um aquecimento** para alterar a polarização magnética. Portanto, a tecnologia MO é **extremamente estável** à temperatura ambiente, fazendo dos dados inalteráveis.



(a) Disco não-gravado

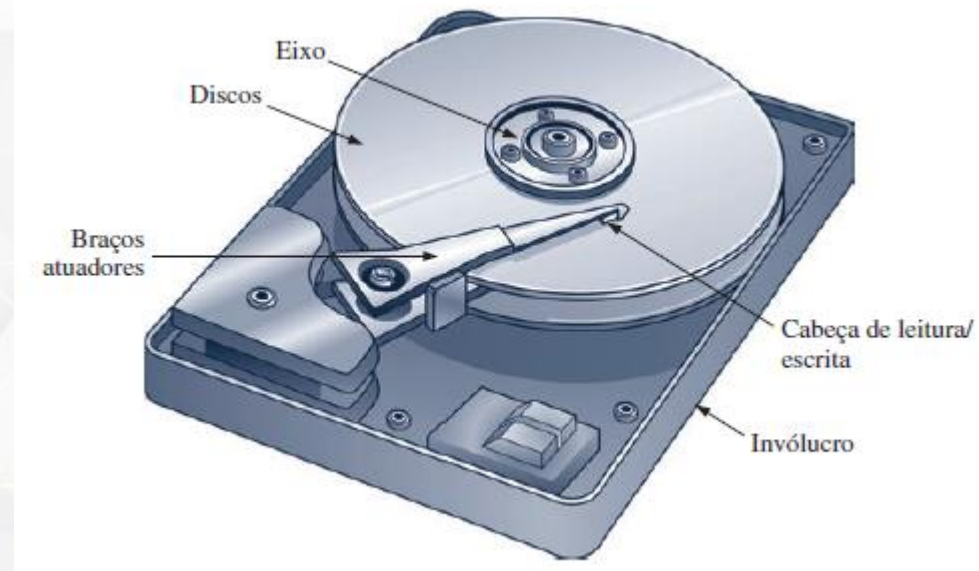
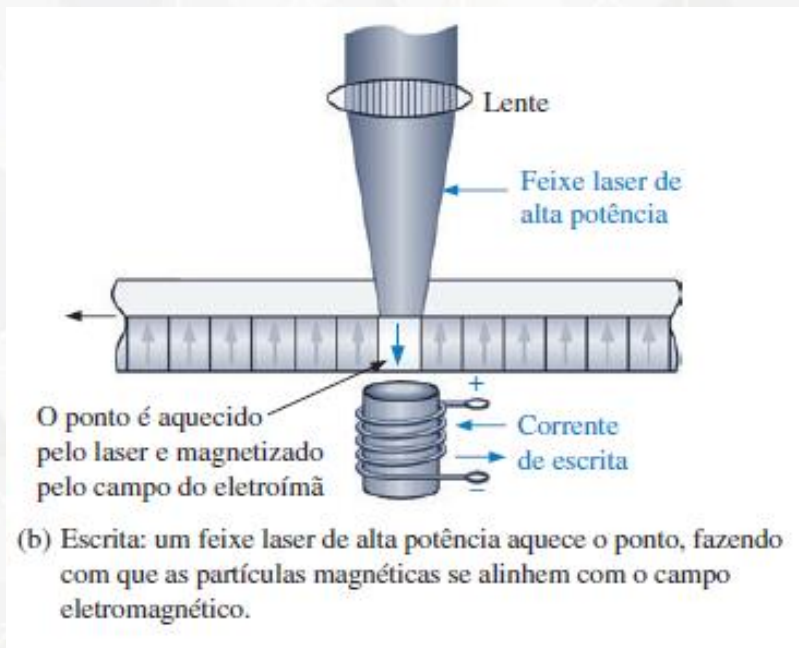


Dispositivos de memória

- **Memória Não Volátil:**

- **Armazenamento Magnético-Óptico:**

Discos Rígidos (HD – *Hard Disk*) atuais utilizam **princípios magneto-ótico (MO)**. A diferença básica entre um disco puramente magnético e um disco MO é que a cobertura magnética usada no disco MO **requer um aquecimento** para alterar a polarização magnética. Portanto, a tecnologia MO é **extremamente estável** à temperatura ambiente, fazendo dos dados inalteráveis.

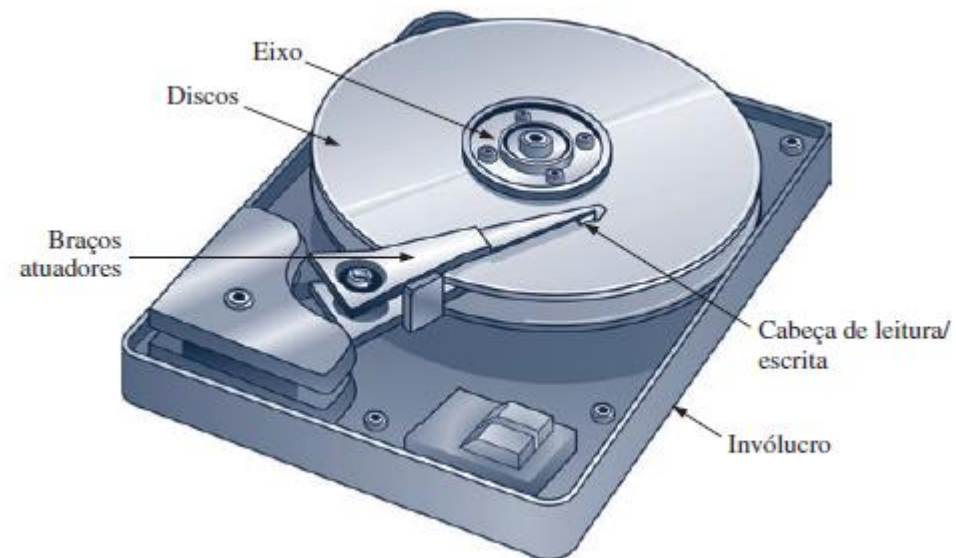
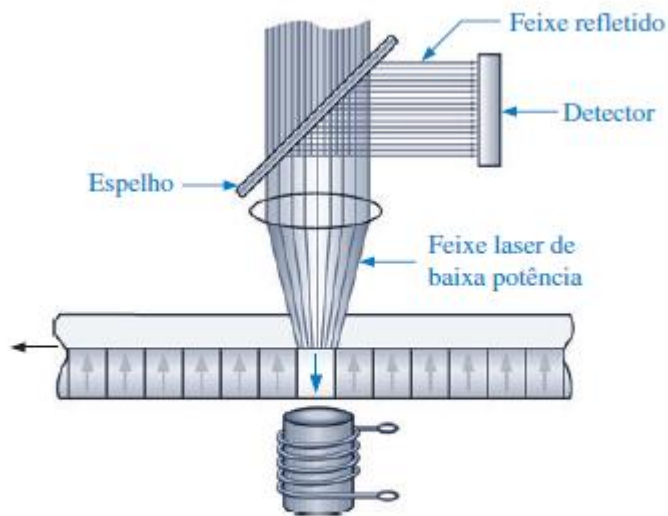


Dispositivos de memória

- **Memória Não Volátil:**

- **Armazenamento Magnético-Óptico:**

Discos Rígidos (HD – *Hard Disk*) atuais utilizam **princípios magneto-ótico (MO)**. A diferença básica entre um disco puramente magnético e um disco MO é que a cobertura magnética usada no disco MO **requer um aquecimento** para alterar a polarização magnética. Portanto, a tecnologia MO é **extremamente estável** à temperatura ambiente, fazendo dos dados inalteráveis.



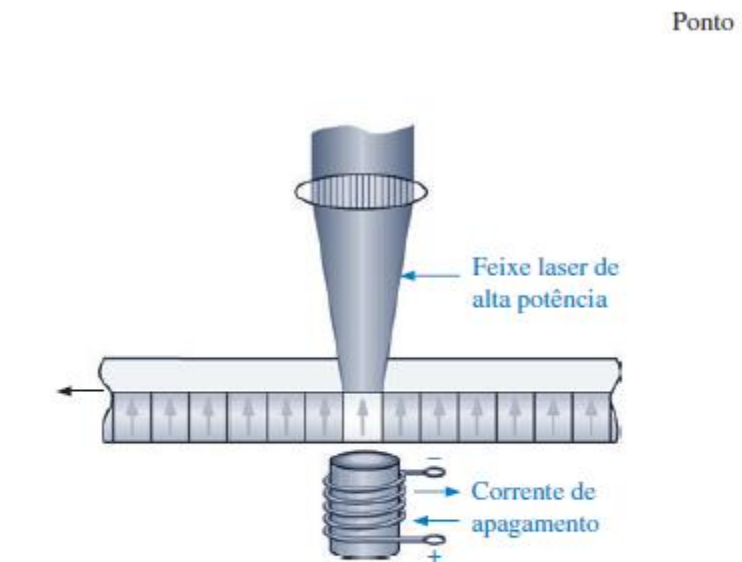
(c) Leitura: um feixe laser de baixa potência reflete das partículas magnéticas polarizadas reversamente e a sua polarização muda. Se as partículas não estiverem reversamente polarizadas, a polarização do feixe refletido não se altera.

Dispositivos de memória

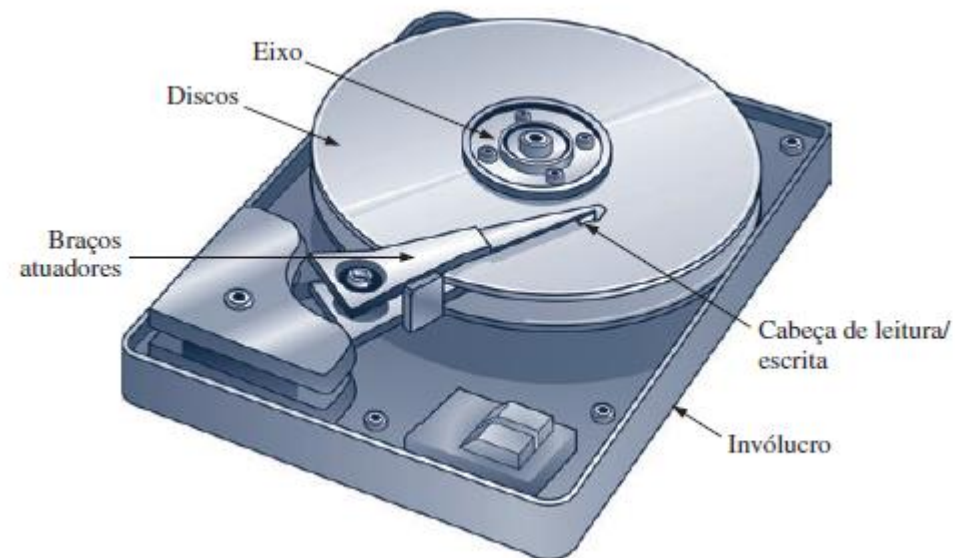
- **Memória Não Volátil:**

- **Armazenamento Magnético-Óptico:**

Discos Rígidos (HD – *Hard Disk*) atuais utilizam **princípios magneto-óptico (MO)**. A diferença básica entre um disco puramente magnético e um disco MO é que a cobertura magnética usada no disco MO **requer um aquecimento** para alterar a polarização magnética. Portanto, a tecnologia MO é **extremamente estável** à temperatura ambiente, fazendo dos dados inalteráveis.



(d) Apagamento: o campo eletromagnético é invertido conforme um feixe laser de alta potência aquece o ponto, fazendo com que as partículas magnéticas retornem para a polaridade original.

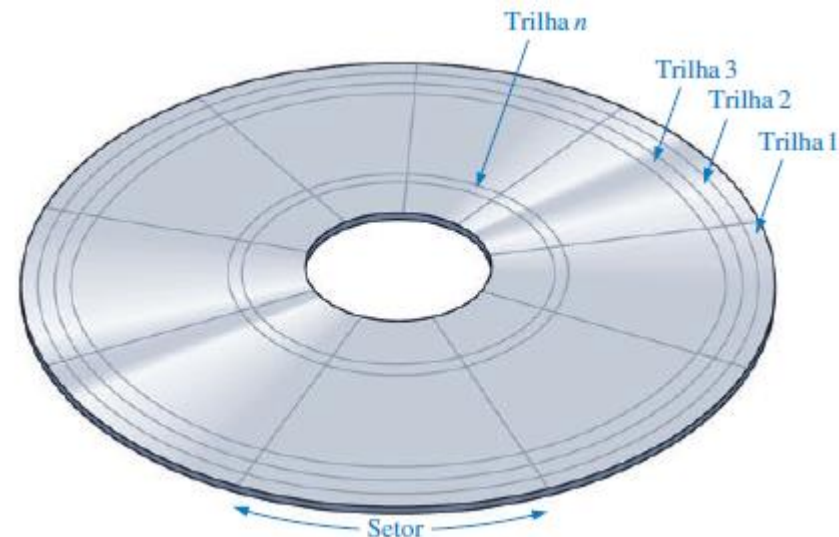


Dispositivos de memória

- **Memória Não Volátil:**
 - **Armazenamento Magnético-Óptico :**

tempo de busca é a duração média para que o braço de acesso se posicione sobre uma trilha particular. Tipicamente, os drivers de discos rígidos têm um tempo médio de busca de vários milissegundos, dependendo do drive em particular.

O **período de latência** é o tempo para que o setor desejado gire sob a cabeça uma vez que esta esteja posicionada na trilha desejada.

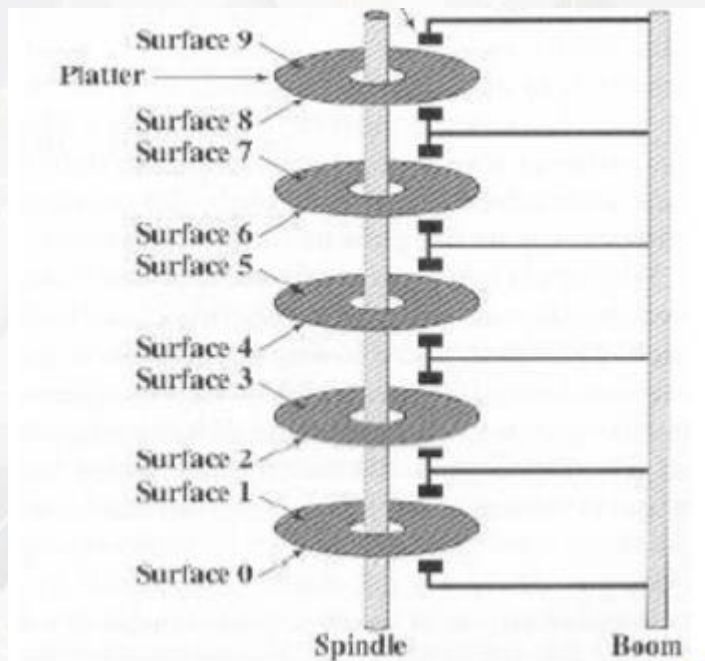


Dispositivos de memória

- **Memória Não Volátil:**
 - **Armazenamento Magnético-Óptico :**

O avanço dos HDs para maiores capacidades de armazenamento envolve a utilização de **platters** que fazem os Hds se tronarem multicamadas. Ao longo do tempo os Hds saíram de **160GB** para **6TB**.

160 GB → 6 TB



Dispositivos de memória

- Tecnologias de memória:

Tecnologias

Não-volátil

Volátil

Semicondutora

Não semicondutora

ROM

EPROM

E²PROM

FLASH

Magnética

Ótica

Pendrive

Solid-State Drive (SSD)

HardDisk (HD)

CD-ROM



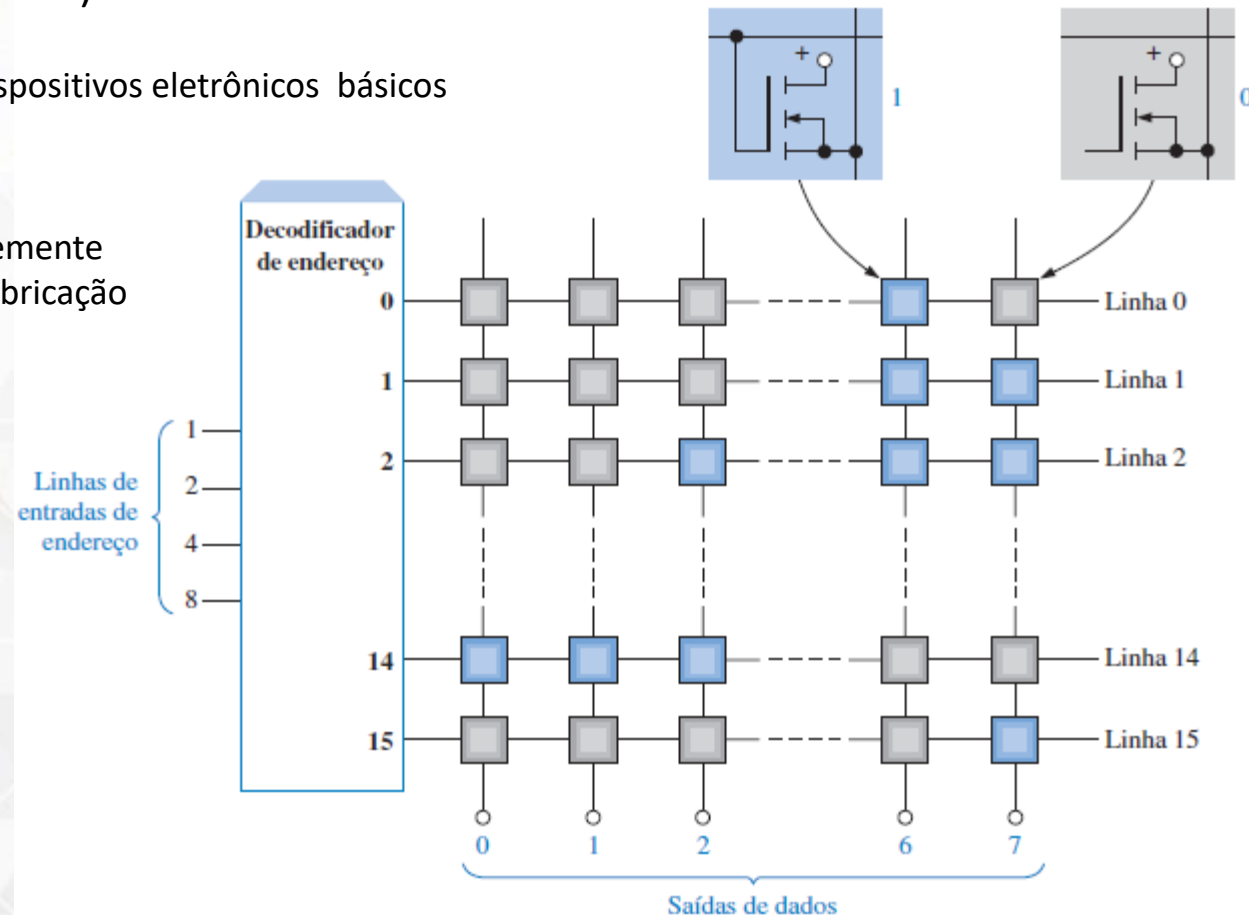
Dispositivos de memória

- **Memória Não Volátil:**

- **Memória Semicondutora:**

Read-Only Memory (ROM)

- Estrutura baseada em dispositivos eletrônicos básicos (MOSFET);
- Programada permanentemente durante o processo de fabricação



Uma representação de um arranjo de uma ROM de 16x8 bits.

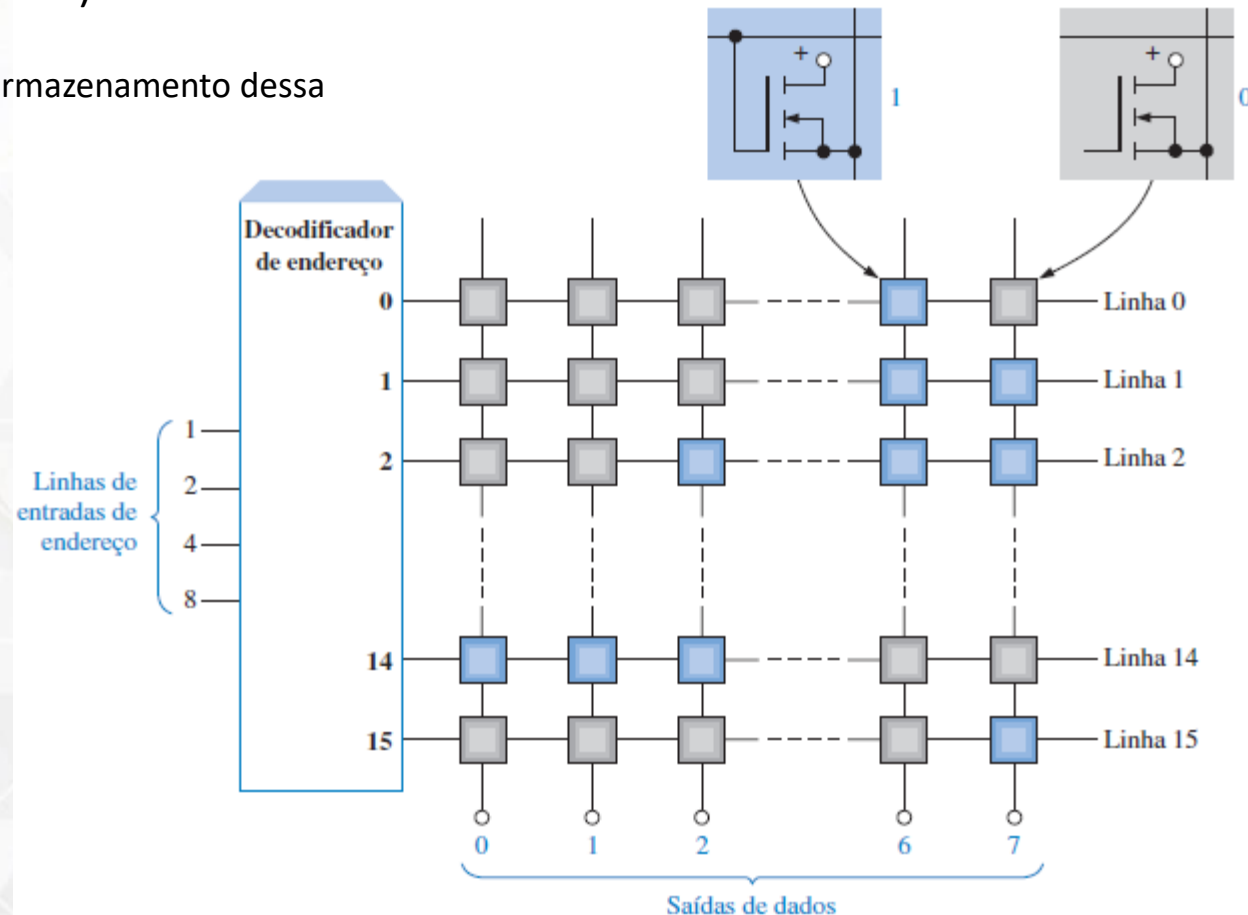
Dispositivos de memória

- **Memória Não Volátil:**

- **Memória Semicondutora:**

Read-Only Memory (ROM)

- Qual é a capacidade de armazenamento dessa memória?



Uma representação de um arranjo de uma ROM de 16x8 bits.

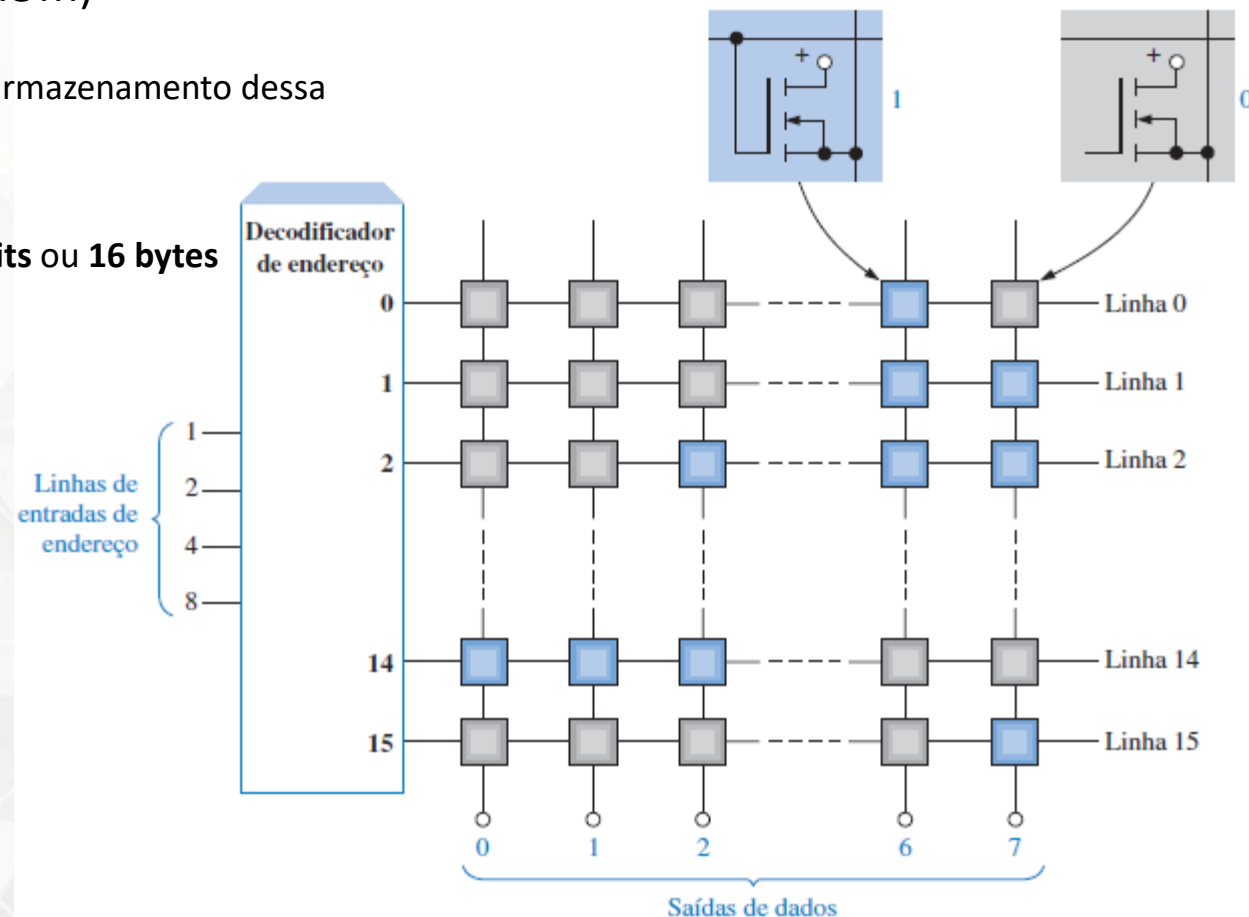
Dispositivos de memória

- **Memória Não Volátil:**

- **Memória Semicondutora:**

Read-Only Memory (ROM)

- Qual é a capacidade de armazenamento dessa memória?
 - ROM de $16 \times 8 =$ sua **capacidade** total é **128 bits** ou **16 bytes**



Uma representação de um arranjo de uma ROM de 16x8 bits.

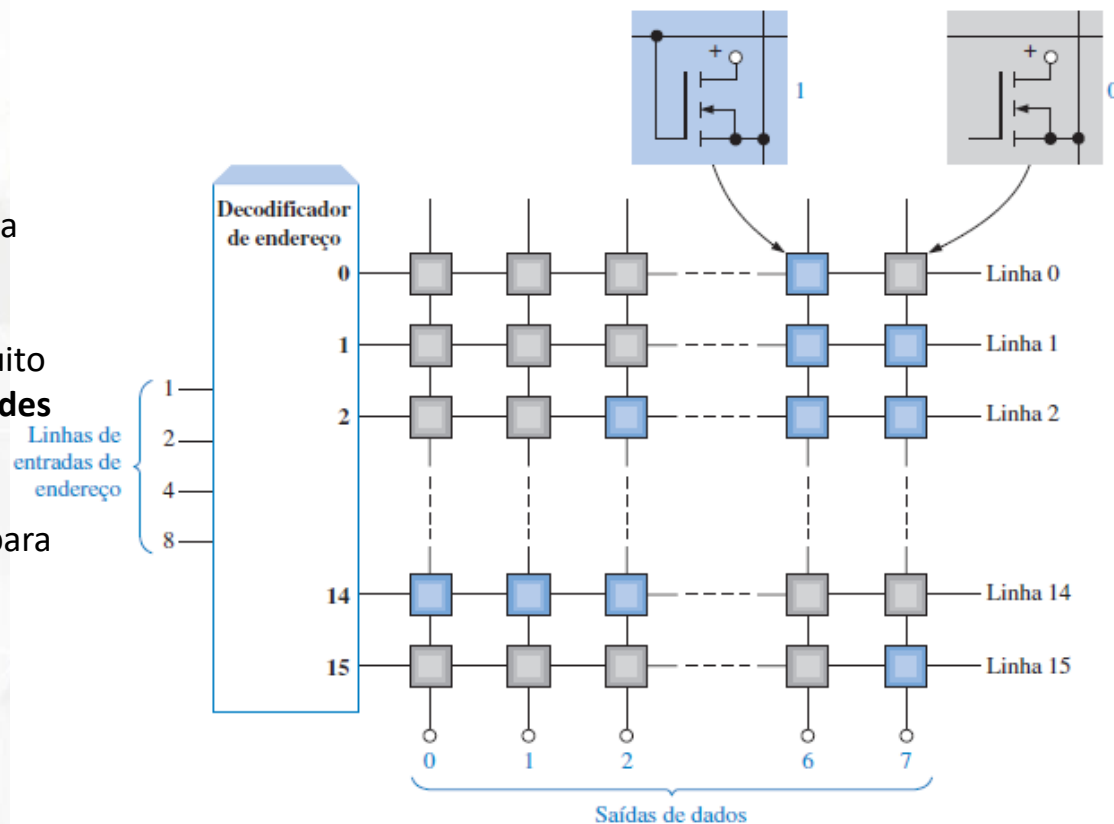
Dispositivos de memória

- **Memória Não Volátil:**

- **Memória Semicondutora:**

Read-Only Memory (ROM)

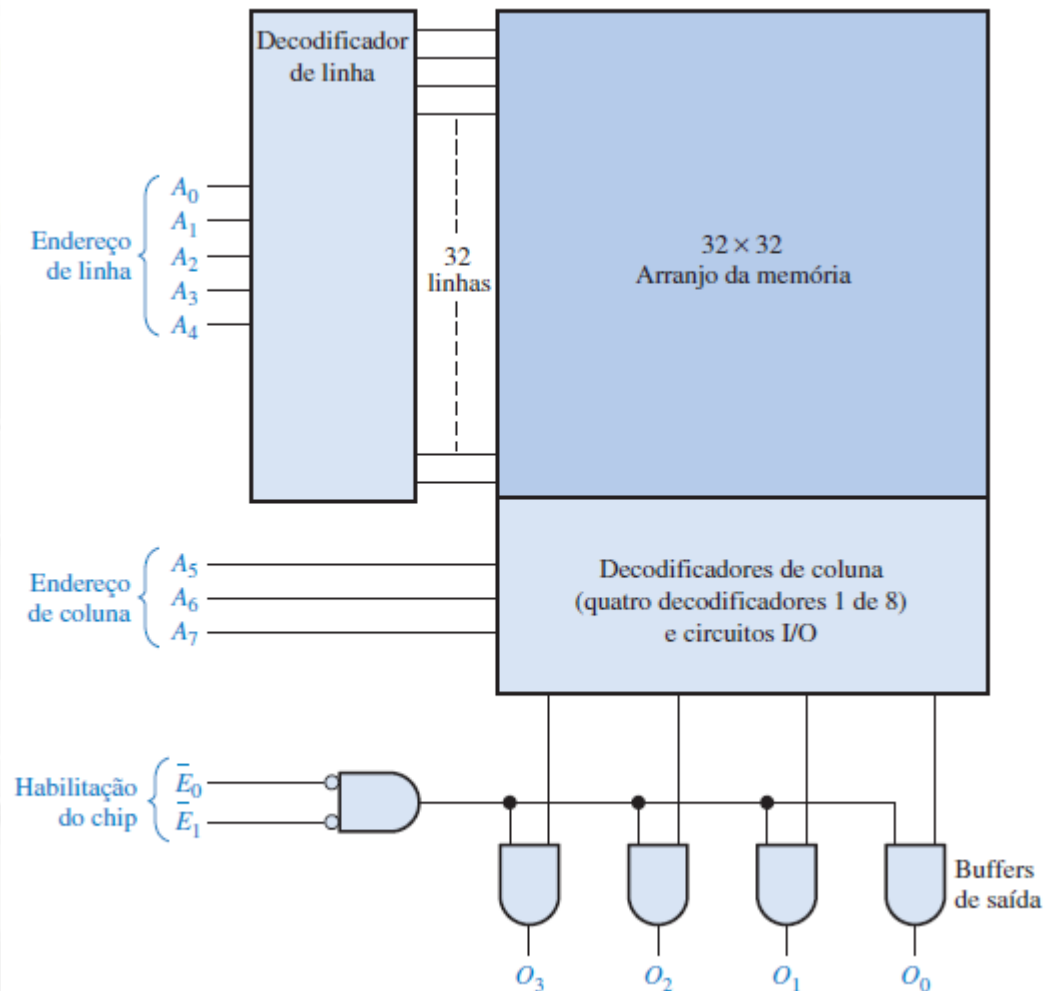
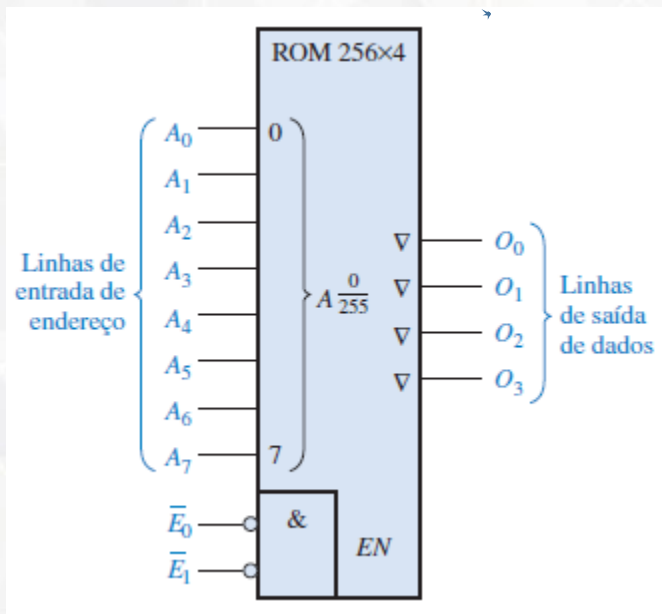
- **Não permite alteração** da informação armazenada.
- **Não perde a informação** quando a alimentação é retirada.
- Vantagem: **custo** de produção muito **baixo** quando produzida em **grandes quantidades**.
- Desvantagem: **sem** flexibilidade para **alteração** do conteúdo.



Uma representação de um arranjo de uma ROM de 16x8 bits.

Dispositivos de memória

- **Memória Não Volátil:**
 - **Memória Semicondutora:**
Read-Only Memory (ROM)
 - ROM Real

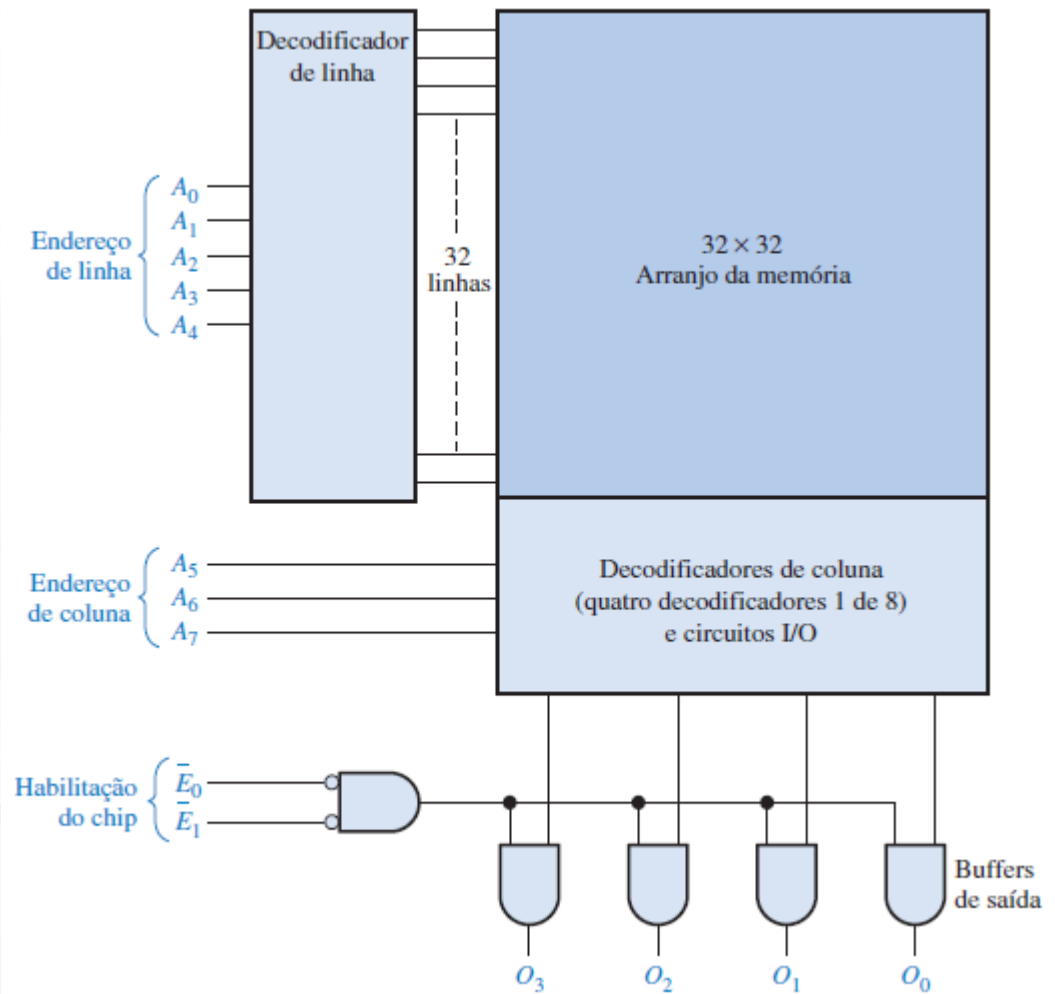
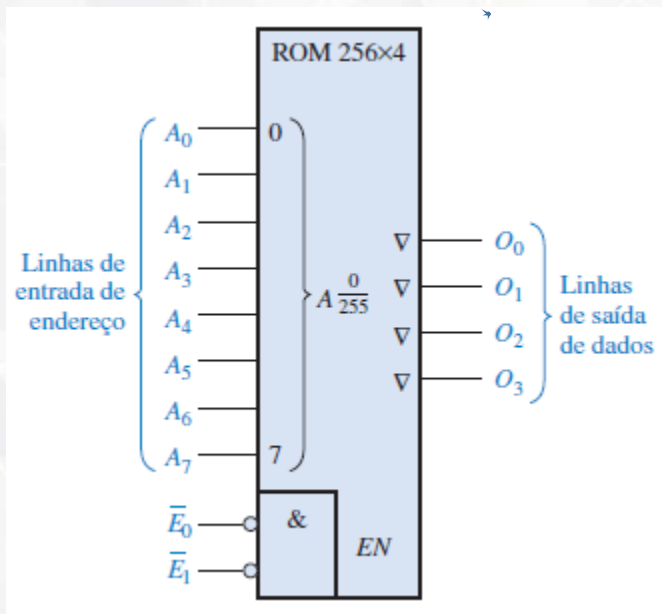


ROM de 1024 bits com organização de 256 X 4 baseada num arranjo 32 X 32.

Dispositivos de memória

- **Memória Não Volátil:**
 - **Memória Semicondutora:**
Read-Only Memory (ROM)

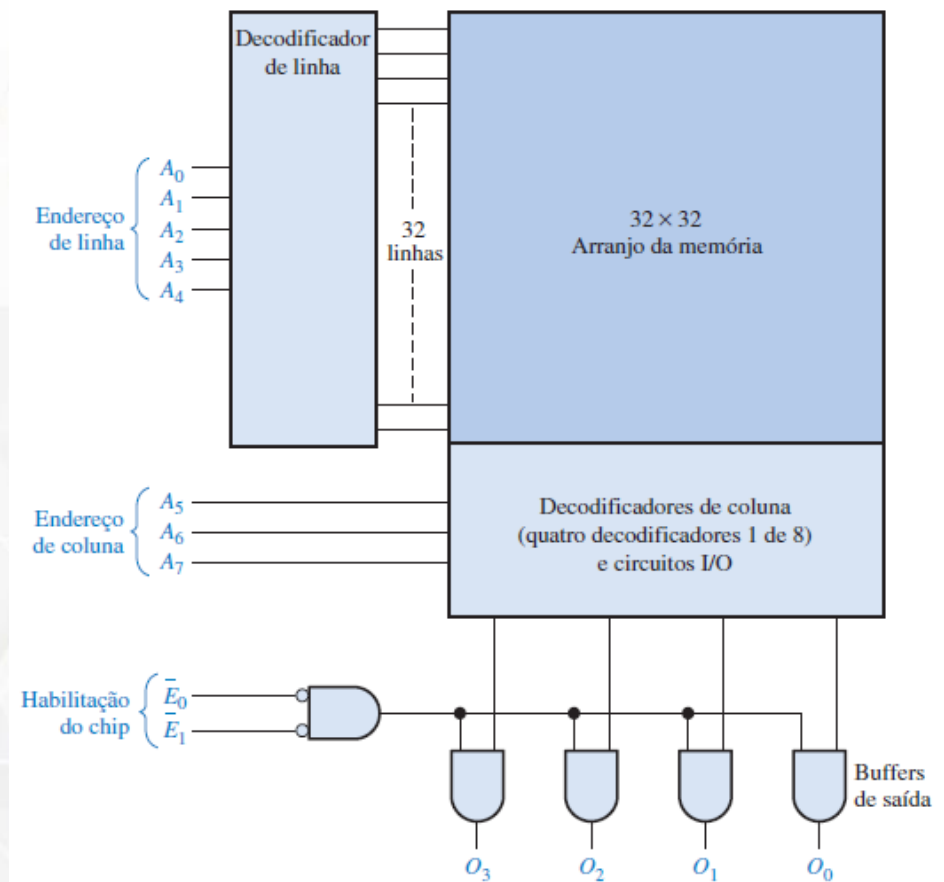
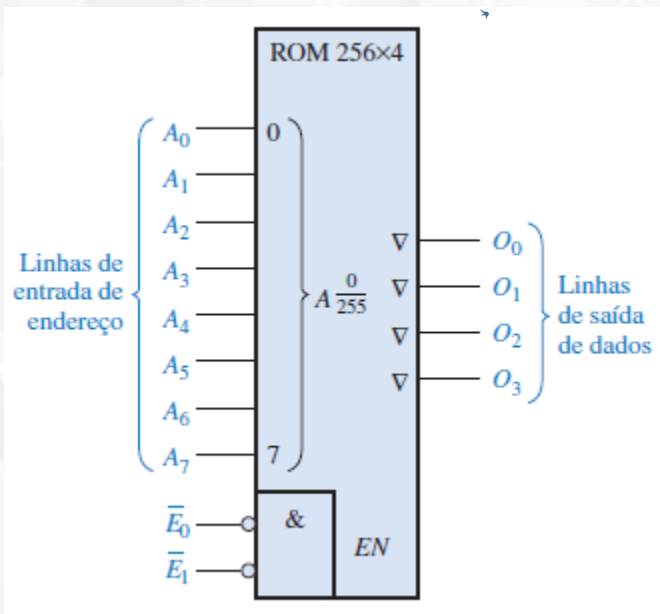
Qual é capacidade de armazenamento?



Dispositivos de memória

- **Memória Não Volátil:**
 - **Memória Semicondutora:**
Read-Only Memory (ROM)

Qual é capacidade de armazenamento?
Como o arranjo 32x32 permite saídas de 4Bits?



ROM de 1024 bits com organização de 256 X 4 baseada num arranjo 32 X 32.

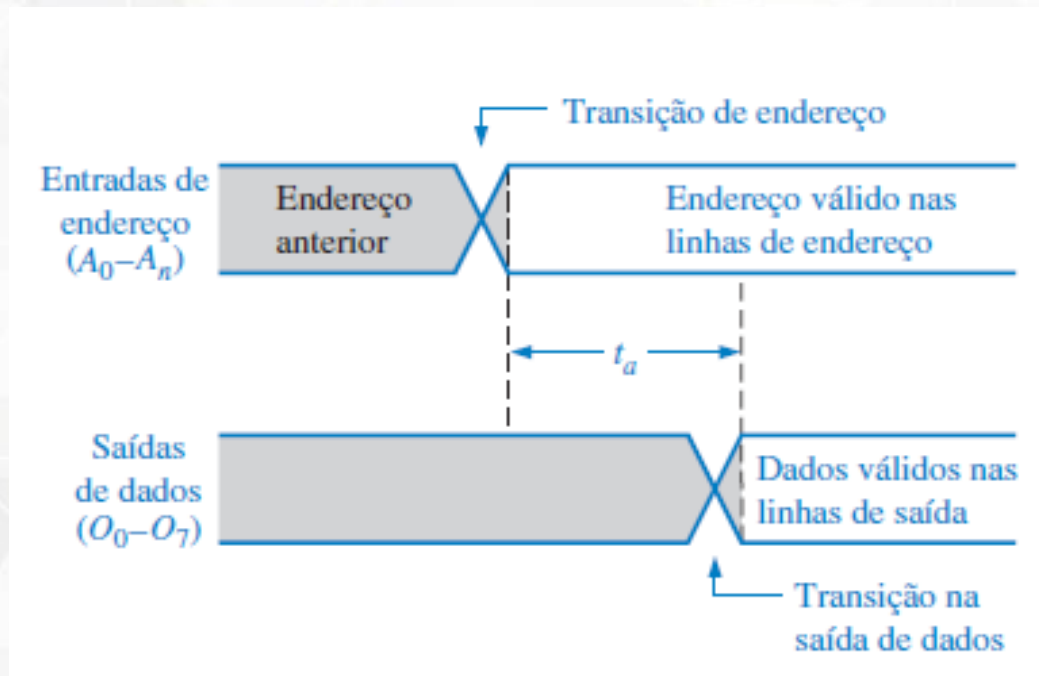
Dispositivos de memória

- **Memória Não Volátil:**

- **Memória Semicondutora:**

Read-Only Memory (ROM)

- O **tempo de acesso** (t_a) de uma ROM é o tempo a partir da aplicação de um endereço válido nas linhas de entrada até o surgimento de um dado válido na saída.



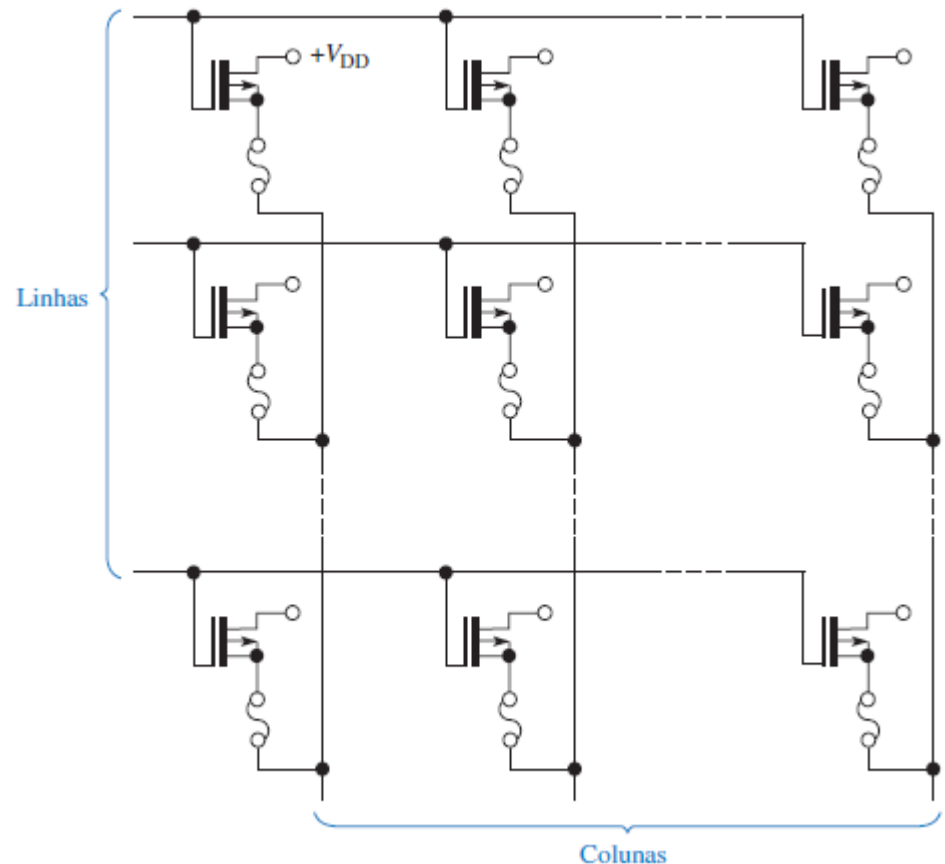
Dispositivos de memória

- **Memória Não Volátil:**

- **Memória Semicondutora:**

- Programable Read-Only Memory (PROM)

- No processo de programação, uma corrente suficiente é injetada na conexão a fusível para “queimar” e criar um **nível 0** armazenado.
 - A conexão a fusível é deixada intacta para o armazenamento de um **nível 1**.
 - **Tipos de fusível:**
 - a) Conexões **metálicas** são feitas de um material tal como o níquel-cromo;
 - b) Conexões com **silício**;
 - c) Conexões com duas **junções pn**;



Arranjo de uma PROM MOS com conexões a fusível (todos os drenos geralmente são conectados a VDD).

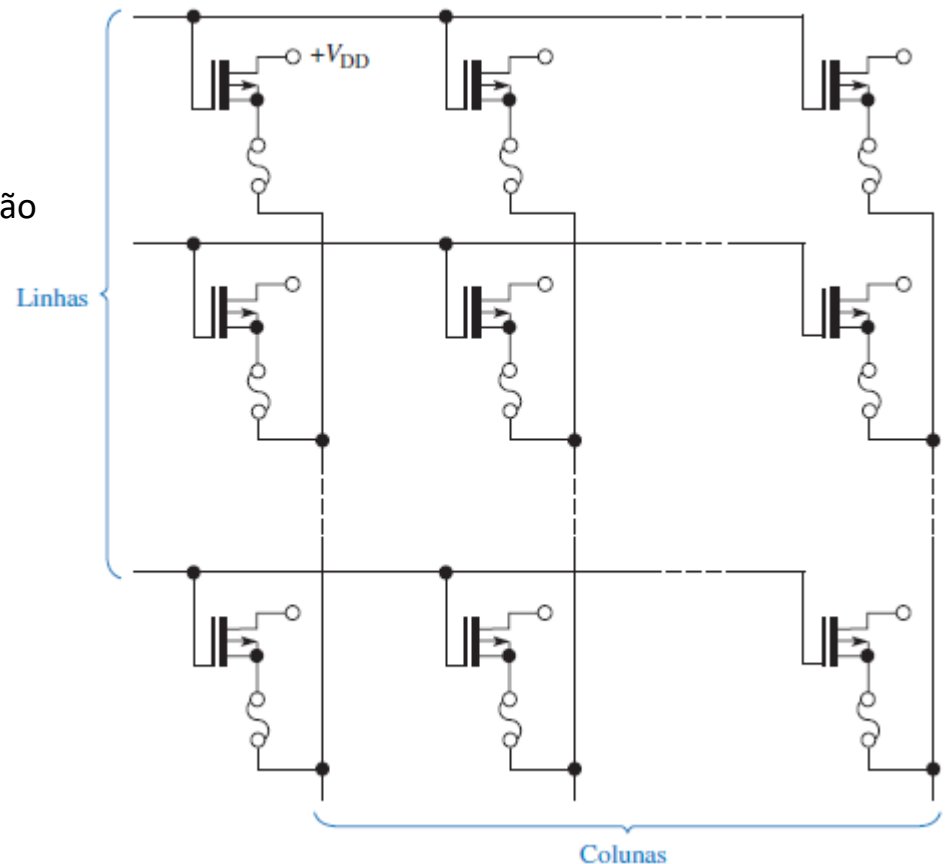
Dispositivos de memória

- **Memória Não Volátil:**

- **Memória Semicondutora:**

Programable Read-Only Memory (PROM)

- Semelhante a uma ROM, mas **permite uma única programação** por parte do utilizador.
- Vantagem: **redução de custos** na produção de circuitos em **pequenas quantidades**.
- Desvantagem: pouca flexibilidade (**uma única programação**).



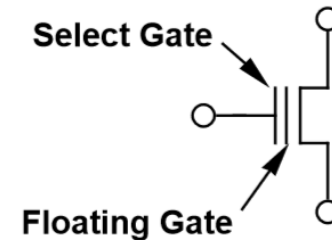
Arranjo de uma PROM MOS com conexões a fusível (todos os drenos geralmente são conectados a VDD).

Dispositivos de memória

- **Memória Não Volátil:**

- **Memória Semicondutora:**

Erasable Programmable Read-Only Memory (EPROM)



- Uma **EPROM** é uma PROM apagável.
- Sua célula básica se trata de um MOS com uma **porta flutuante** adicional.
- Dois tipos básicos:
 - a) apagável por ultravioleta (**UV EPROM**);
 - b) apagável eletricamente (**EEPROM**).
- Permite **múltiplas programações**.
- Para reprogramar o dispositivo, o **conteúdo deve ser apagado**.
- Vantagem: permite a **reutilização de ROM** durante a fase de desenvolvimento de um sistema digital.
- Desvantagem: para produções em grandes quantidades possui um **custo** significativamente **mais elevado** que uma ROM. **Menor densidade (bit/cm²)**.

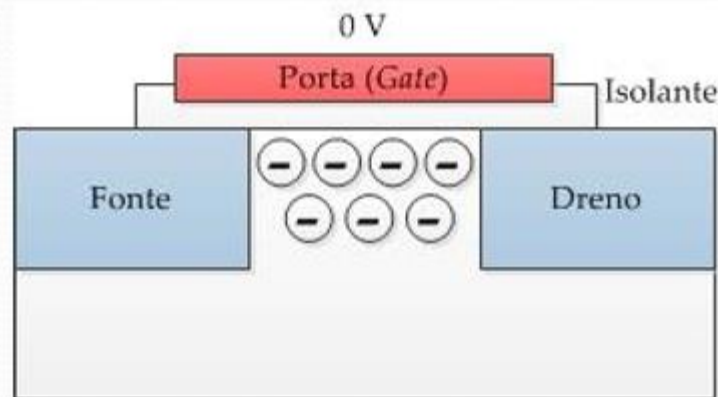
Dispositivos de memória

• Memória Não Volátil:

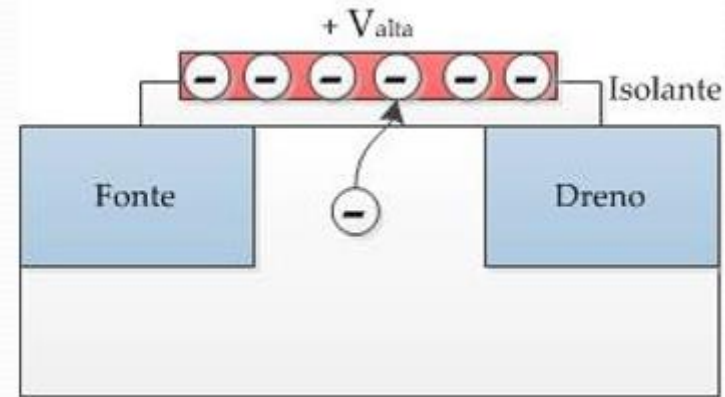
• Memória Semicondutora:

Erasable Programmable Read-Only Memory (EPROM)

- Célula de memória composta por um MOS com porta flutuante (não conectada eletricamente).
- Programação de uma célula de memória EPROM:
- **A aplicação de uma tensão** na porta de controle dentro da estrutura da porta flutuante permite o armazenamento ou a remoção de carga da porta flutuante.



MOS porta flutuante **descarregada**
Nível Lógico 1
(Muitos elétrons entre Fonte e dreno)



MOS porta flutuante **carregada**
Nível Lógico 0
(Poucos elétrons entre Fonte e dreno)

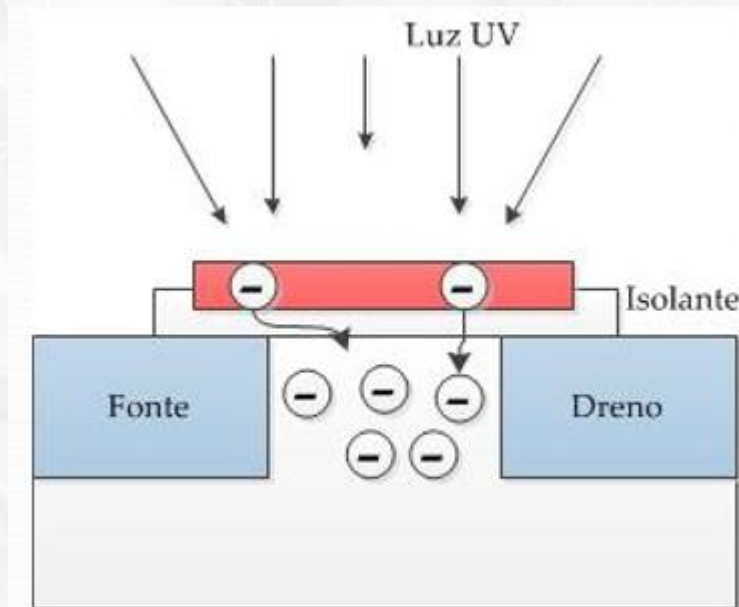
Dispositivos de memória

- **Memória Não Volátil:**

- **Memória Semicondutora:**

Erasable Programmable Read-Only Memory (EPROM)

- Célula de memória composta por um MOS com porta flutuante (não conectada eletricamente).
 - Apagando uma célula de memória **UV EPROM**



Luz UV faz elétrons se moverem de volta para a conexão Fonte-Dreno

Dispositivos de memória

- **Memória Não Volátil:**

- **Memória Semicondutora:**

Erasable Programmable Read-Only Memory (EPROM)

- Uma **EPROM** é uma PROM apagável.
 - Dois tipos básicos:
 - a) apagável por ultravioleta (**UV EPROM**);
 - b) apagável eletricamente (**EEPROM**).

UV EPROM



- Porta isolada no FET de uma EPROM ultravioleta é “flutuante” dentro de um material de óxido isolante. O processo de programação faz com que elétrons sejam removidos da porta flutuante.
- UV EPROMs após o apagamento, todos os bits são 1s. A luz ambiente normal contém a luz.
- Portanto, a janela transparente no encapsulamento tem que ser mantida protegida contra a luz.

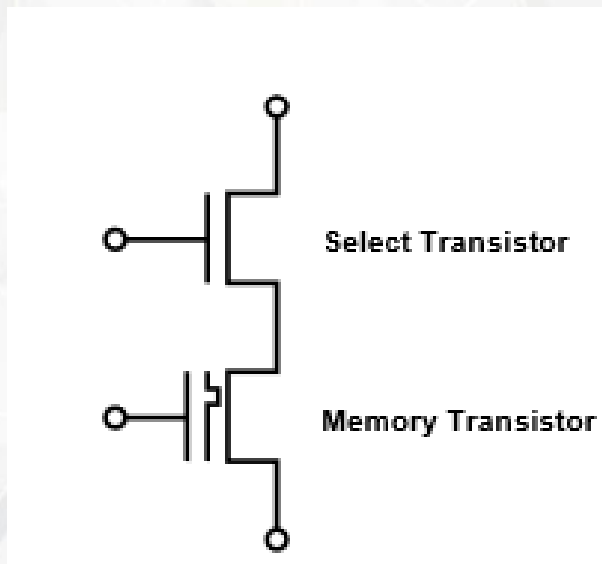
Dispositivos de memória

- **Memória Não Volátil:**

- **Memória Semicondutora:**

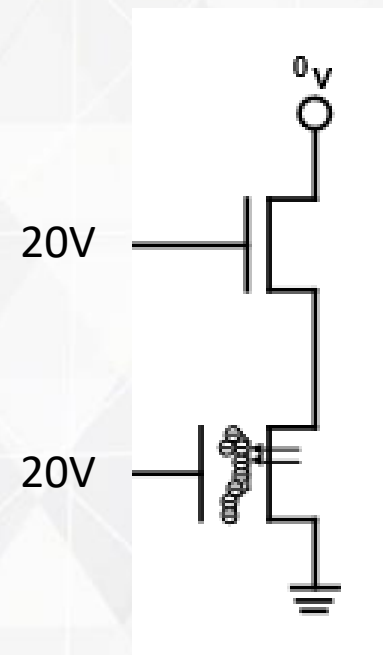
Erasable Programmable Read-Only Memory (EPROM)

- Apagar uma célula de memória **EEPROM** necessita de um transistor adicional por célula de memória.



Célula de uma memória **EEPROM**

apagar



Dispositivos de memória

• Memória Não Volátil:

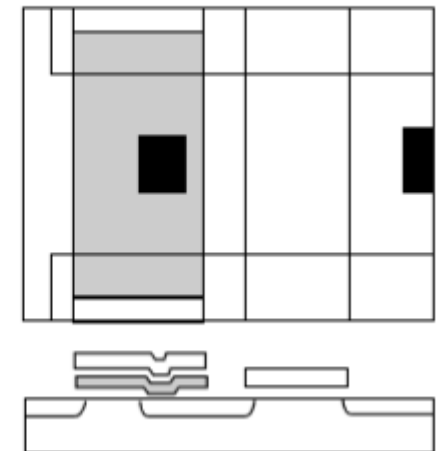
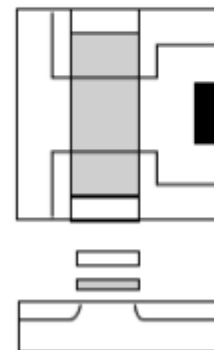
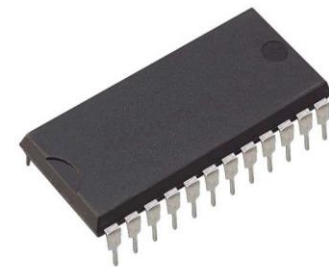
• Memória Semicondutora:

Erasable Programmable Read-Only Memory (EPROM)

- A memória EEPROM permite apagar os dados de maneira mais rápida e mais fácil;
- A necessidade de transistor tornou a memória EEPROM **mais volumosa**;

EEPROM

UV EPROM



Device	EPROM	EEPROM
Normalized cell size	1.0	3.0
Programming mechanism	Hot electron injection	Tunneling
Erase mechanism	UV light	Tunneling
Erase time	20 minutes	5 ms
Minimum erase	Entire chip	Byte
Write time (per cell)	< 100 μ s	5 ms
Read access time	200 ns	35 ns

Comparação do tamanho das células de memória

Dispositivos de memória

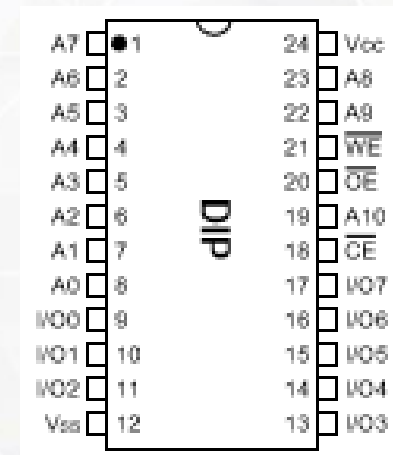
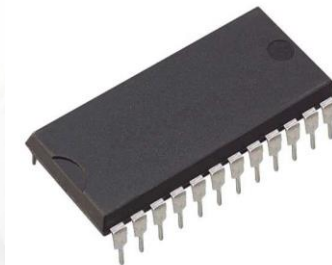
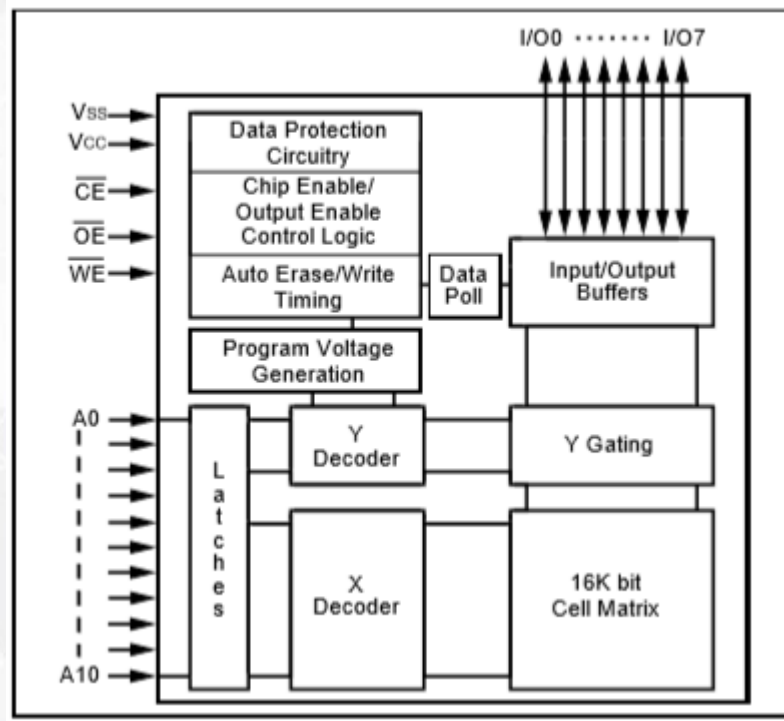
- **Memória Não Volátil:**

- **Memória Semicondutora:**

Erasable Programmable Read-Only Memory (EPROM)

- **EEPROM – 28C16 (2k x 8) – 16Kbit**

BLOCK DIAGRAM



Dispositivos de memória

- **Memória Não Volátil:**

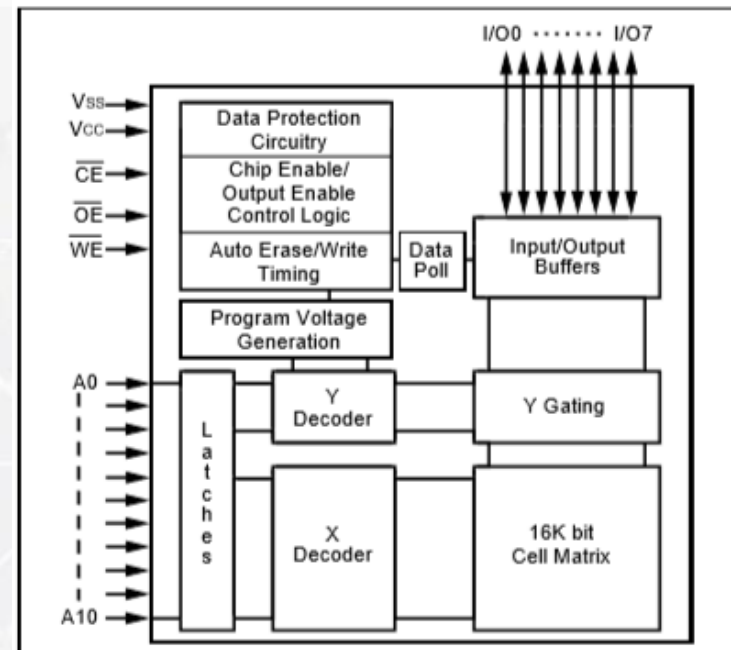
- **Memória Semicondutora:**

Erasable Programmable Read-Only Memory (EPROM)

- **EEPROM – 28C16 (2k x 8) – 16Kbit**

Exercício: Observando as entradas de endereçamento e I/Os de dados, calcule a capacidade de armazenamento da memória em questão.

BLOCK DIAGRAM



Dispositivos de memória

- **Memória Não Volátil:**

- **Memória Semicondutora:**

Erasable Programmable Read-Only Memory (EPROM)

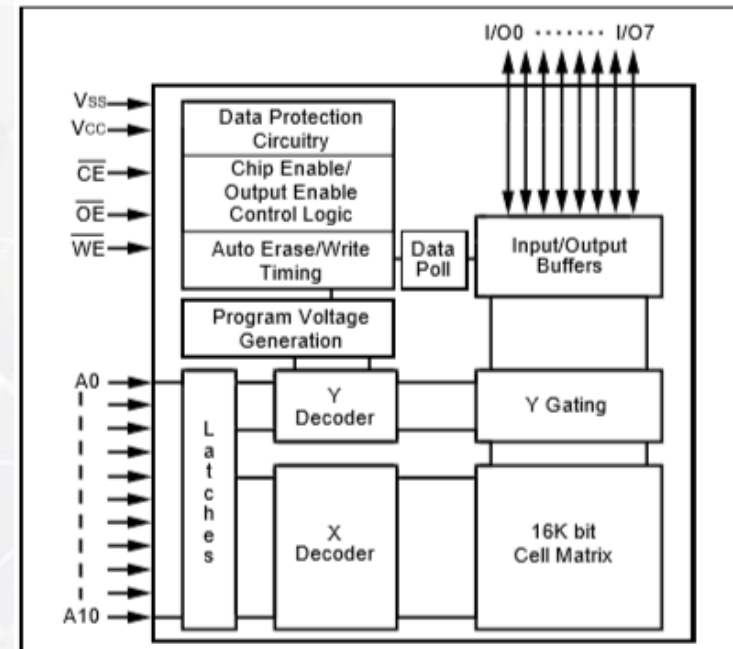
- **EEPROM – 28C16 (2k x 8) – 16Kbit**

Número de Bits do endereçamento = 11

Número de Bits de dados = 8

Capacidade = $2^{11} \times 8 = 16 \text{ KB}$

BLOCK DIAGRAM



Dispositivos de memória

- **Memória Não Volátil:**

- **Memória Semicondutora:**

Erasable Programmable Read-Only Memory (EPROM)

- **EEPROM**

TABLE 1-2: READ/WRITE OPERATION DC CHARACTERISTICS

$V_{CC} = +5V \pm 10\%$ Commercial (C): $T_{amb} = 0^{\circ}C$ to $+70^{\circ}C$ Industrial (I): $T_{amb} = -40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$						
Parameter	Status	Symbol	Min	Max	Units	Conditions
Input Voltages	Logic '1'	V_{IH}	2.0	$V_{CC}+1$	V	
	Logic '0'	V_{IL}	-0.1	0.8	V	

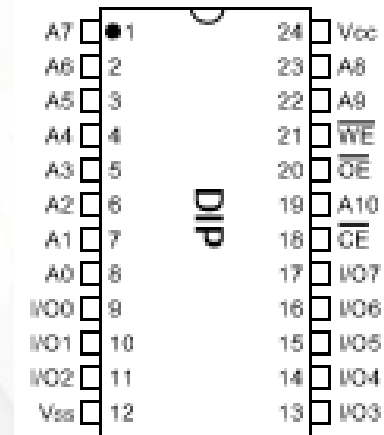
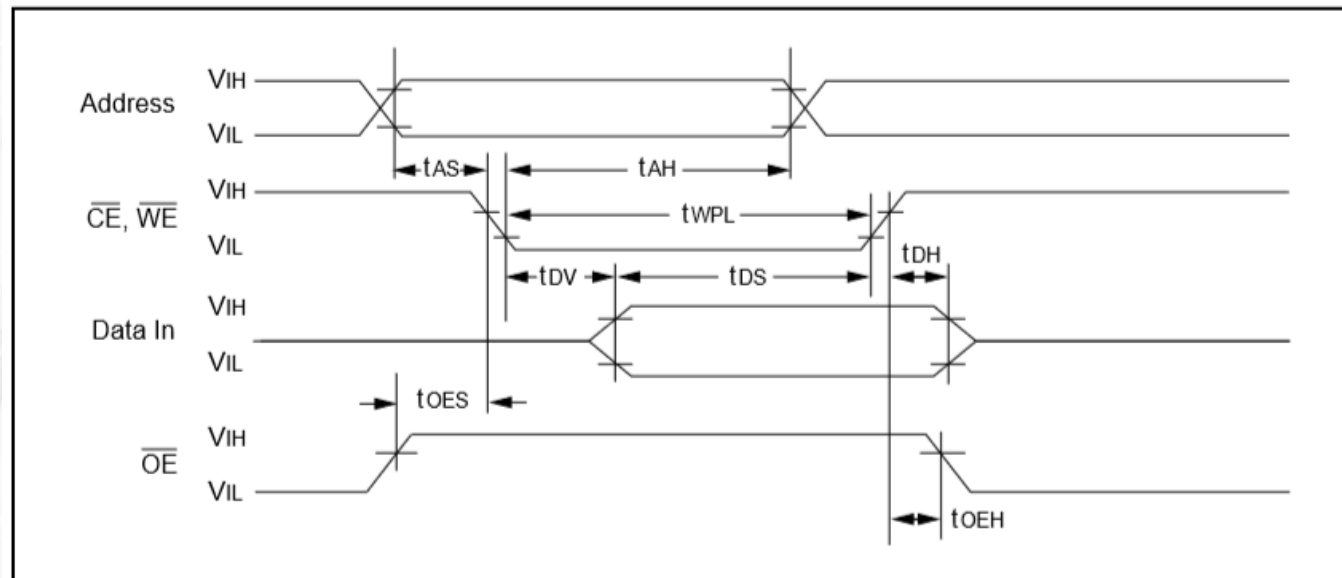


FIGURE 1-2: PROGRAMMING WAVEFORMS



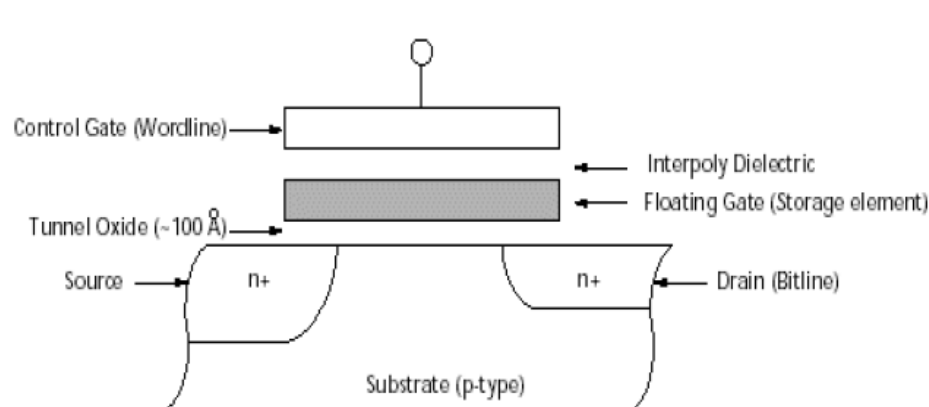
Dispositivos de memória

- **Memória Não Volátil:**

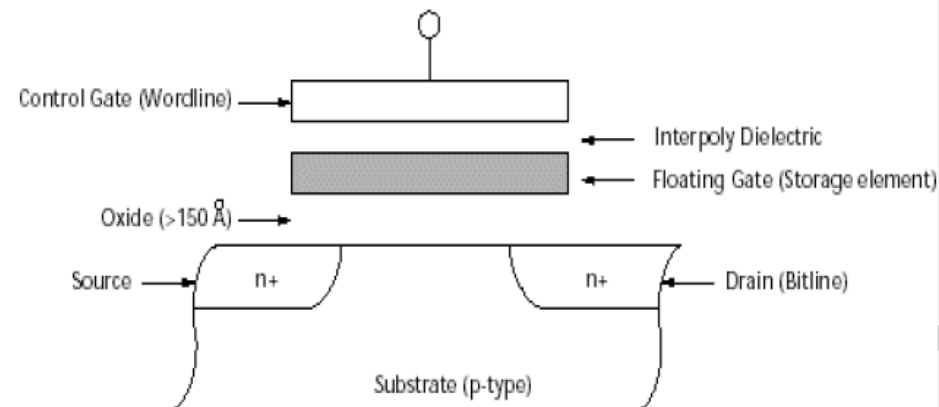
- **Memória Semicondutora:**

- **FLASH**

- Sua célula de memória é baseada no **transistor MOS** de duas portas com uma **menor camada** entre a porta flutuante e o substrato p, o que permite apagamento mediante aplicação de tensão na fonte.



Flash Cell



EPROM Cell

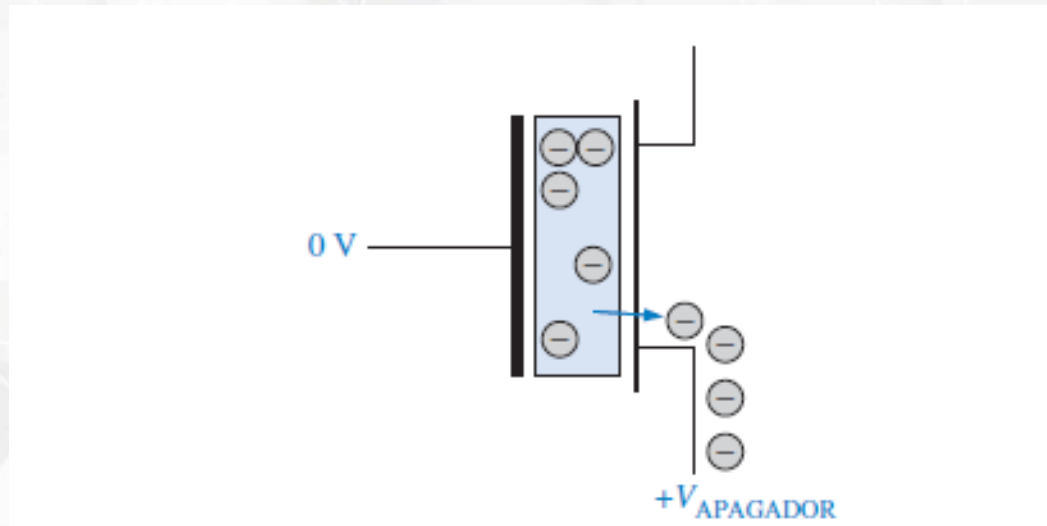
Dispositivos de memória

- **Memória Não Volátil:**

- **Memória Semicondutora:**

- **FLASH**

Apagamento: Para apagar uma célula, uma **tensão positiva suficiente** é aplicada no **terminal fonte** em **relação à porta de controle** para remover cargas da porta flutuante durante a operação de apagamento.



Célula de uma memória FLASH sendo apagada

Dispositivos de memória

- **Memória Não Volátil:**

- **Memória Semicondutora:**

- **FLASH**

- Um arranjo flash é um tipo de arranjo EEPROM que pode ser apagado de forma **mais rápida** que a tecnologia EEPROM padrão, e pode resultar em dispositivos de **maior densidade**, sendo comparável a ROM.
 - A memória FLASH tem uma **alta capacidade de armazenamento**, é **não-volátil**, tem **capacidade de leitura e escrita** no sistema, é compatível com operações rápidas e tem um **custo eficaz**. As tecnologias tradicionais de memória como ROM, PROM, EPROM, EEPROM, exibem individualmente um ou mais dessas características, porém nenhuma apresenta todas essas características, exceto a memória FLASH.

Dispositivos de memória

- **Memória Não Volátil:**
 - **Memória Semicondutora:**
 - **FLASH – 27SF512 (512kBits)**

$V_{DD}=4.5-5.5V$, $V_{pp}=V_{ppH}$

V_{IL}	Input Low Voltage		0.8	V
V_{IH}	Input High Voltage	2.0	$V_{DD}+0.5$	V
V_{ppH}	High Voltage for OE#/V _{pp} Pin	11.4	12	V

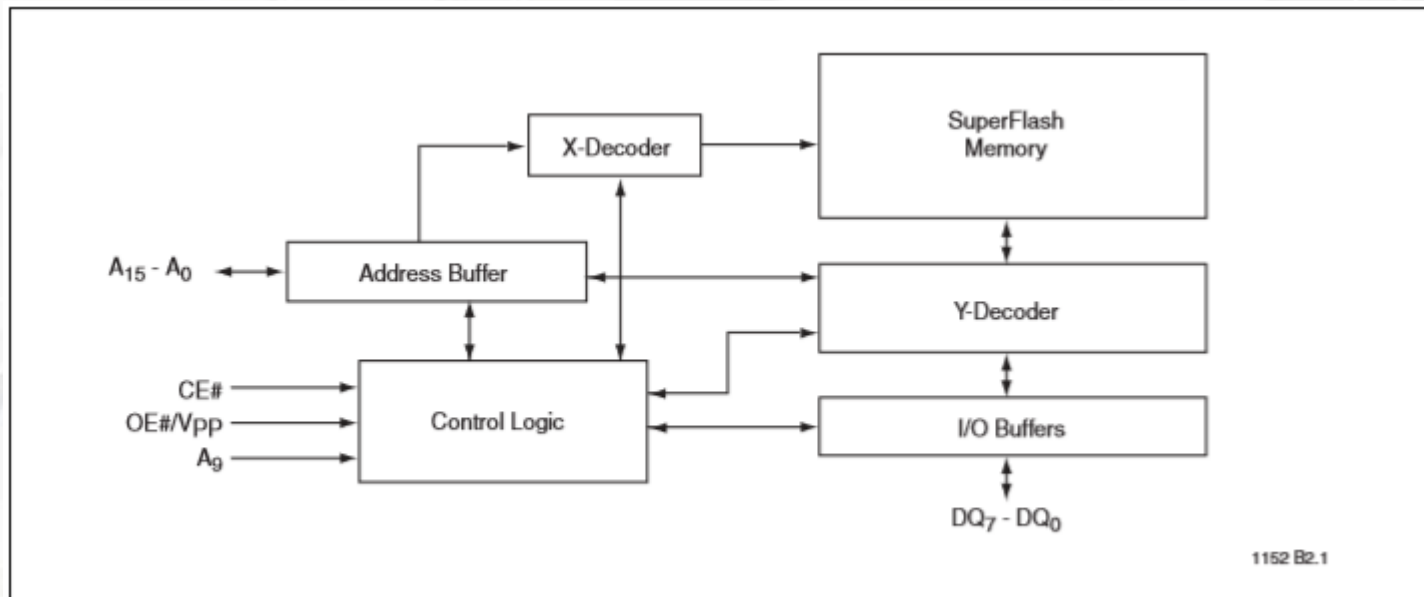
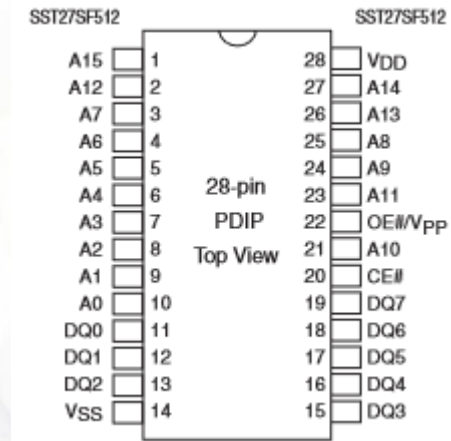


FIGURE 1: Functional Block Diagram - SST27SF512

Dispositivos de memória

- **Memória Não Volátil:**
 - **Memória Semicondutora:**
 - **FLASH – 27SF512 (512kBits)**

$V_{DD}=4.5-5.5V$, $V_{pp}=V_{ppH}$

V_{IL}	Input Low Voltage		0.8	V
V_{IH}	Input High Voltage	2.0	$V_{DD}+0.5$	V
V_{ppH}	High Voltage for OE#/V _{pp} Pin	11.4	12	V

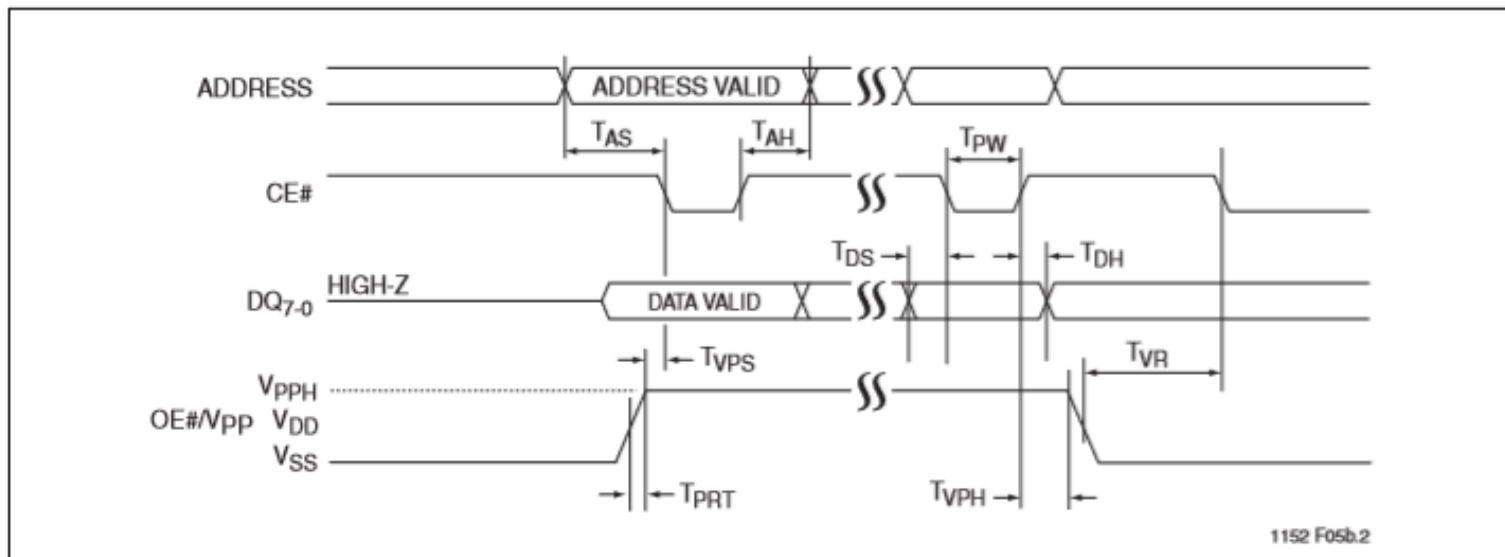
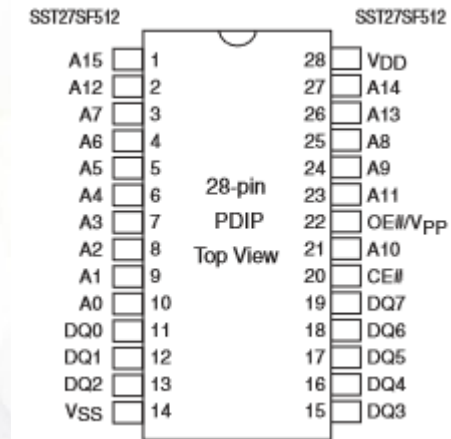


FIGURE 9: Byte-Program Timing Diagram for SST27SF512

1152 F05b.2

Dispositivos de memória

- Tecnologias de memória:

Tecnologias

Não-volátil

Volátil

Semicondutora

Não semicondutora

ROM

EPROM

E²PROM

FLASH

Magnética

Ótica

Pendrive

Solid-State Drive (SSD)

HardDisk (HD)

CD-ROM



Dispositivos de memória

- Tecnologias de memória:

Não-volátil

Tecnologias

Volátil

Semicondutora

Estática
(SRAM)

Dinâmica
(DRAM)

SRAM Assíncrona
(ASRAM)

SRAM Síncrona
(SSRAM)

DRAM Assíncrona
(ADRAM)

DRAM Síncrona
(SDRAM)

DRAM FPM

DRAM EDO

DRAM BEDO

DDR(1 a 4)



Microcontrolador



Cache



FPGA



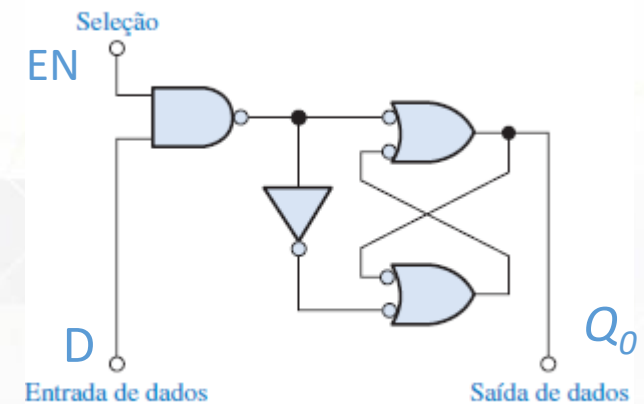
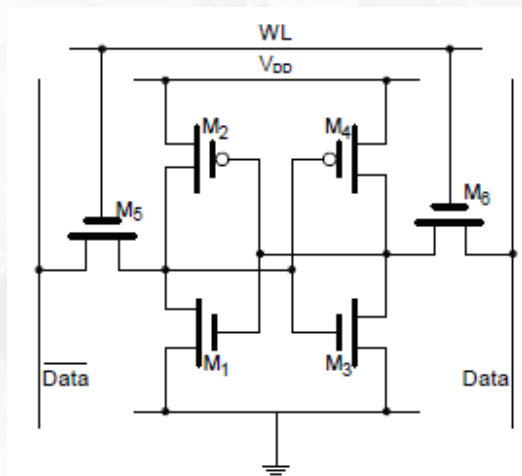
Dispositivos de memória

• Memória Volátil:

• SRAM (Static Random Access Memory):

ASRAM - Asynchronous Static Random Access Memory

- Células de memória composta por latches compostos geralmente por 6 transistores bipolar/mosfet;
- Enquanto a tensão de alimentação estiver aplicada numa célula de memória estática, ela retém indefinidamente o estado **0** ou **1**;



Uma típica célula de memória latch SRAM

Entradas		Saídas		Comentários
D	EN	Q	\bar{Q}	
0	1	0	1	RESET
1	1	1	0	SET
X	0	Q_0	\bar{Q}_0	Repouso

Nota: Q_0 é o nível da saída anterior antes que as condições de entrada fossem estabelecidas.

Dispositivos de memória

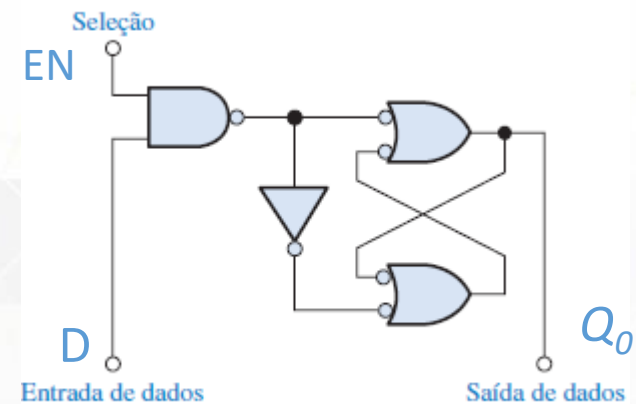
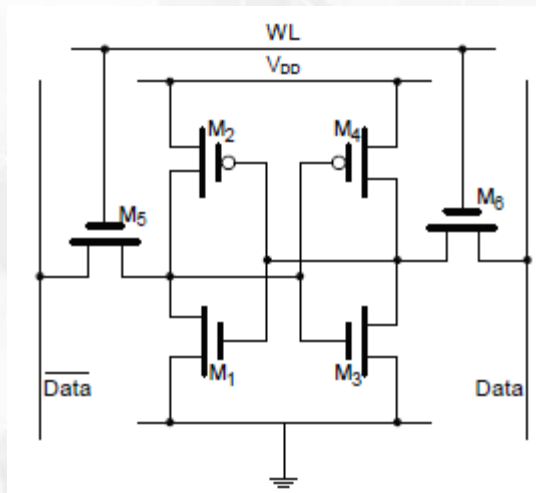
• Memória Volátil:

• SRAM (Static Random Access Memory):

ASRAM - Asynchronous Static Random Access Memory

- **Vantagem:** alta velocidade de operação (leitura/escrita).
- **Desvantagem:** Maior ocupação de espaço. Custo elevado.

- Uso: Microcontrolador



Uma

Entradas		Saídas		Comentários
D	EN	Q	\bar{Q}	
0	1	0	1	RESET
1	1	1	0	SET
X	0	Q_0	\bar{Q}_0	Repouso

Nota: Q_0 é o nível da saída anterior antes que as condições de entrada fossem estabelecidas.

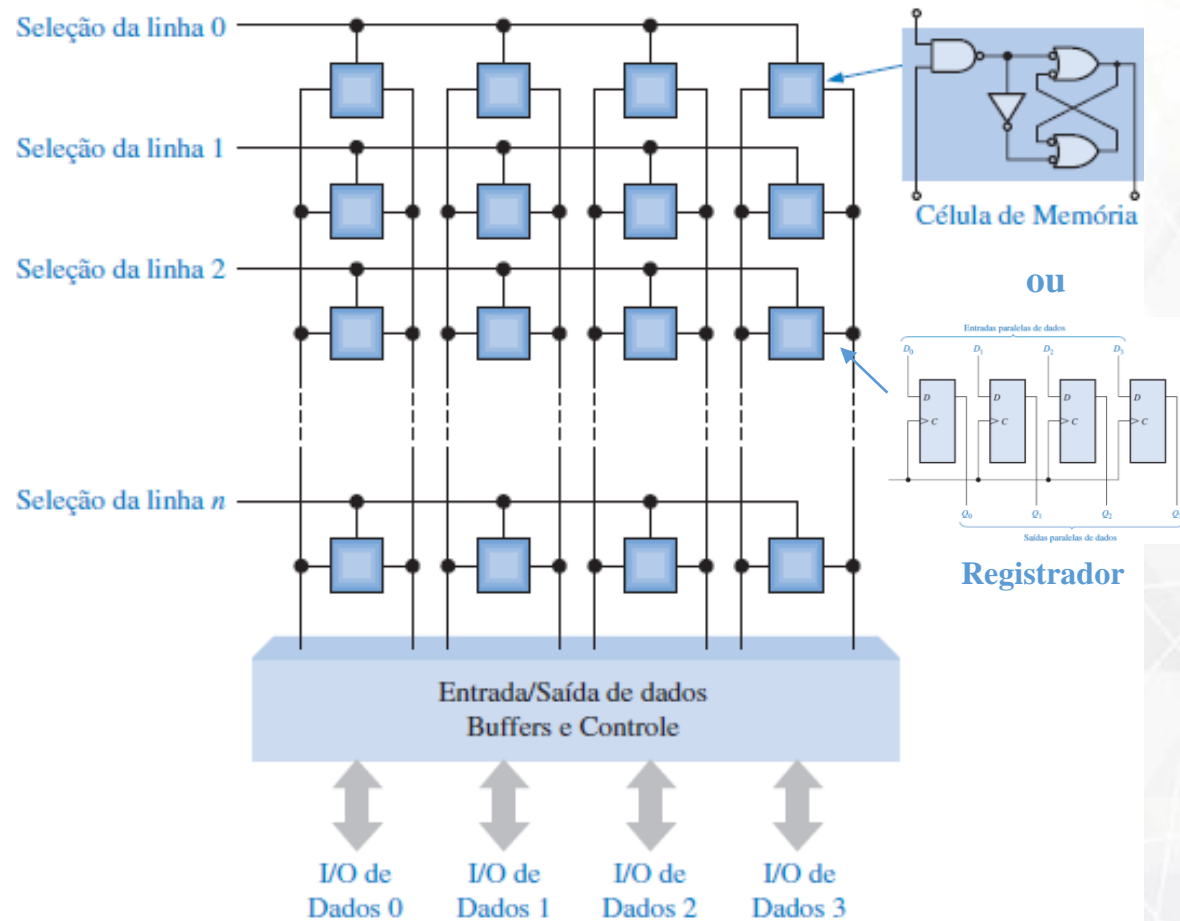
Dispositivos de memória

• Memória Volátil:

• SRAM (Static Random Access Memory):

ASRAM - Asynchronous Static Random Access Memory

Arranjo Básico: Cada conjunto de linhas de entrada de dados e saída de dados se conectam a cada célula numa dada coluna e estão conectadas a uma única linha de dados que serve como entrada (*in*) e saída (*out*) de dados (I/O de Dados) através dos buffers de entrada e saída de dados.



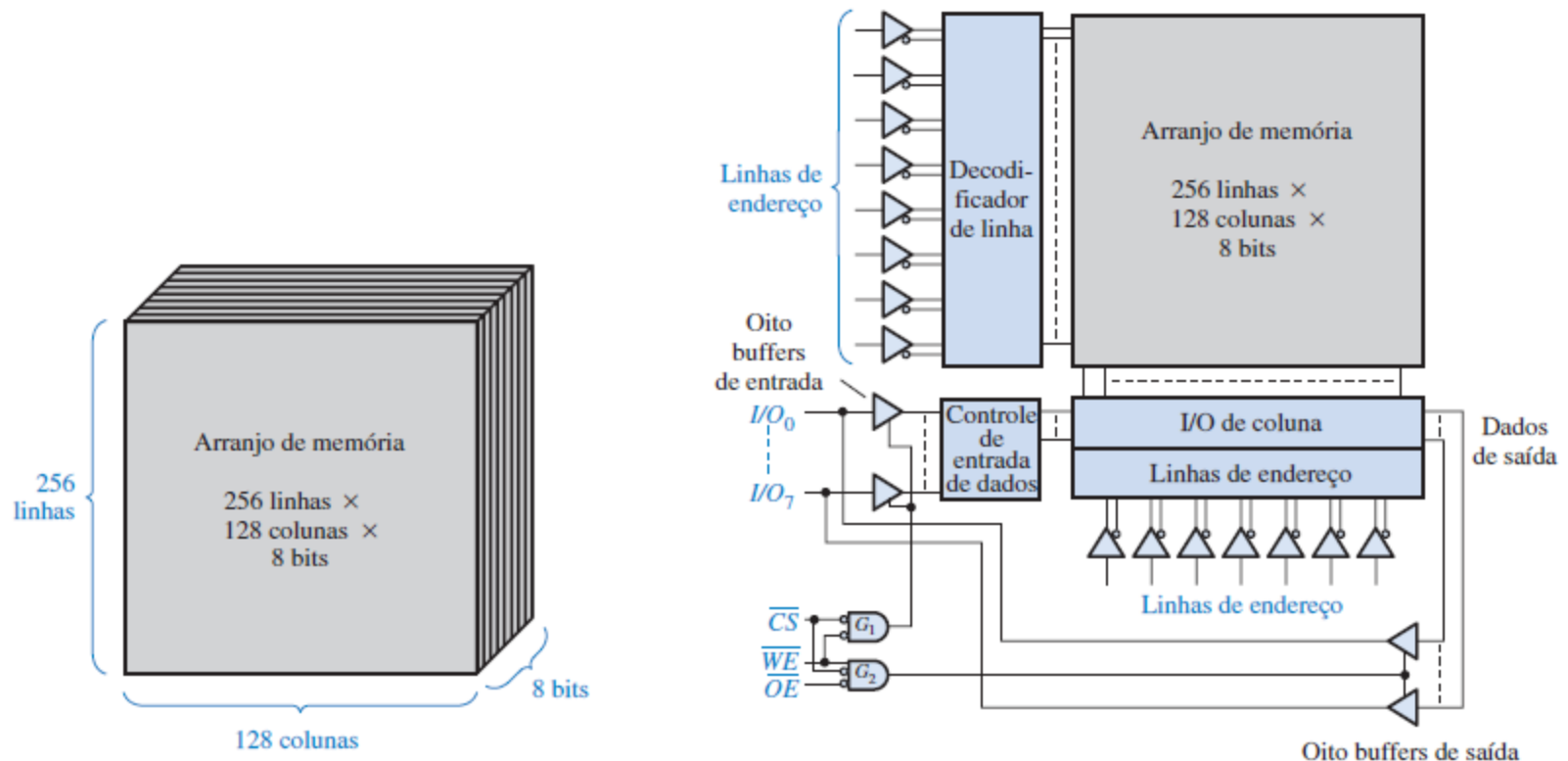
Dispositivos de memória

• Memória Volátil:

• SRAM (Static Random Access Memory):

ASRAM - Asynchronous Static Random Access Memory

- **Arranjo de Memória:** Matricial: Chips de SRAM podem ser organizados em bits isolados, nibbles (4 bits), bytes (8 bits) ou múltiplos bytes (16, 24, 32 bits, etc.).



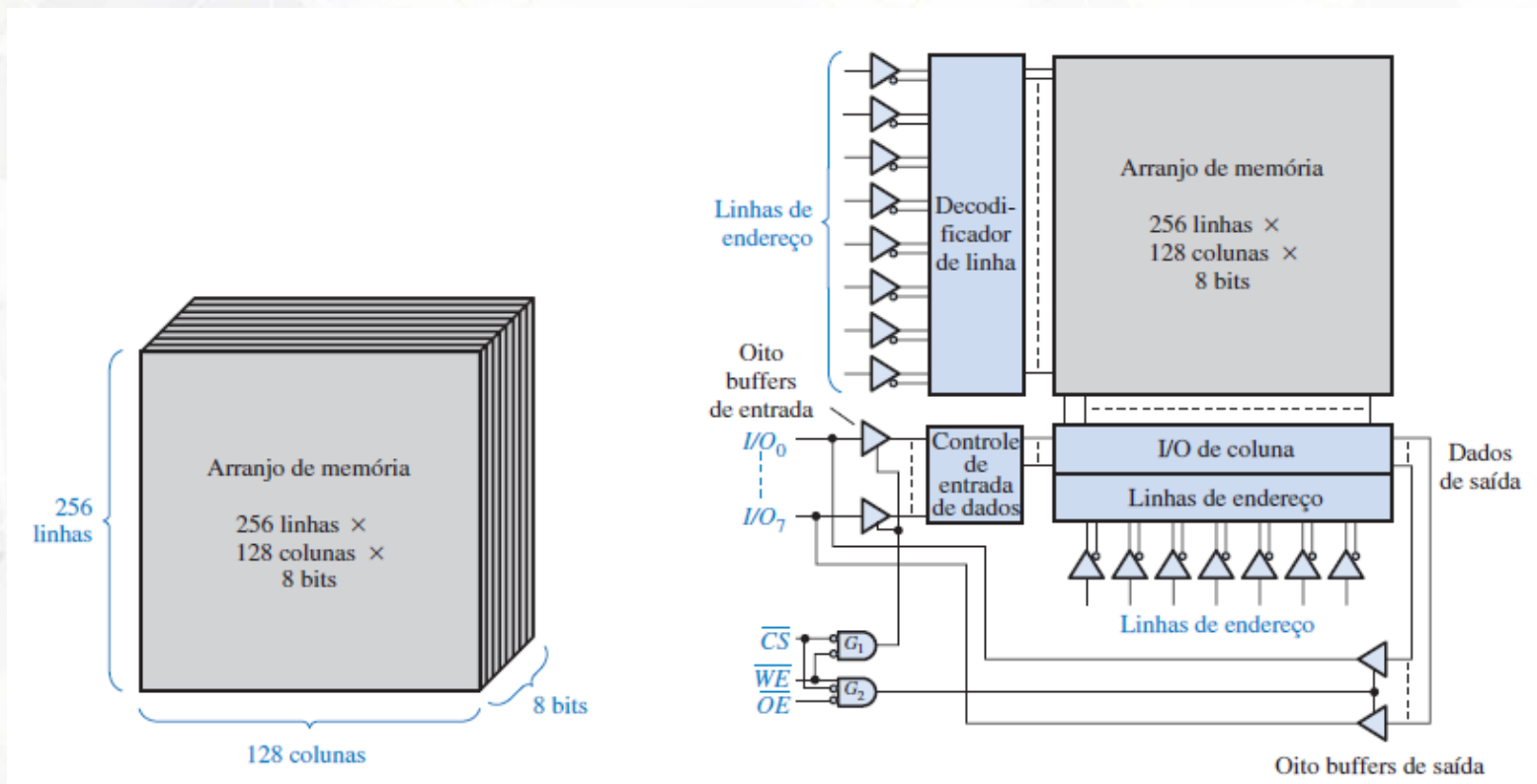
Dispositivos de memória

- **Memória Volátil:**

- **SRAM (Static Random Access Memory):**

ASRAM - Asynchronous Static Random Access Memory

Exemplo: Qual é a capacidade de armazenamento da memória dada?



Dispositivos de memória

- **Memória Volátil:**

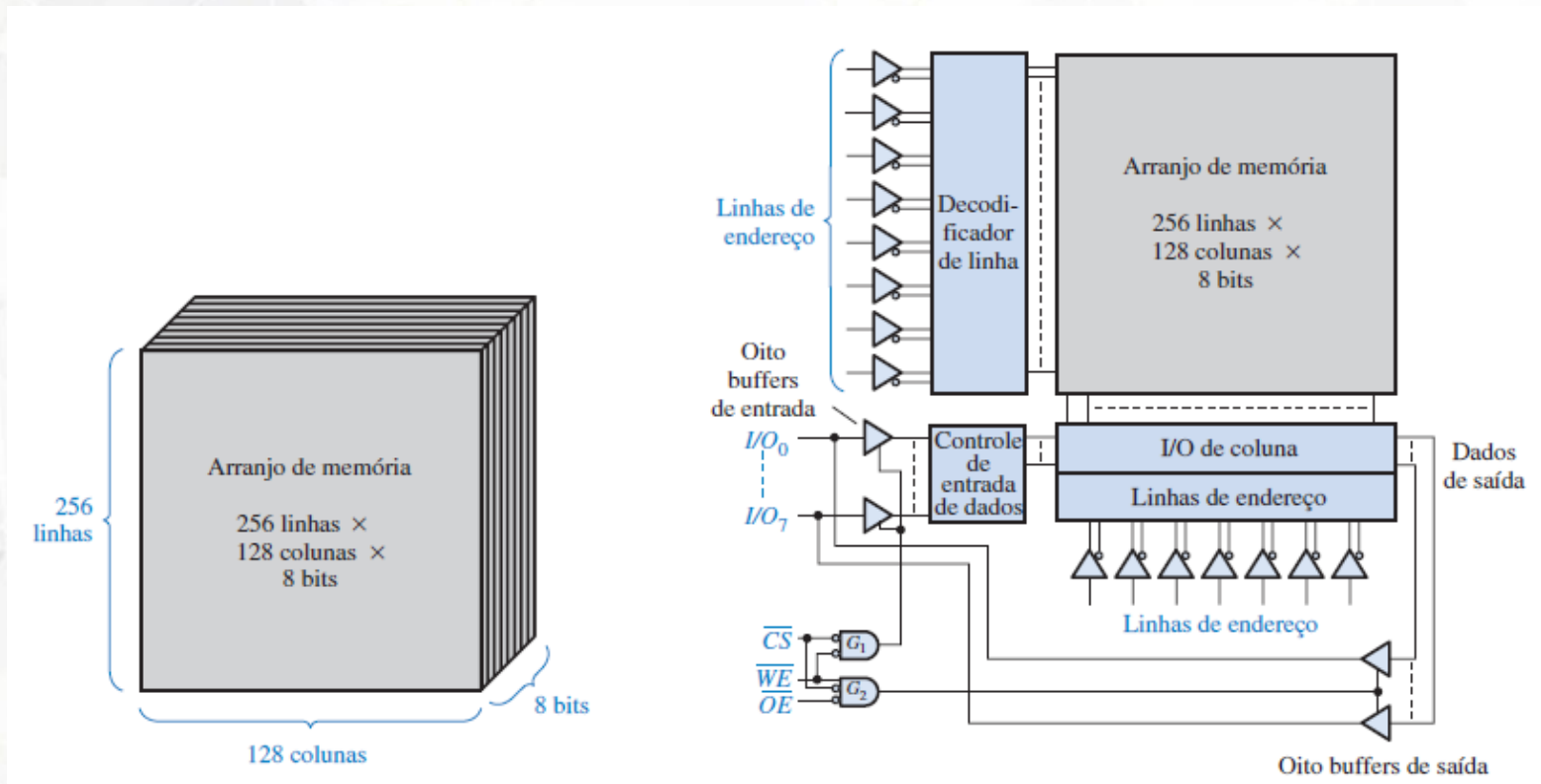
- **SRAM (Static Random Access Memory):**

ASRAM - Asynchronous Static Random Access Memory

Exemplo: Qual é a capacidade de armazenamento da memória dada?

$$2^8(\text{linha}) \times 2^7(\text{coluna}) \times 8\text{bit} = 2^{18} = 262.144$$

2^{18} Bit, 256kBit ou 32kBytes.



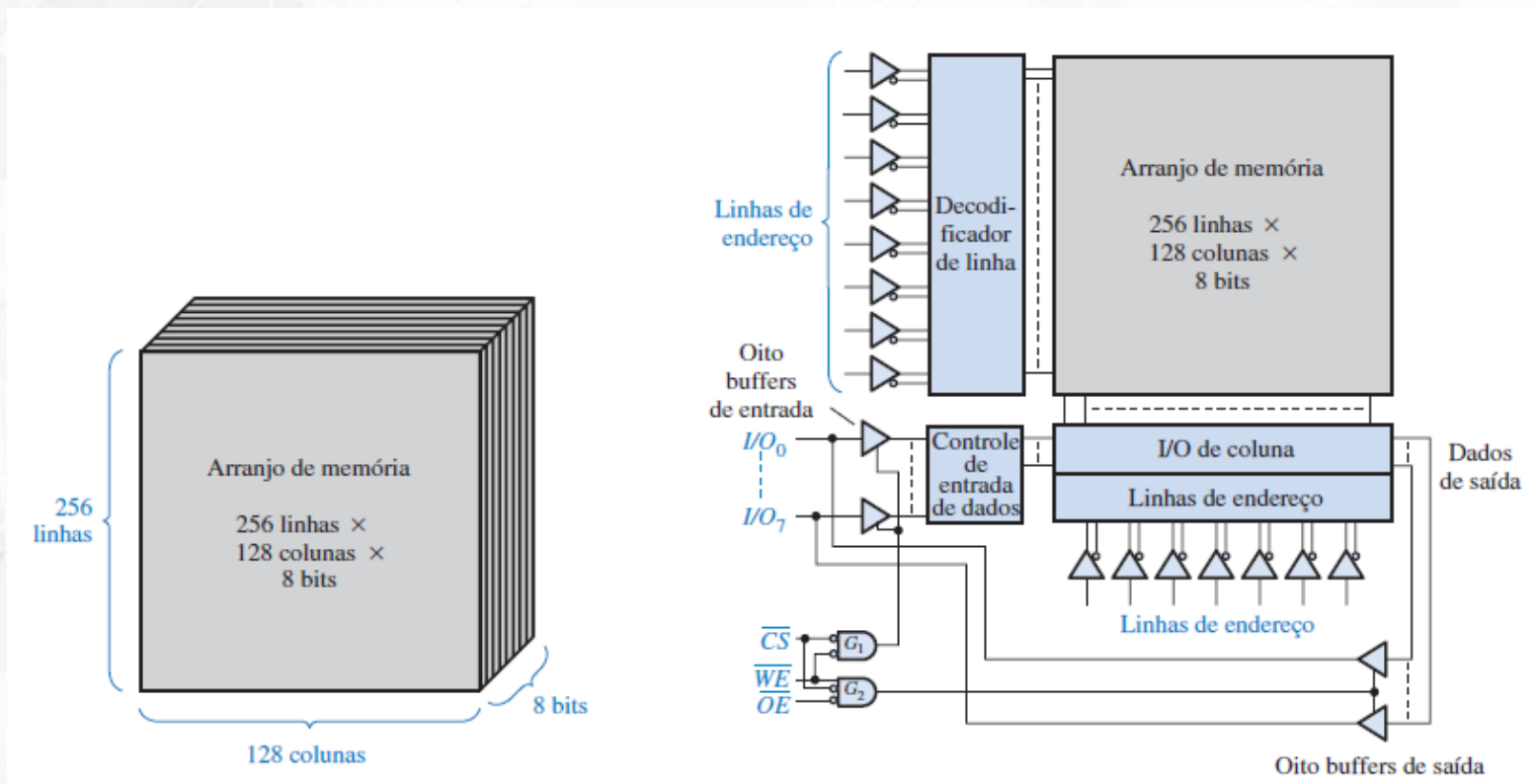
Dispositivos de memória

- **Memória Volátil:**

- **SRAM (Static Random Access Memory):**

ASRAM - Asynchronous Static Random Access Memory

Exemplo: Como é possível identificar no diagrama que se trata de uma memória assíncrona?



Dispositivos de memória

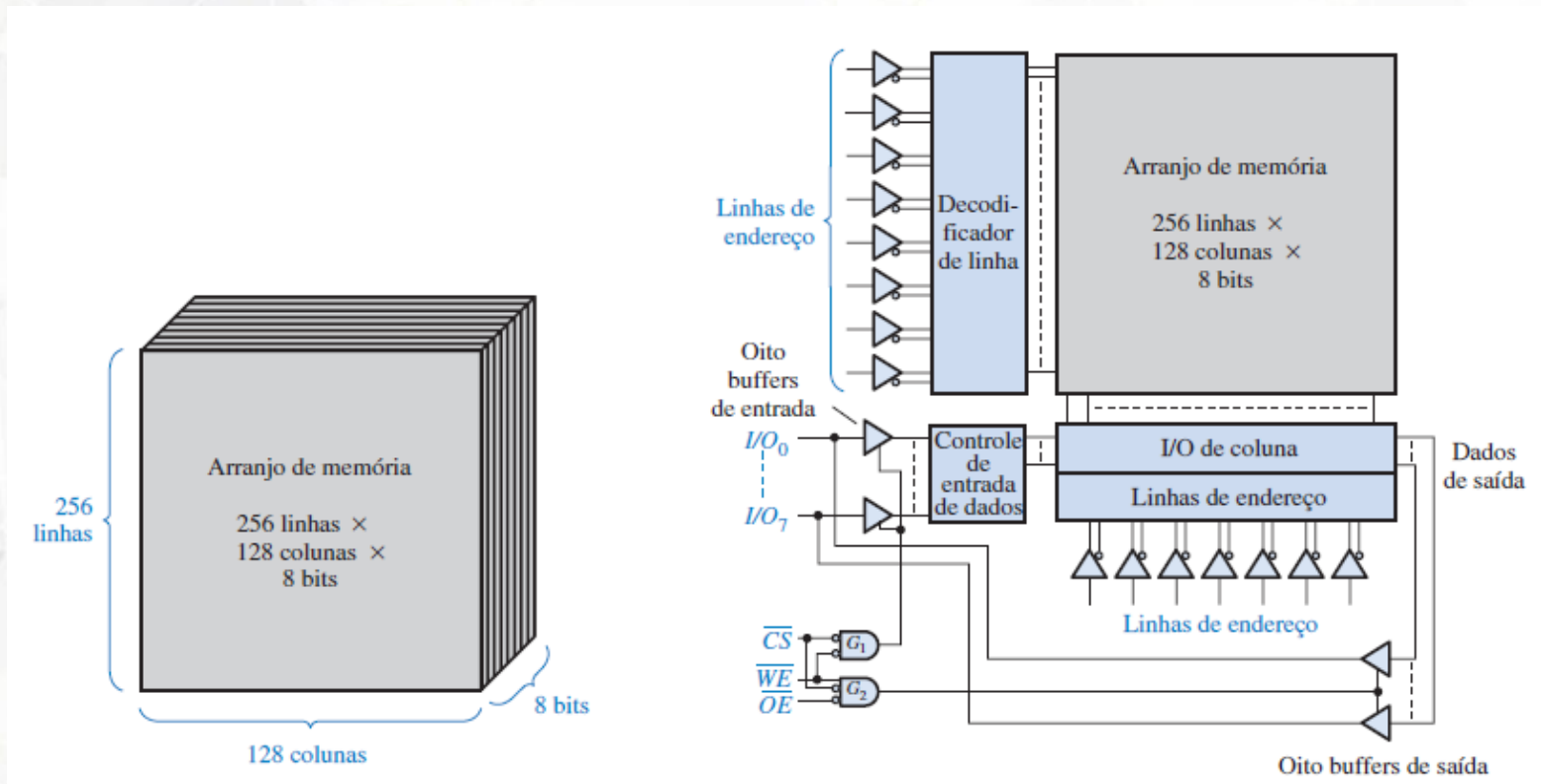
- **Memória Volátil:**

- **SRAM (Static Random Access Memory):**

ASRAM - Asynchronous Static Random Access Memory

Exemplo: Como é possível identificar no diagrama que se trata de uma memória assíncrona?

R: Não possui entrada de clock.



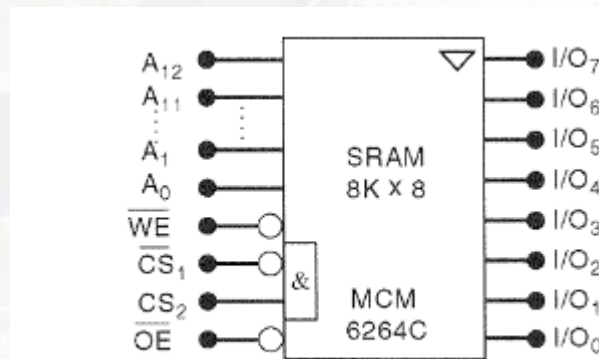
Dispositivos de memória

- **Memória Volátil:**

- **SRAM (Static Random Access Memory):**

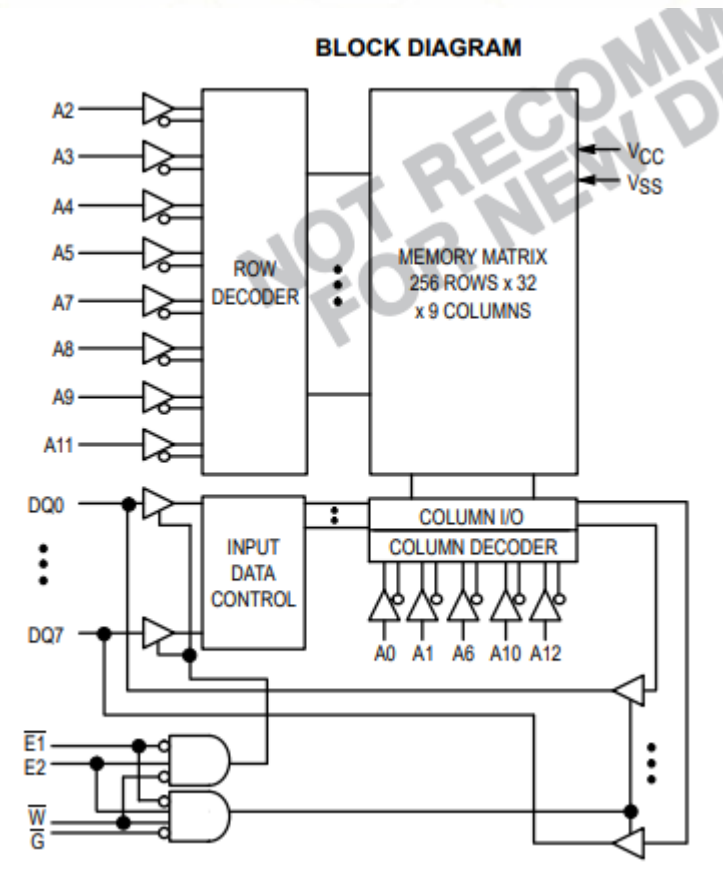
ASRAM - Asynchronous Static Random Access Memory

- **Exemplo de ASRAM Comercial:**



Modo	Entradas				Pinos de dados
	WE	CS ₁	CS ₂	OE	
LEITURA	1	0	1	0	Saída de dados
ESCRITA	0	0	1	X	Entrada de dados
Desabilita saída	1	X	X	1	Alta impedância
Não selecionada (standby)	X	1	X	X	Alta impedância
	X	X	0	X	

X = don't care



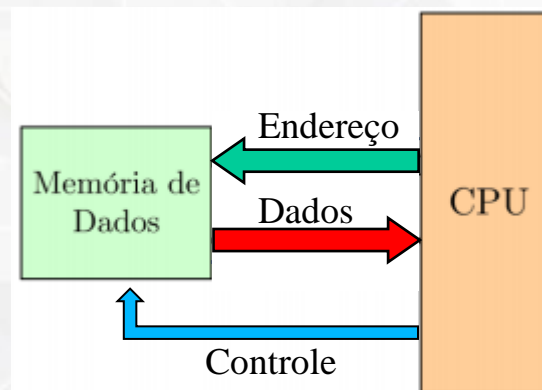
Dispositivos de memória

- **Memória Volátil:**

- **SRAM (Static Random Access Memory):**

ASRAM - Asynchronous Static Random Access Memory

- **Operação de Leitura:** operação que detecta uma palavra binária armazenada em uma determinada posição (endereço) de memória e transfere para outro dispositivo. Um código binário (endereço) é inserido no barramento de endereços (**address bus**). Decodificadores internos decodificam o endereço para determinar a posição a ser lida. O dado é então movido da posição especificada para o barramento de dados (**data bus**).



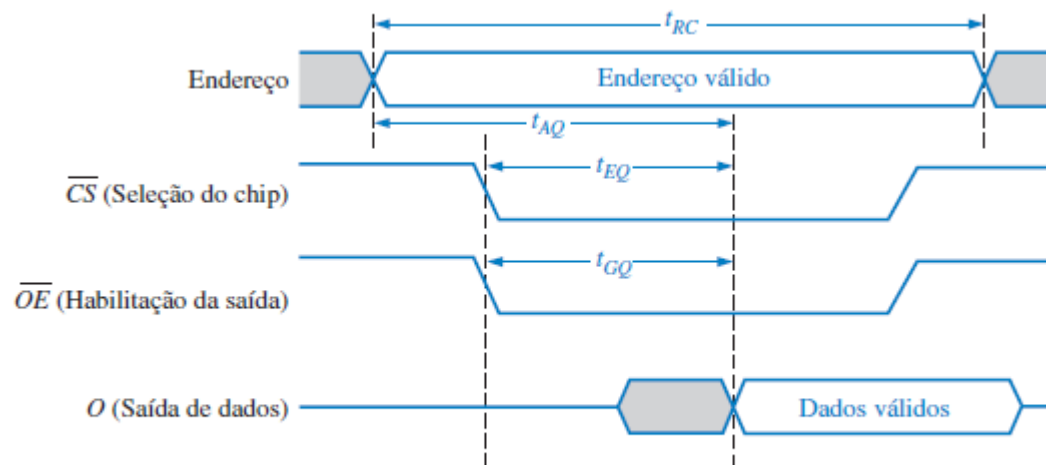
Dispositivos de memória

- **Memória Volátil:**

- **SRAM (Static Random Access Memory):**

ASRAM - Asynchronous Static Random Access Memory

- **Operação de Leitura:** operação que detecta uma palavra binária armazenada em uma determinada posição (endereço) de memória e transfere para outro dispositivo. Um código binário (endereço) é inserido no barramento de endereços (**address bus**). Decodificadores internos decodificam o endereço para determinar a posição a ser lida. O dado é então movido da posição especificada para o barramento de dados (**data bus**).



(a) Ciclo de leitura (\overline{WE} em nível ALTO)

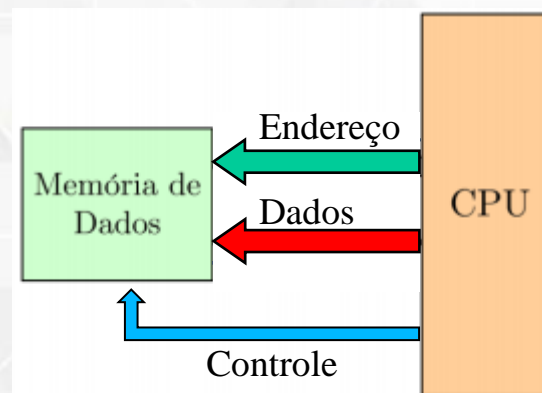
Dispositivos de memória

- **Memória Volátil:**

- **SRAM (Static Random Access Memory):**

ASRAM - Asynchronous Static Random Access Memory

- **Operação de Escrita:** Operação que coloca uma palavra em uma determinada posição (endereço) da memória. A operação de escrita é designada como operação de armazenamento. Decodificadores internos decodificam o endereço para determinar a posição a ser escrita. O dado é então movido do **barramento de dados** para a posição especificada.



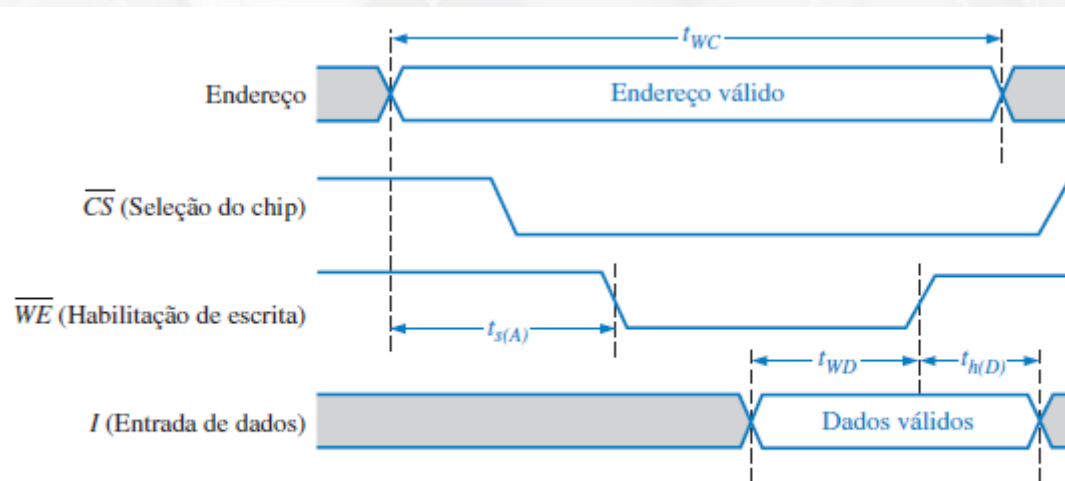
Dispositivos de memória

- **Memória Volátil:**

- **SRAM (Static Random Access Memory):**

ASRAM - Asynchronous Static Random Access Memory

- **Operação de Escrita:** Operação que coloca uma palavra em uma determinada posição (endereço) da memória. A operação de escrita é designada como operação de armazenamento. Decodificadores internos decodificam o endereço para determinar a posição a ser escrita. O dado é então movido do **barramento de dados** para a posição especificada.



(b) Ciclo de escrita (\overline{WE} em nível BAIXO)

Dispositivos de memória

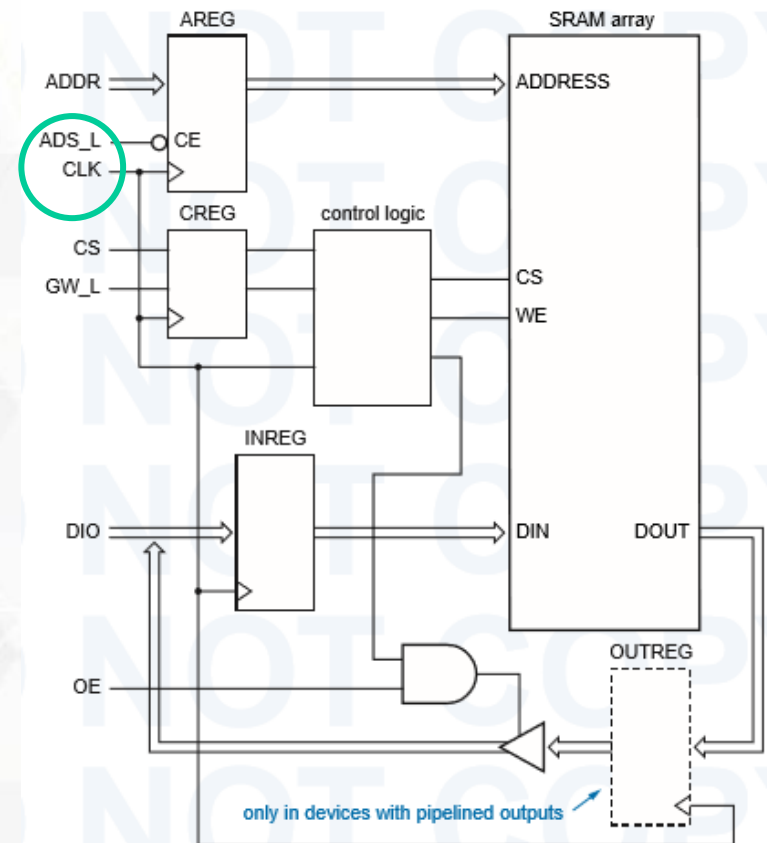
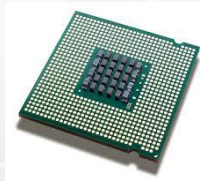
- **Memória Volátil:**

- **SRAM (Static Random Access Memory):**

SSRAM - Synchronous Static Random Access Memory

- Células de memória ainda compostas por **latches**, entretanto a interface de controle, endereçamento e dados passa a depender do **ciclo de clock**;
 - **Baixíssima latência:** o tempo entre a solicitação de um dado e o fornecimento deste é de um período de clock tipicamente;

Uso: partes de alto desempenho de um sistema (cache).



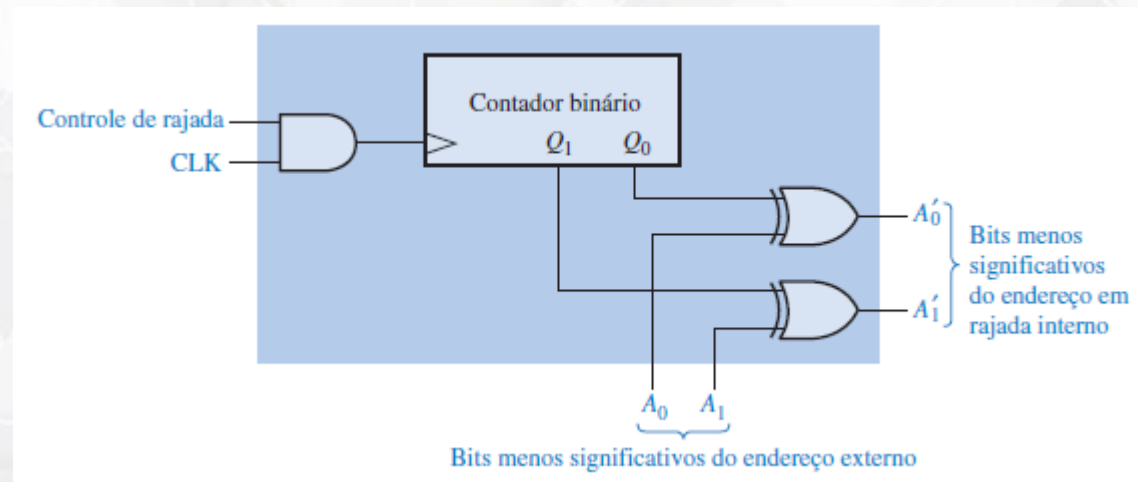
Dispositivos de memória

- **Memória Volátil:**

- **SRAM (Static Random Access Memory):**

SSRAM - Synchronous Static Random Access Memory

Operação em *Rajada (Burst)*: ler ou escrever na memória até quatro posições usando um único endereço. Os dois bits menos significativos do endereço (A_0 e A_1) são aplicados no circuito lógico de rajada. Isso produz uma seqüência de quatro endereços internos somando 00, 01, 10 e 11 aos bits menos significativos do endereço nos pulsos de clock sucessivos.



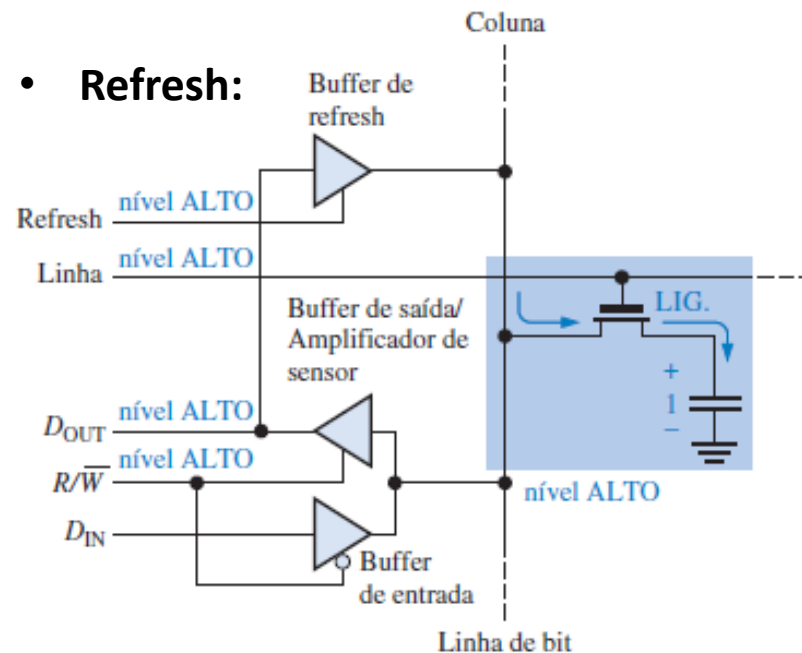
Dispositivos de memória

- **Memória Volátil:**

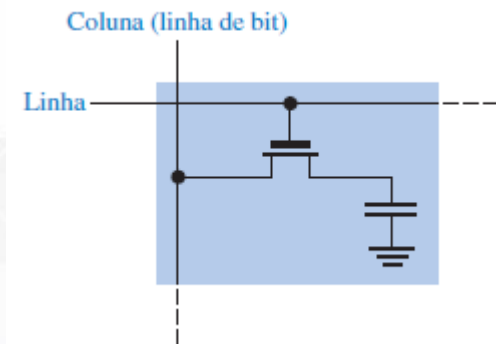
- **DRAM (Dynamic Random Access Memory):**

ADRAM - Asynchronous Static Random Access Memory

- Células de memória dinâmica armazenam um bit de dado num pequeno **capacitor** em vez de um latch.



(d) Refresh de um nível 1 armazenado



Célula de Memória de uma DRAM

- Células **mais simples**, menores e **mais baratas** que as contidas na SRAM

Dispositivos de memória

• Memória Volátil:

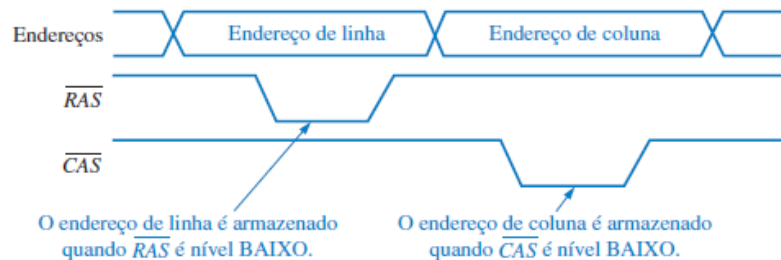
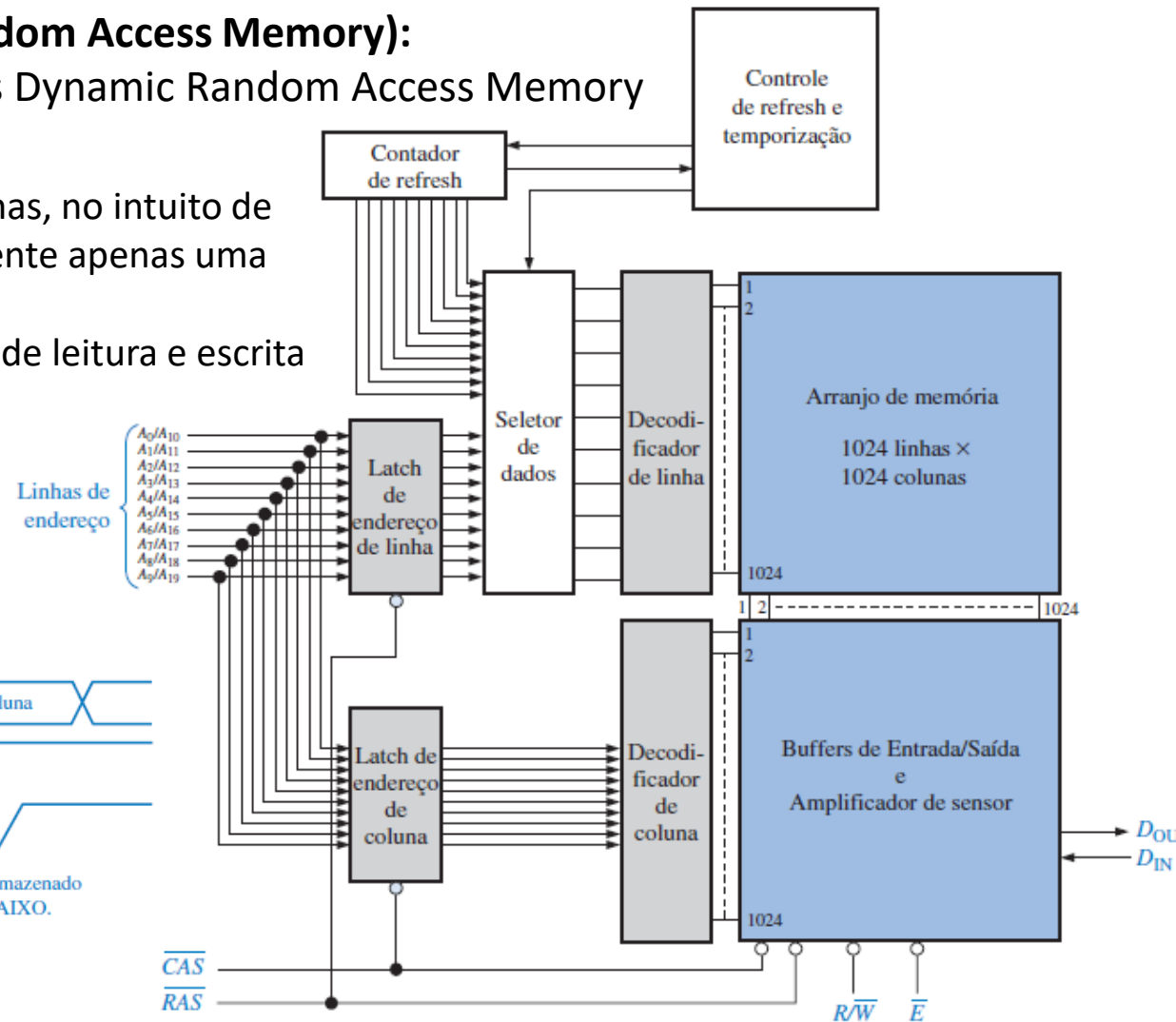
• DRAM (Dynamic Random Access Memory):

ADRAM - Asynchronous Dynamic Random Access Memory

• Entrada de dados:

Reduzido o número de linhas, no intuito de diminuir custos, normalmente apenas uma entrada/saída de dados.

Dessa forma as operações de leitura e escrita passam a ser bit a bit;



Dispositivos de memória

• Memória Volátil:

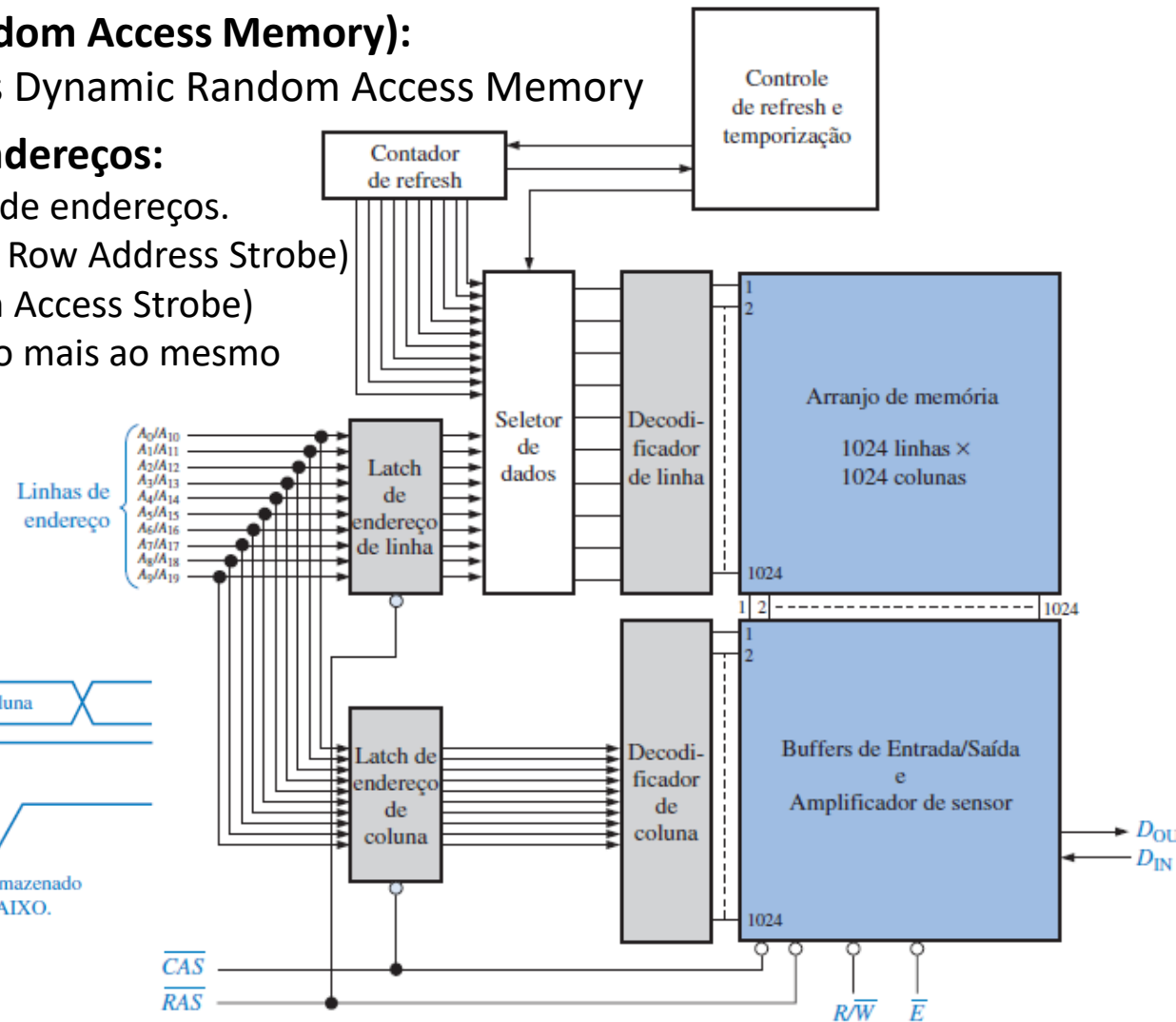
• DRAM (Dynamic Random Access Memory):

ADRAM - Asynchronous Dynamic Random Access Memory

• Multiplexação de Endereços:

Reduz o número de linhas de endereços.

Informação da linha (RAS - Row Address Strobe) e da coluna (CAS - Column Access Strobe) é feita em sequência, e não mais ao mesmo tempo.



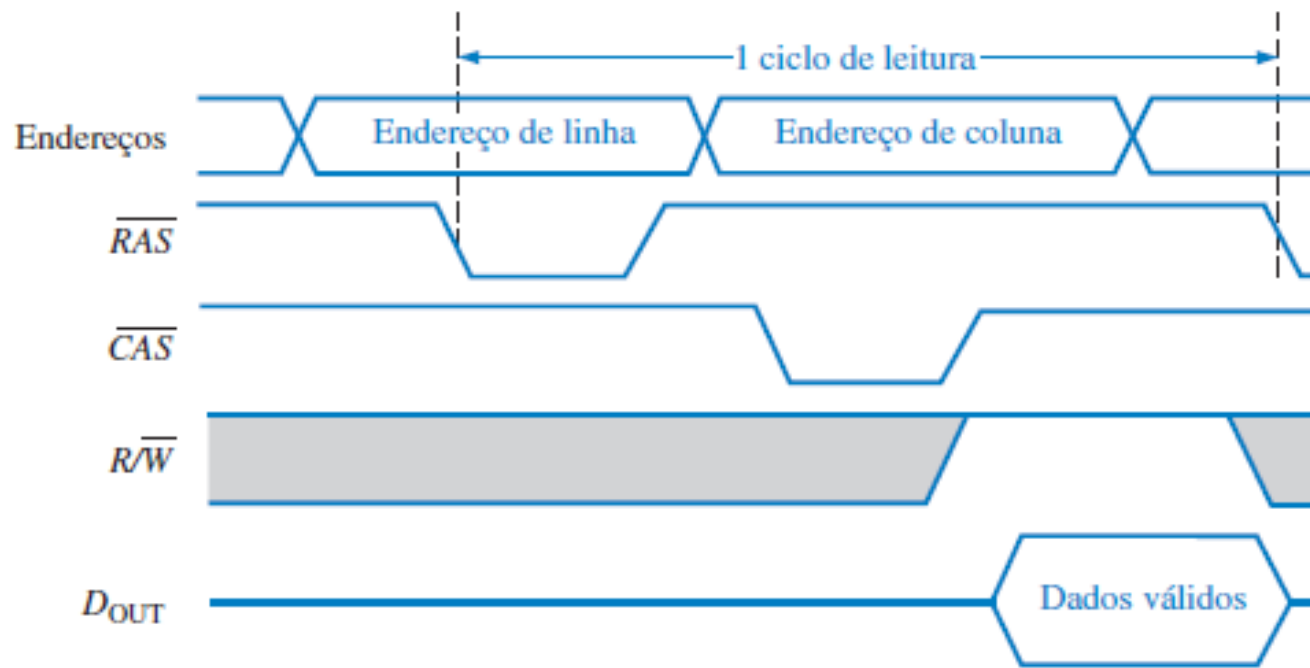
Dispositivos de memória

- **Memória Volátil:**

- **DRAM (Dynamic Random Access Memory):**

ADRAM - Asynchronous Dynamic Random Access Memory

- **Ciclo de Leitura:**



(a) Ciclo de leitura

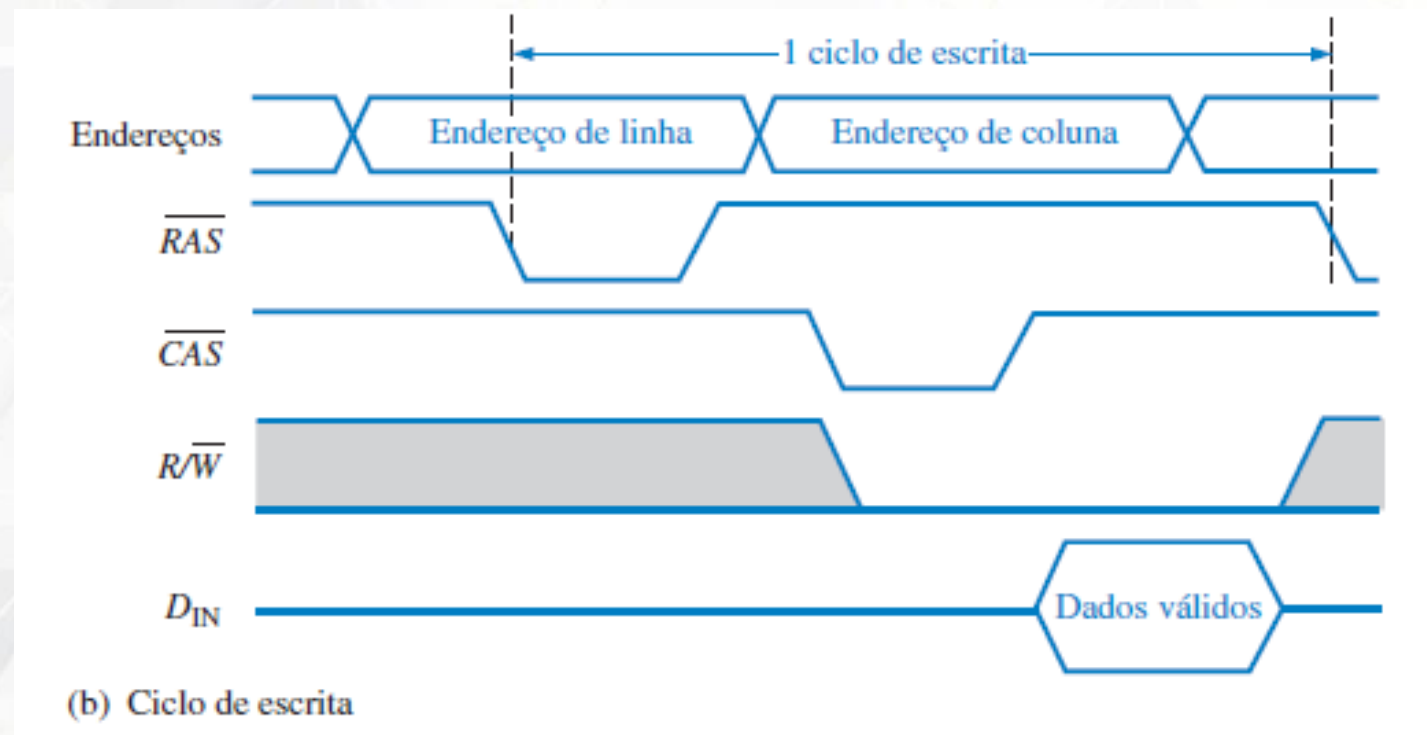
Dispositivos de memória

- **Memória Volátil:**

- **DRAM (Dynamic Random Access Memory):**

ADRAM - Asynchronous Dynamic Random Access Memory

- **Ciclo de Escrita:**



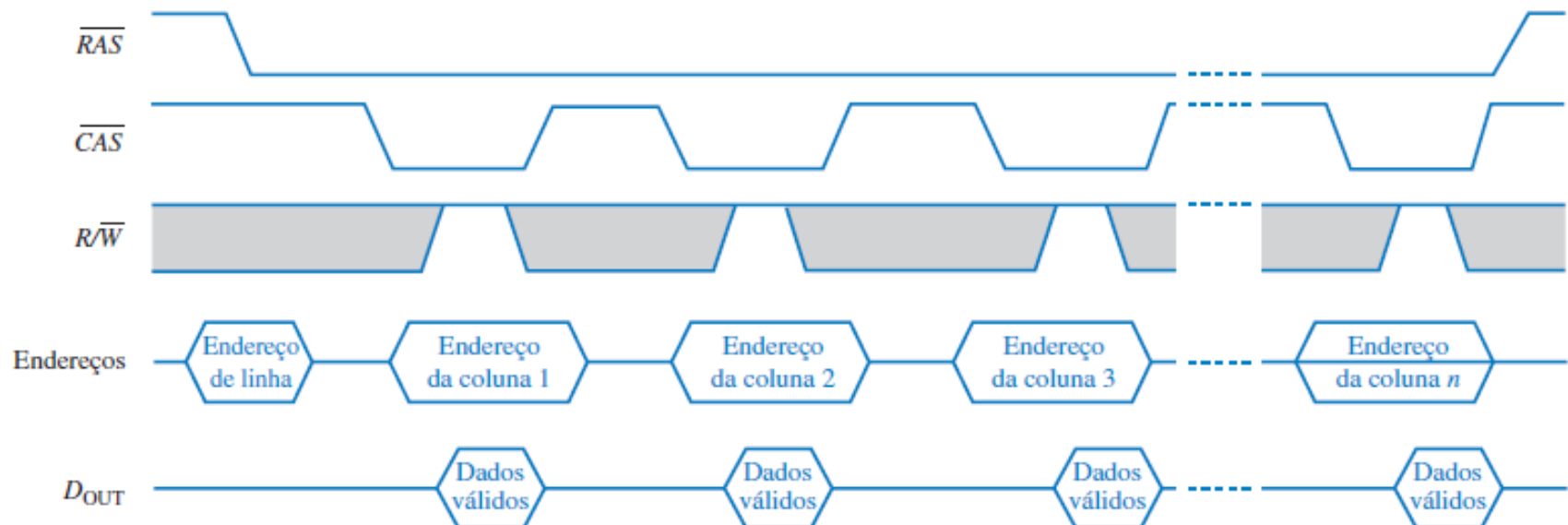
Dispositivos de memória

- **Memória Volátil:**

- **DRAM (Dynamic Random Access Memory):**

ADRAM - Asynchronous Dynamic Random Access Memory

Modo de Página Rápida (FPM): modo de página rápida permite operações **rápidas de leitura ou escrita sucessivas** em cada endereço de coluna numa mesma linha selecionada.



Dispositivos de memória

- **Memória Volátil:**

- **DRAM (Dynamic Random Access Memory):**

ADRAM - Asynchronous Dynamic Random Access Memory

Ciclos de *Refresh* : cada bit tem que ser periodicamente reavivado (**recarregado**) para manter o estado correto do bit.

- *refresh em rajada* = **todas as linhas** no arranjo da memória são reavivadas consecutivamente a cada período de refresh. As operações de leitura e escrita normais são suspensas durante um ciclo de refresh em rajada.
 - *refresh distribuído* = **cada linha** é reavivada em intervalos intercalados entre ciclos de leitura e escrita normais. Por exemplo, para uma memória de 1024 linhas e um período de refresh de 8 ms, cada linha tem que ser reavivada a cada $8\text{ ms}/1024 = 7,8\text{s}$ quando for usado o refresh distribuído.

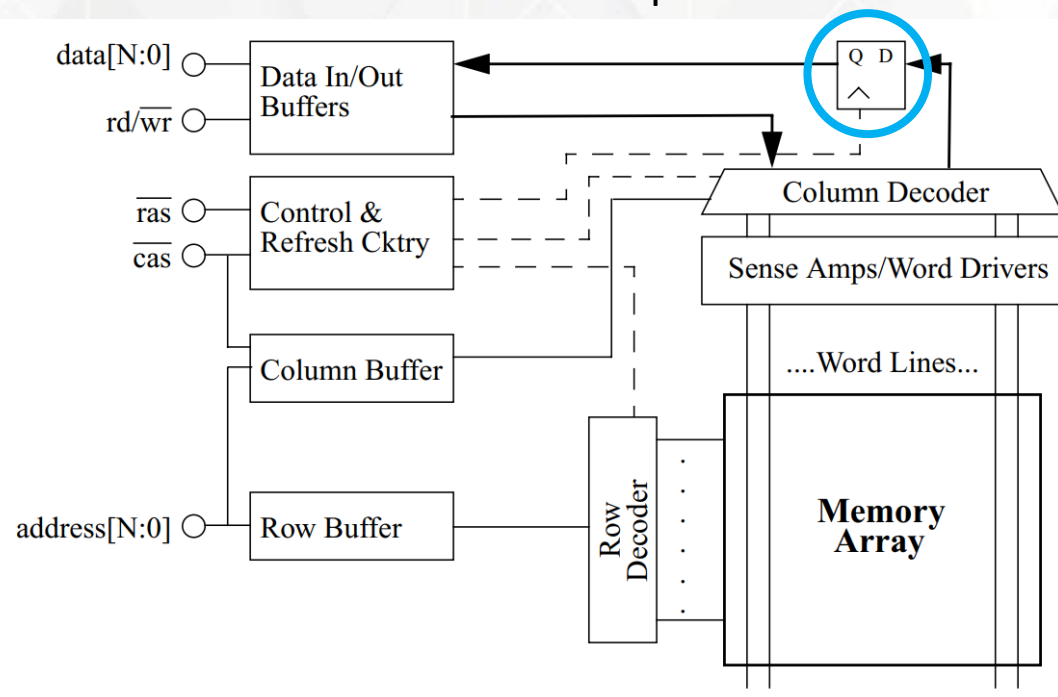
Dispositivos de memória

- **Memória Volátil:**

- **DRAM (Dynamic Random Access Memory):**

ADRAM - Asynchronous Dynamic Random Access Memory

Extended data out (EDO): Permite a sobreposição de uma seleção de coluna e uma operação de leitura de dados. Para isso há um *latch* adicional antes do buffer de saída permitindo que o último valor lido seja armazenado temporariamente, enquanto uma nova leitura se inicia a partir do novo endereço de coluna.



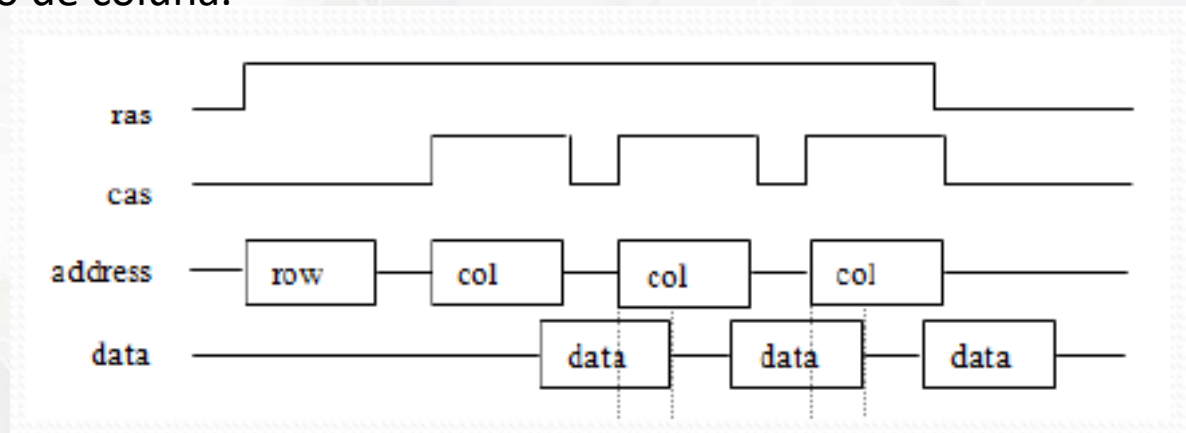
Dispositivos de memória

- **Memória Volátil:**

- **DRAM (Dynamic Random Access Memory):**

ADRAM - Asynchronous Dynamic Random Access Memory

Extended data out (EDO): Permite a sobreposição de uma seleção de coluna e uma operação de leitura de dados. Para isso há um *latch* adicional antes do buffer de saída permitindo que o último valor lido seja armazenado temporariamente, enquanto uma nova leitura se inicia a partir do novo endereço de coluna.



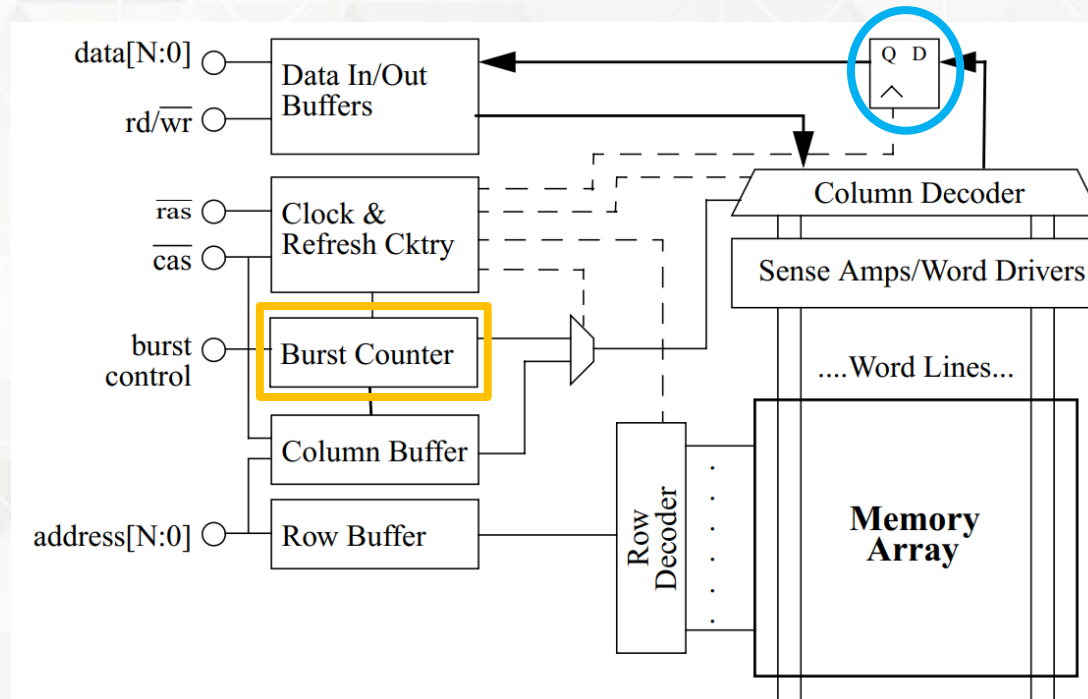
Dispositivos de memória

- **Memória Volátil:**

- **DRAM (Dynamic Random Access Memory):**

ADRAM - Asynchronous Dynamic Random Access Memory

Burst Extended Data Out (BEDO): Operação em rajada de até 4 endereços consecutivos.



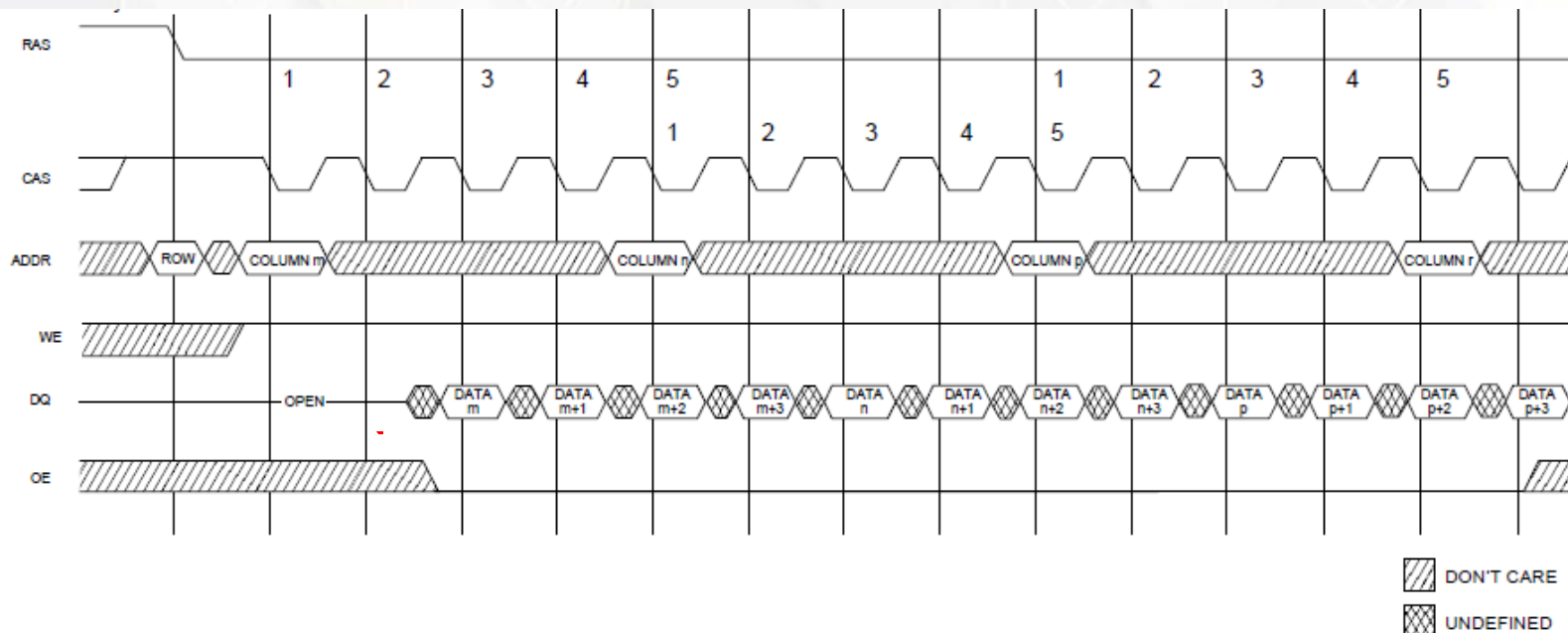
Dispositivos de memória

- **Memória Volátil:**

- **DRAM (Dynamic Random Access Memory):**

ADRAM - Asynchronous Dynamic Random Access Memory

Burst Extended Data Out (BEDO): Operação em rajada de até 4 endereços consecutivos.



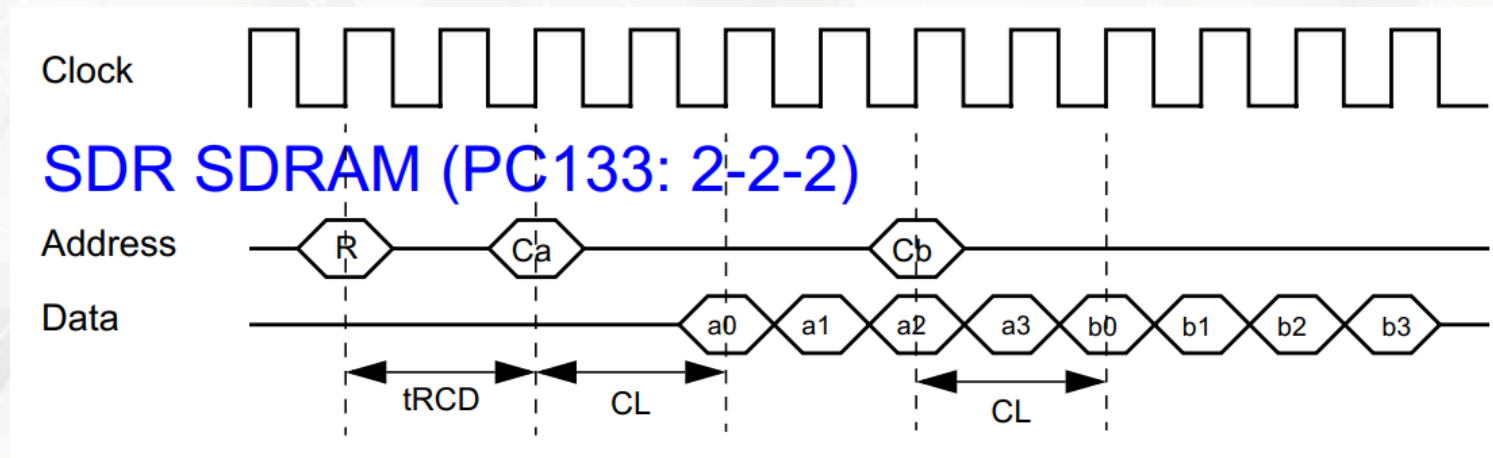
Dispositivos de memória

- **Memória Volátil:**

- **DRAM (Dynamic Random Access Memory):**

SDRAM - Synchronous Dynamic Random Access Memory

- Com operações síncronas, a DRAM armazena endereços, dados e informações de controle de acordo com o clock do sistema;
 - Por exemplo, num sistema de computador, a SRAM síncrona opera com o mesmo sinal de clock que o microprocessador de forma que o microprocessador e a memória estejam sincronizados para uma operação mais rápida.



Dispositivos de memória

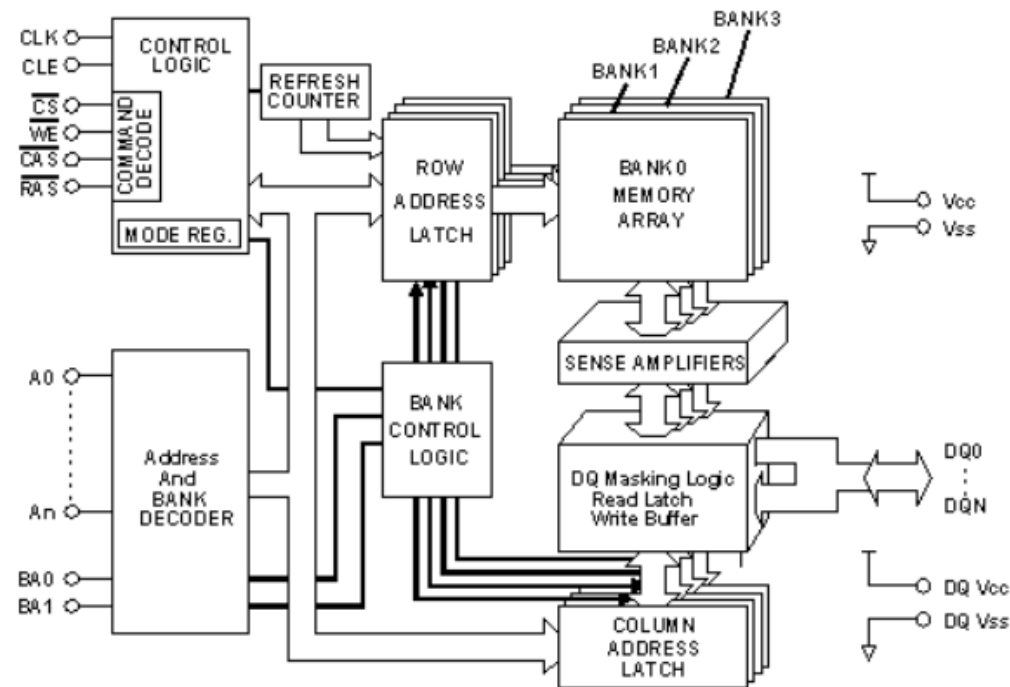
- **Memória Volátil:**

- **DRAM (Dynamic Random Access Memory):**

SDRAM - Synchronous Dynamic Random Access Memory

- **Buffer de dados:** agiliza a comunicação – mais linhas de entrada/saída de dados;
 - **Escrita em rajada (*Burst*):** A escrita em rajada permite até 16 bit de leitura/escrita consecutivos;

Functional Block Diagram of an SDRAM



Dispositivos de memória

- **Memória Volátil:**

- **DRAM (Dynamic Random Access Memory):**

SDRAM - Synchronous Dynamic Random Access Memory

- **Bancos de memória:** o controlador lógico dispara comandos de escrita/leitura consecutivos para bancos diferentes. Isso permite minimizar prejuízo relacionado a tempo de resposta da memória;



Single-Bank burst timing, dead time on interface



Multi-Bank burst timing, reduced dead time

Dispositivos de memória

- **Memória Volátil:**

- **DRAM (Dynamic Random Access Memory):**

SDRAM - Synchronous Dynamic Random Access Memory

- **Double-data rate (DDR):**

Operações realizadas tanto na **borda de subida** quanto na **borda de descida** do clock. Gerações cada vez mais rápidas e de menor tensão de trabalho:

- DDR: tensão 2.5V e clock em até 200MHz;
- DDR2: tensão 1.8V e clock em até 400 MHz. ;
- DDR3: tensão 1.5V e clock de até 800 MHz.
- DDR4: tensão 1 a 1.2 volts e clock de 1600 MHz.

Standard	Clock rate (MHz)	M transfers per second
DDR	133	266
DDR	150	300
DDR	200	400
DDR2	266	533
DDR2	333	667
DDR2	400	800
DDR3	533	1066
DDR3	666	1333
DDR3	800	1600
DDR4	1066–1600	2133–3200

Dispositivos de memória

- **Tipos especiais de memória:**

- **Memória FIFO (First Input First Output):**

- formado por um arranjo de registradores de deslocamento especial.
 - o primeiro bit de dado escrito na memória é o primeiro a ser lido;
 - Num registrador convencional, um bit de dado se move através do registro apenas quando um novo bit de dado é inserido; num registrador FIFO, um bit de dado passa imediatamente através do registrador para a posição do bit mais à direita que está vazio.

Registrador de deslocamento convencional					
Entrada	X	X	X	X	Saída
0	0	X	X	X	→
1	1	0	X	X	→
1	1	1	0	X	→
0	0	1	1	1	→

Registrador de deslocamento FIFO					
Entrada	—	—	—	—	Saída
0	—	—	—	0	→
1	—	—	1	0	→
1	—	1	1	0	→
0	0	1	1	0	→

Dispositivos de memória

- **Tipos especiais de memória:**
 - **Memória FIFO (First Input First Output):**

Aplicações:

- Dados telemétricos irregulares podem ser armazenados e retransmitidos a uma taxa constante;
- Entrada de dados a uma taxa constante que podem ser armazenados e enviados em rajadas.
- Entrada de dados via teclado a uma taxa lenta que podem ser armazenados e transferidos a uma taxa maior para processamento.

Registrador de deslocamento convencional					
Entrada	X	X	X	X	Saída
0	0	X	X	X	→
1	1	0	X	X	→
1	1	1	0	X	→
0	0	1	1	1	→

Registrador de deslocamento FIFO					
Entrada	—	—	—	—	Saída
0	—	—	—	0	→
1	—	—	1	0	→
1	—	1	1	0	→
0	0	1	1	0	→

Dispositivos de memória

- **Tipos especiais de memória:**

- **Memória LIFO (Last Input First Output):**

- o último byte de dados a ser armazenado é o primeiro byte de dados a ser recuperado;

Pilha RAM :

- Aplicado em sistemas microprocessador como o microcontrolador;
- Numa pilha RAM, os dados não se movem por conta própria mas o topo da pilha se move sob o controle de um registrador denominado de ponteiro de pilha (*stack pointer*).
- Escrita – *stack pointer* decrementa
- Leitura – *stack pointer* incrementa

Endereço de 16 bits
(hexadecimal)

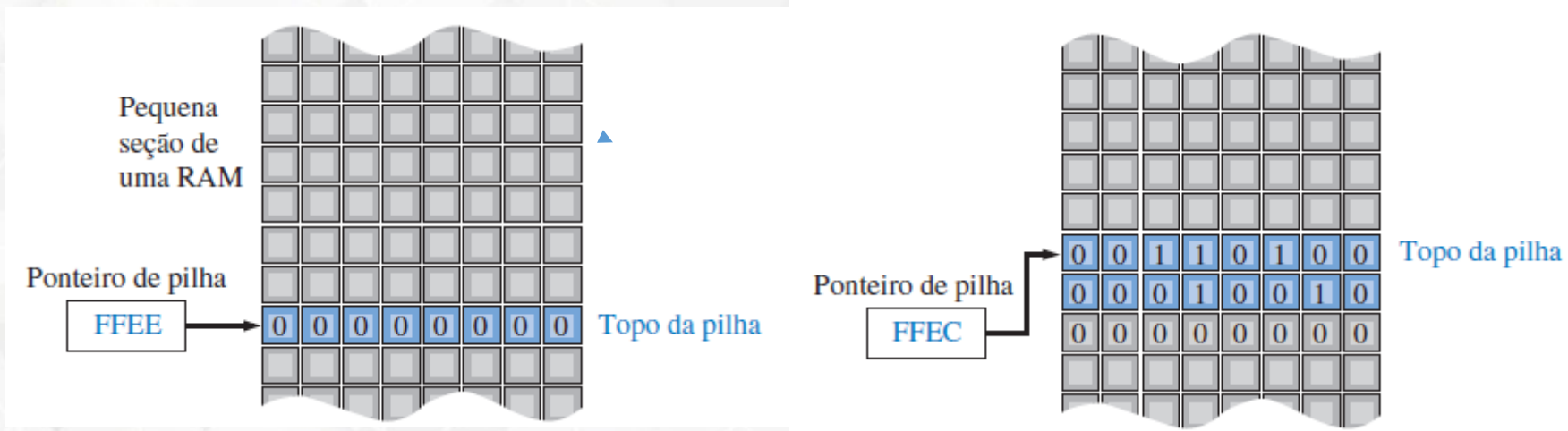
0000									
0001									
0002									
0003									
0004									
0005									
0006									
0007									
⋮									
FFF9									
FFFA									
FFFB									
FFFC									
FFFD									
FFFE									
FFFF									

Representação de uma memória de 64 kB com os endereços de 16 bits expressos em hexadecimal.

Dispositivos de memória

- **Tipos especiais de memória:**
 - **Memória LIFO (Last Input First Output):**
 - o último byte de dados a ser armazenado é o primeiro byte de dados a ser recuperado;

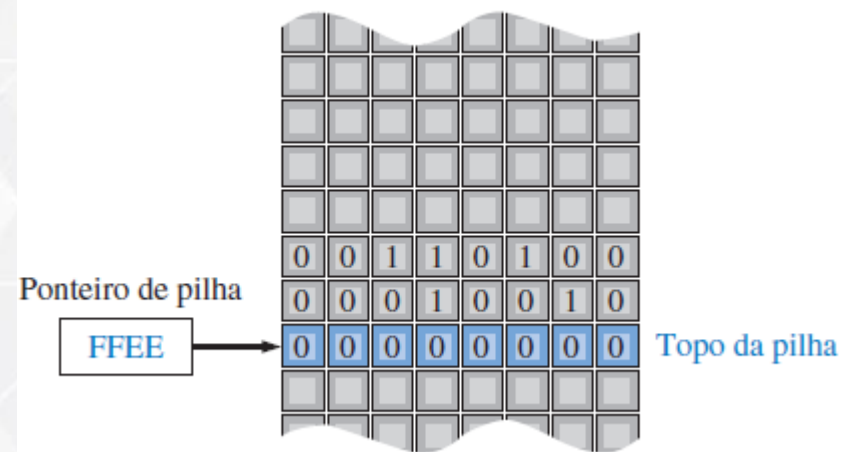
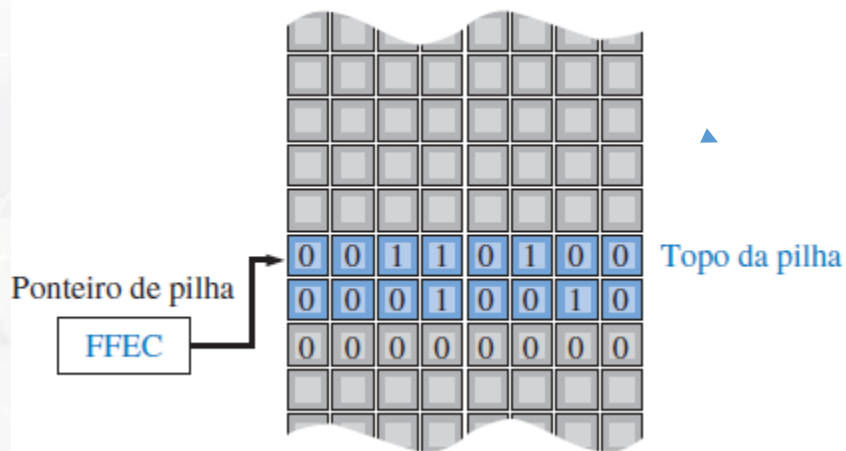
Pilha RAM :



Dispositivos de memória

- **Tipos especiais de memória:**
 - **Memória LIFO (Last Input First Output):**
 - o último byte de dados a ser armazenado é o primeiro byte de dados a ser recuperado;

Pilha RAM :



Dispositivos de memória

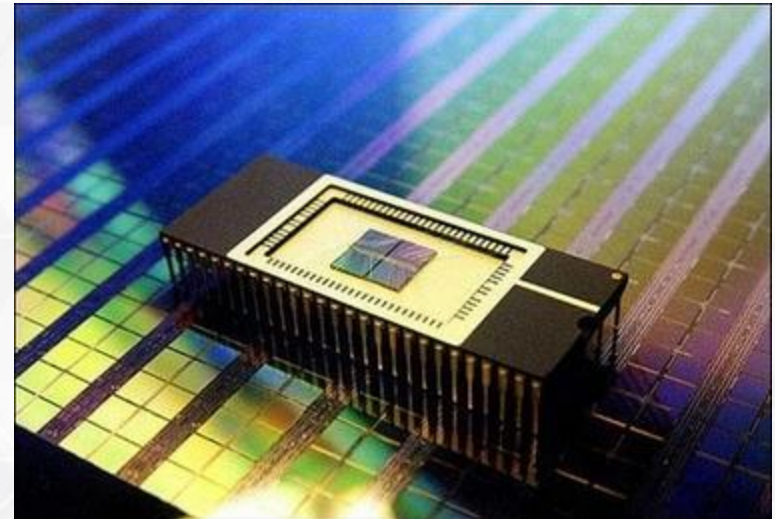
- **Novas tendências:**

- **NVRAM (Non-Volatile Random Access Memory)**

Buscam unir as vantagens da memória FLASH (não-volátil) e RAM (veloz).

- Phase-change RAM (PRAM)

As células de memória são baseadas em materiais de **mudança de fase**, que existem em duas fases com propriedades diferentes. Uma fase é chamada fase amorfa que tem maior resistividade elétrica. A outra fase é chamada de fase cristalina que tem menor resistividade elétrica. As duas fases podem ser **comutadas** por aplicar calor ao **material**.



Dispositivos de memória

- **Novas tendências:**

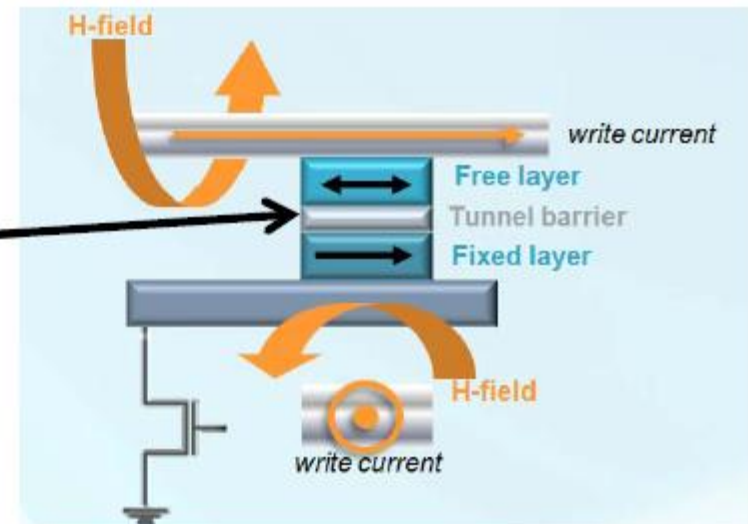
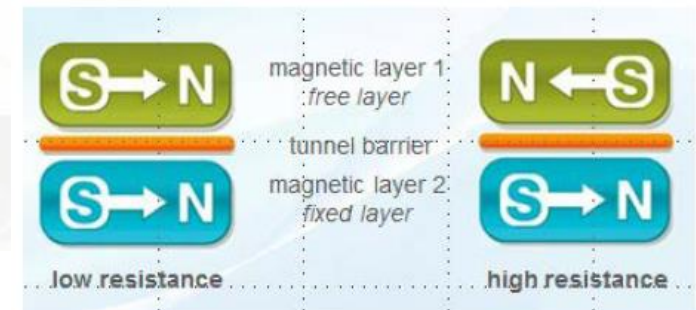
- **NVRAM (Non-Volatile Random Access Memory)**

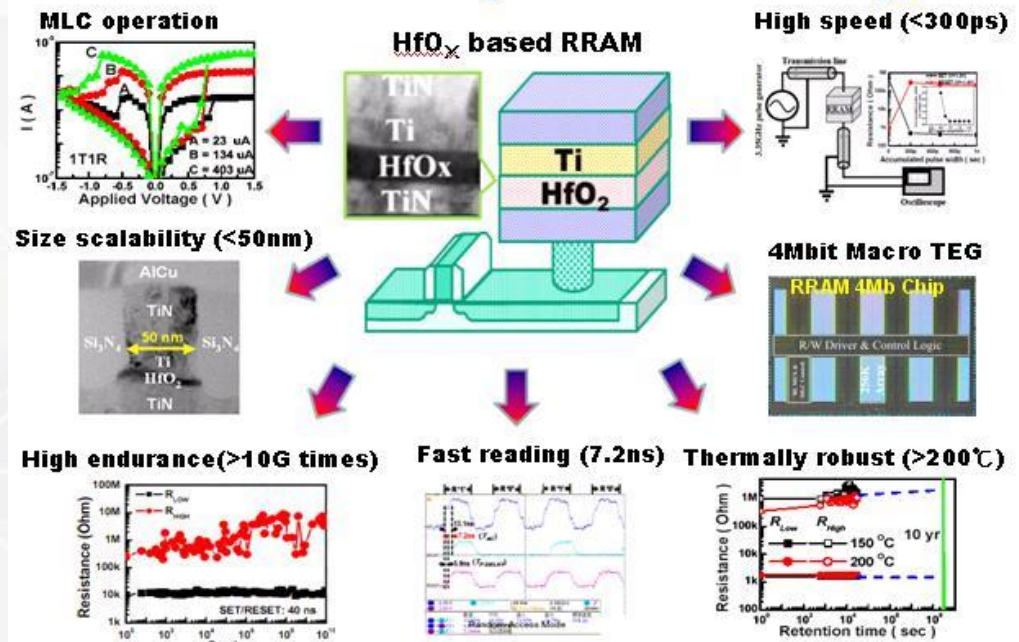
Buscam unir as vantagens da memória FLASH (não-volátil) e RAM (veloz).

- **Magnetoresistive RAM (MRAM)**

A MRAM é considerada uma candidato em potencial para o **próxima geração de memória**. Um bit é armazenado em um circuito de um MOSFET e um Magnetic Tunnel Junction (MTJ) em MRAM. A resistência elétrica da célula muda devido à orientação dos campos no MTJ.

Magnetic Tunnel Junction





Dispositivos de memória

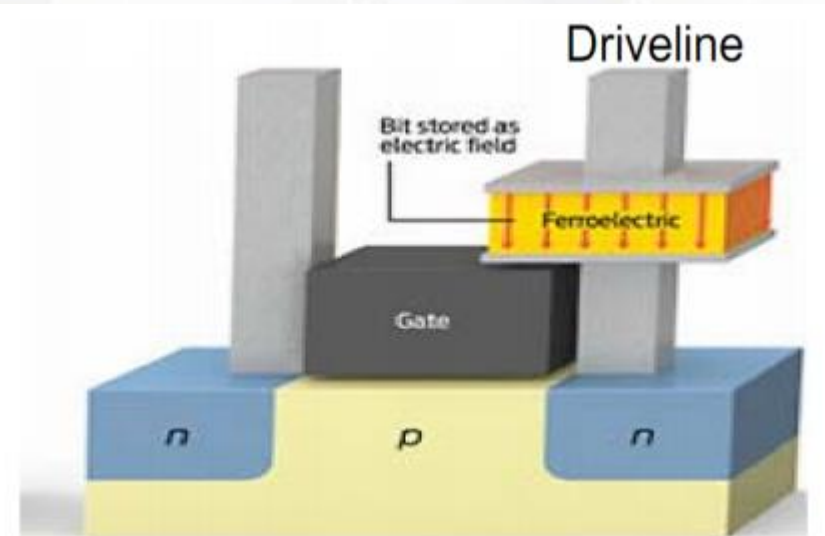
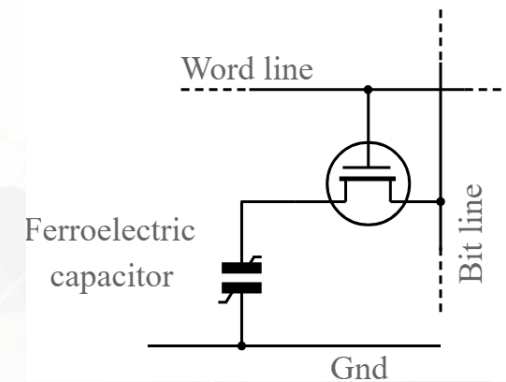
- **Novas tendências:**

- **NVRAM (Non-Volatile Random Access Memory)**

Buscam unir as vantagens da memória FLASH (não-volátil) e RAM (veloz).

- **Ferroelectric RAM (FRAM)**

Os dados são armazenados como uma **polarização elétrica** em cada célula de armazenamento de dados. As células de uma FRAM incluem transistores e condensadores também (por exemplo, 1T1C). No entanto, um dielétrico linear é usado em uma célula DRAM, enquanto o dielétrico estrutura em uma célula FRAM inclui material ferroelétrico. Esses materiais têm um dipolo elétrico intrínseco ligado a polaridades opostas com um campo elétrico externo.



Célula de memória FRAM

Dispositivos de memória

- **Novas tendências:**

- **NVRAM (Non-Volatile Random Access Memory)**

Buscam unir as vantagens da memória FLASH (não-volátil) e RAM (veloz).

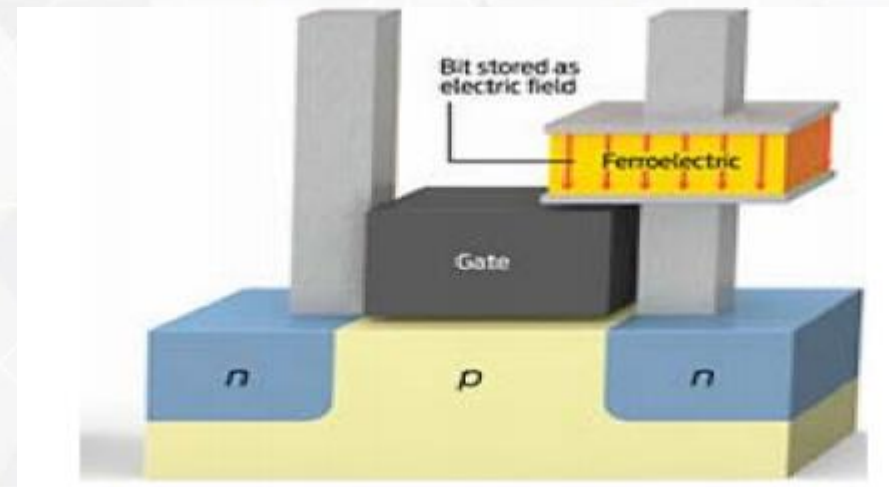
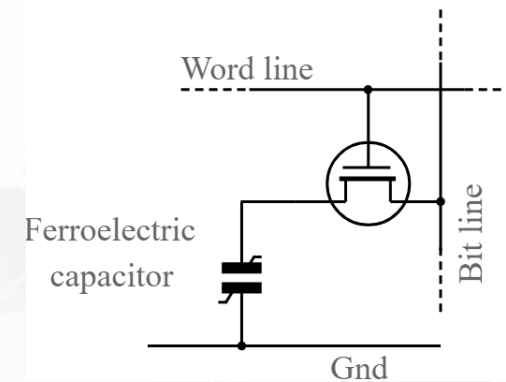
- **Ferroelectric RAM (FRAM)**

Vantagens:

- Baixa densidade, baixo custo;
- Velocidades de escrita maiores que a DRAM;
- Não necessita “refresh”

Desvantagem:

- Leitura pode destruir o dado armazenado.



Célula de memória FRAM

Dispositivos de memória

- **Novas tendências:**

- **NVRAM (Non-Volatile Random Access Memory)**

Buscam unir as vantagens da memória FLASH (não-volátil) e RAM (veloz).

- Comparação

Memory Type	Read Access Time	Write Access Time	Data Retention	Cell Area	Scalability	Read Voltage	Write Voltage	Write Energy	R/W Cycles
NAND Flash	110ns / 30ns	2 ms / 0.3ms	>10 years	4	18 nm	2V	15V	10 fJ/bit	1.E+05
NOR Flash	10ns	1 μ s / 10 ms	>10 years	10	18 nm	2V	12V	10 fJ/bit	1.E+05
SRAM	0.4ns	0.4ns	ON	120	13 nm	1.1V	1.1V	0.7 fJ/bit	1.E+16
DRAM	30ns	30ns	64ms	6	15-20 nm	2V	2V	5 fJ/bit	1.E+16
MRAM	20 ns	20 ns	>10 years	15-20	90 nm	1.5V	1.5V	70 pJ/bit	1.E+16
PCRAM	60ns	50ns	>10 years	5	18 nm	3V	3V	5 pJ/bit	1.E+08
FeRAM	45ns	10ns	>10 years	20-25	65nm	1-3V	1-3V	30 fJ/bit	1.E+14