

Hierarquia de Memória

No projeto de um sistema digital, deve-se ter em mente que *hardware* menor geralmente é mais rápido do que *hardware* maior.

A propagação do sinal é uma das principais causas de atrasos. No caso da memória, quanto maior mais atraso de sinal e mais níveis para decodificar endereços.

Na maioria das tecnologias, pode-se obter memórias menores que são mais rápidas do que memórias maiores.

As memórias mais rápidas estão geralmente disponíveis em números menores de bits por integrado e custam substancialmente mais por byte.

Hierarquia de Memória

O aumento da largura de banda da memória e a diminuição do tempo de acesso à memória são também importantes para o desempenho do sistema.

O princípio da localidade se baseia no fato de que, num intervalo virtual de tempo, os endereços virtuais gerados por um programa tendem a ficar restritos a pequenos conjuntos do seu espaço. Isto se deve a iterações, seqüenciamento das instruções e estruturas em bloco.

Assim sendo, deveríamos manter os itens mais recentemente utilizados na memória mais rápida e o mais próximo possível da CPU.

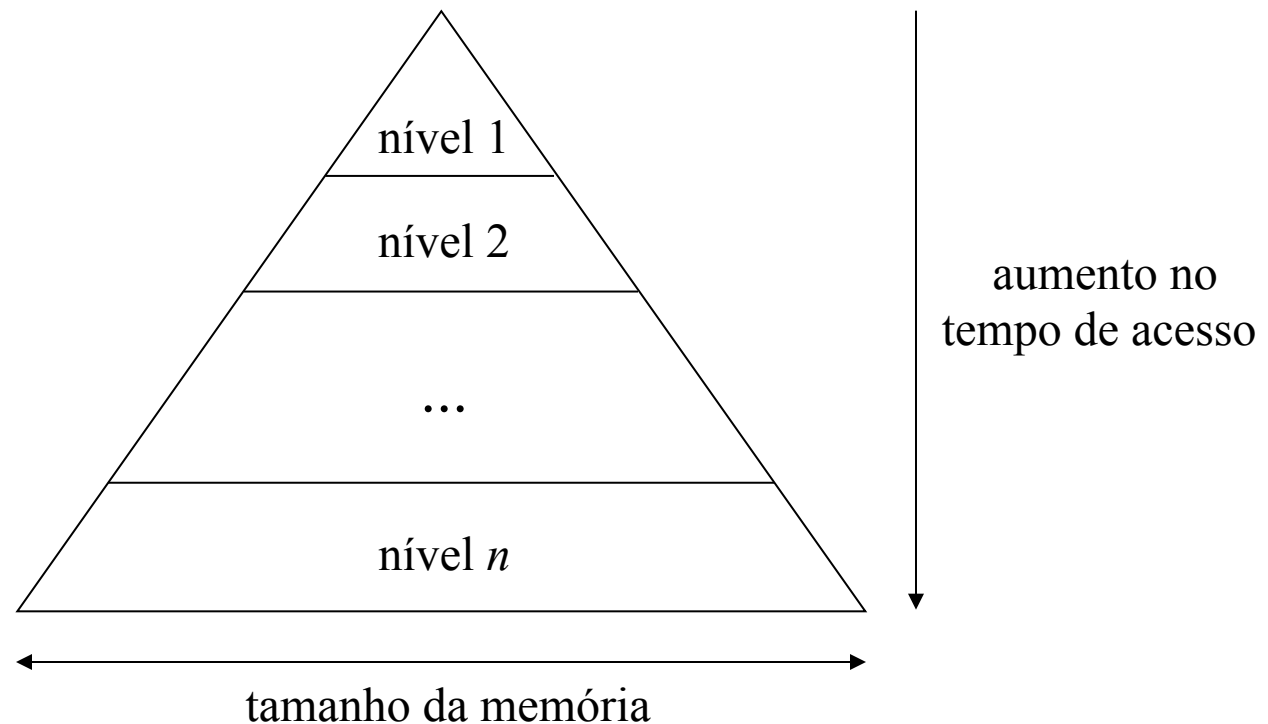
Hierarquia de Memória

Há três componentes do princípio da localidade, que coexistem num processo ativo:

- localidade temporal: há uma tendência a que um processo faça referências futuras a posições feitas recentemente;
- localidade espacial: há uma tendência a que um processo faça referências a posições na vizinhança da última referência;
- localidade seqüencial: há uma tendência a que um processo faça referência à posição seguinte à atual.

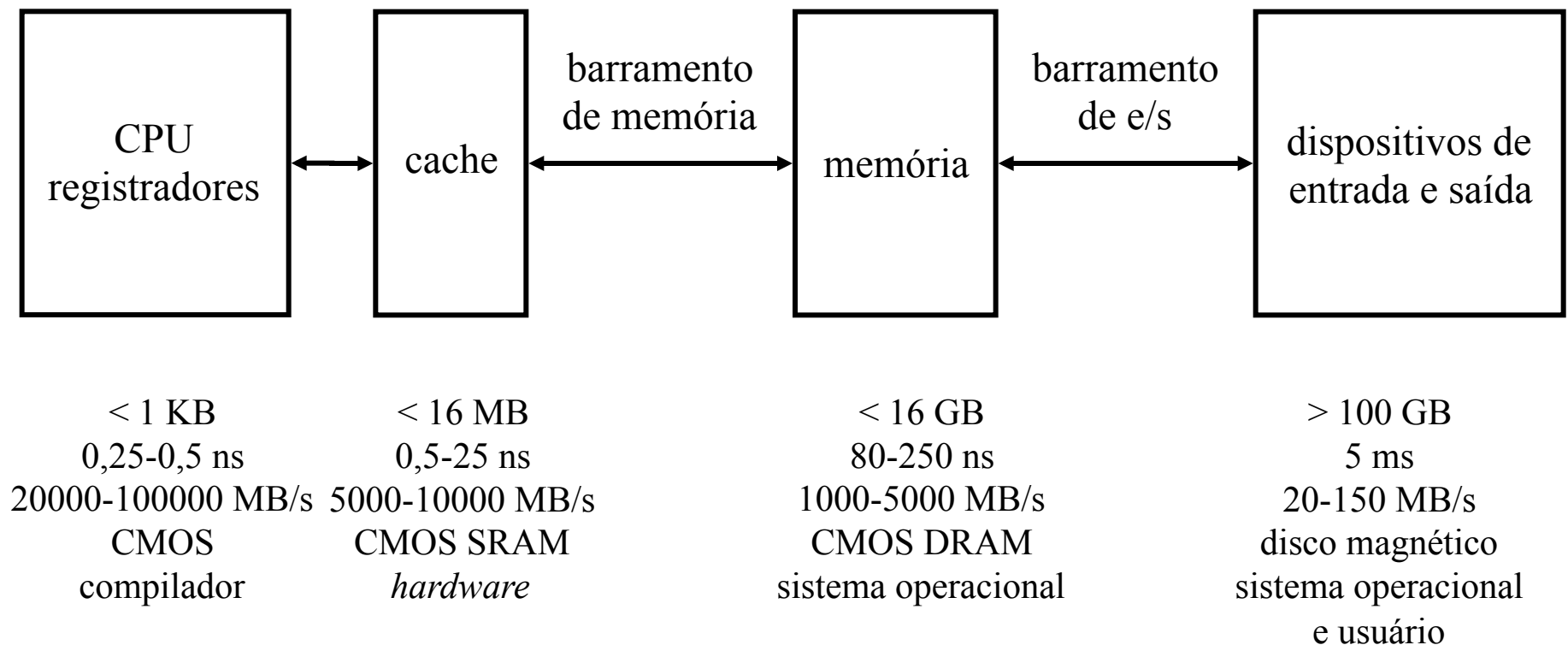
Hierarquia de Memória

Hierarquia de memória consiste em diferentes níveis de memória, associados a diferentes velocidades de acesso e tamanhos.



Hierarquia de Memória

Os níveis da hierarquia são subconjuntos uns dos outros. Todos os dados encontrados em um nível também são encontrados no nível abaixo dele e assim sucessivamente.



Hierarquia de Memória

Taxa de acerto (*hit ratio* - h) consiste na proporção dos acessos à memória encontrados em um nível da hierarquia.

Taxa de falha (*miss ratio* - m) consiste na proporção dos acessos à memória não encontrados em um nível da hierarquia.

$$m = 1 - h$$

Ciclos de parada por memória (*ncp*) consiste do número de ciclos que a CPU espera por um acesso à memória, quando ocorre uma falha de acesso.

Hierarquia de Memória

O tempo de execução da CPU deve, então, levar em conta o número de ciclos de parada por memória:

$$tc = (ncc + ncp) \times cc$$

O número de ciclos de parada depende do número de erros (ne) e do custo por erro ou penalidade de erro (pe):

$$ncp = ne \times pe$$

$$ncp = ni \times \frac{\text{erros}}{\text{instrução}} \times pe \quad \Rightarrow \quad ncp = ni \times \frac{\text{acessos à memória}}{\text{instrução}} \times m \times pe$$

Hierarquia de Memória

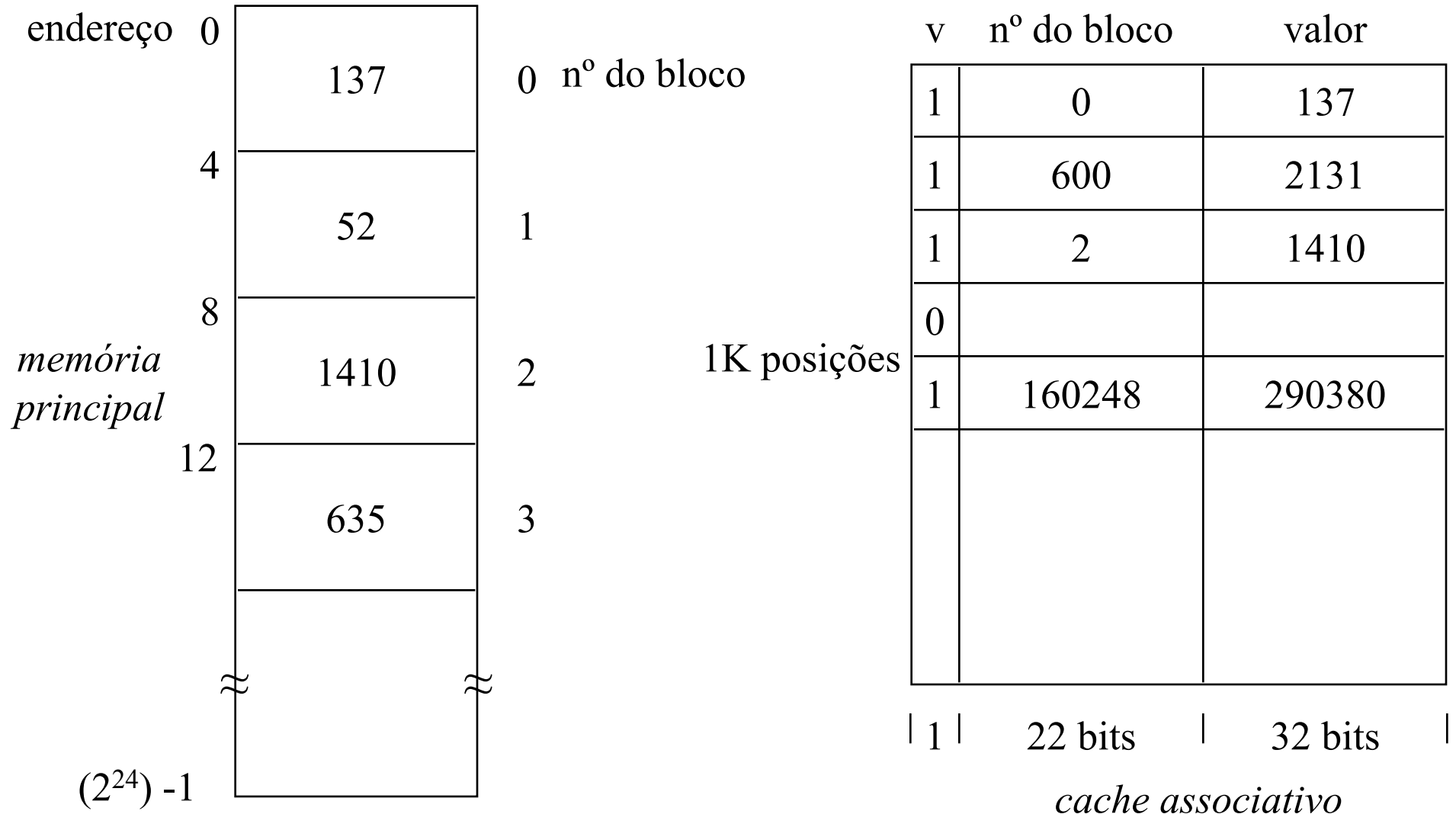
Um bloco consiste da unidade mínima de informação que pode estar presente ou ausente entre dois níveis da hierarquia.

A memória principal, de 2^m bytes, é dividida em blocos consecutivos de b bytes, totalizando $(2^m)/b$ blocos.

Cada bloco tem um endereço, que é um múltiplo de b , e o tamanho do bloco é, normalmente, uma potência de 2.

O *cache* associativo apresenta um número de posições, cada uma contendo um bloco e seu número de bloco, junto com um bit, que diz se aquela posição está em uso ou não. A ordem das entradas é aleatória.

Hierarquia de Memória



Hierarquia de Memória

Se o *cache* estiver cheio, uma entrada terá que ser descartada para deixar lugar para uma nova.

Quando aparece um endereço de memória, o microprograma deve calcular o número do bloco e, então, procurar aquele número no *cache*.

Para evitar a pesquisa linear, o *cache* associativo pode fazer uso de uma memória associativa, que compara simultaneamente todas as entradas com o número do bloco dado. Isto torna o *cache* associativo caro.

No *cache* com mapeamento direto, cada bloco é colocado numa posição, cujo número pode corresponder, por exemplo, ao resto da divisão do número do bloco pelo número de posições.

Hierarquia de Memória

posição	v	tag	valor	endereços
0	1	0	137	0, 4096, 8192, 12288, ...
1	1	600	2131	4, 4100, 8196, 12292, ...
2	1	2	1410	8, 4104, 8200, 12296, ...
3	0			
1023	0			4092, 8188, 12284, 16380, ...

*cache com
mapeamento direto*

Hierarquia de Memória

O campo *tag* guarda a parte do endereço que não participa do endereçamento da posição.

Ex: Seja a palavra no endereço 8192.

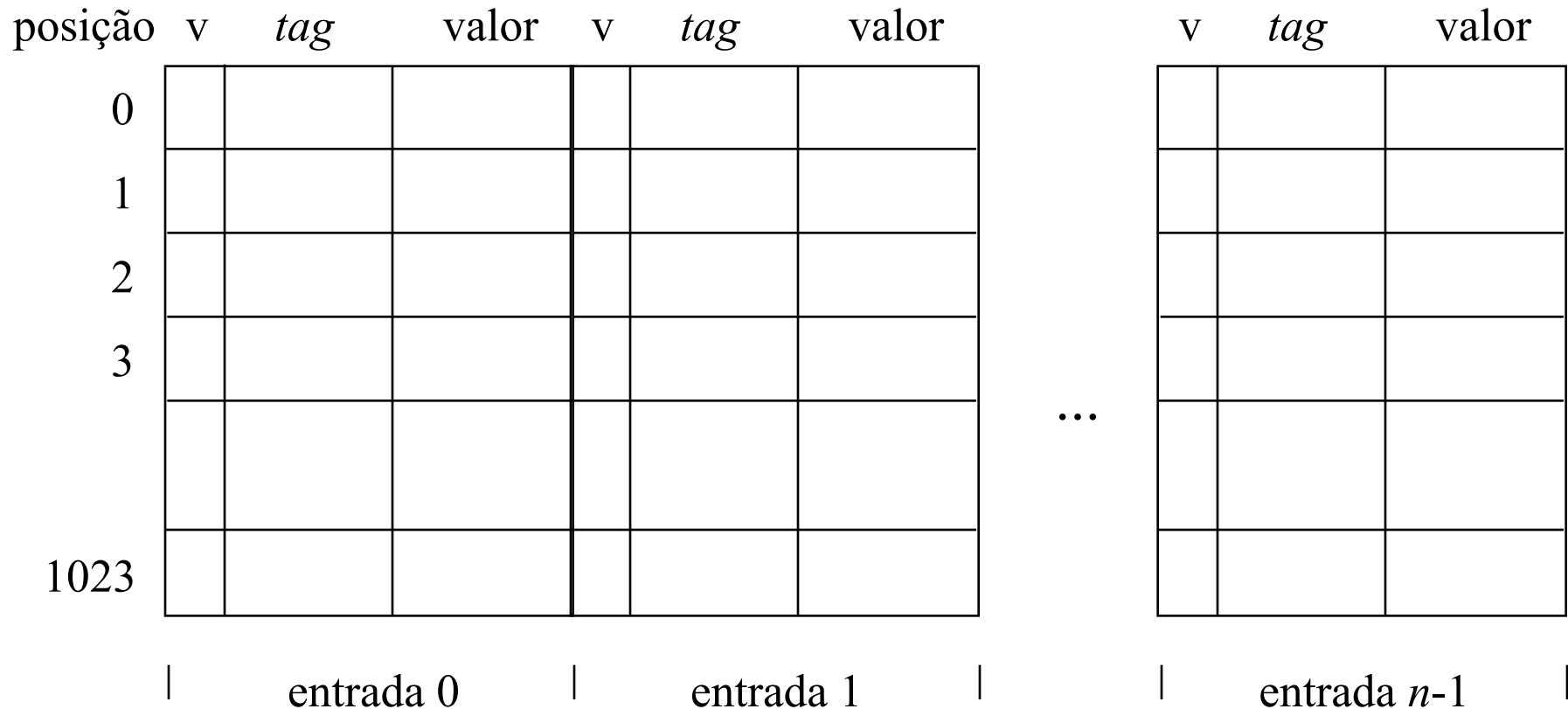
endereço da palavra	<table><tr><td><i>tag</i></td><td>posição</td><td>00</td></tr></table>	<i>tag</i>	posição	00
	<i>tag</i>	posição	00	
<table><tr><td>12 bits</td><td>10 bits</td><td>2</td></tr></table>	12 bits	10 bits	2	
12 bits	10 bits	2		

Os dois bits menos significativos são 0, pois os blocos são inteiros e múltiplos do tamanho do bloco (4 *bytes*).

O fato de que blocos múltiplos mapeiam na mesma posição pode degradar o desempenho do *cache*, se muitas palavras que estiverem sendo usadas mapeiem na mesma posição.

Hierarquia de Memória

No *cache* associativo por conjunto utiliza-se um *cache* de mapeamento direto com múltiplas entradas por posição.



Hierarquia de Memória

Tanto o *cache* associativo quanto o de mapeamento direto são casos especiais do *cache* associativo por conjunto.

O *cache* de mapeamento direto é mais simples, mais barato e tem tempo de acesso mais rápido.

O *cache* associativo tem uma taxa de acerto maior para qualquer dado número de posições, pois a probabilidade de conflitos é mínima.

Hierarquia de Memória

Uma técnica para manipular escritas é denominada *write through*, quando uma palavra é escrita de volta na memória imediatamente após ter sido escrita no *cache* (consistência de dados).

Outra técnica é denominada *copy back*, em que a memória só é atualizada quando a entrada é expurgada do *cache* para permitir que outra entrada tome conta da posição (consistência de dados).

Hierarquia de Memória

A técnica *write through* causa mais tráfego de barramento.

A técnica *copy back* pode gerar inconsistência se o processador efetuar uma transferência entre memória e disco, enquanto a memória não tiver sido atualizada.

Se a razão de leituras para escritas for muito alta, pode ser mais simples usar *write through*.

Se houver muitas escritas, pode ser melhor usar *copy back* e fazer com que o microprograma expurgue todo o *cache* antes de uma operação de entrada/saída.