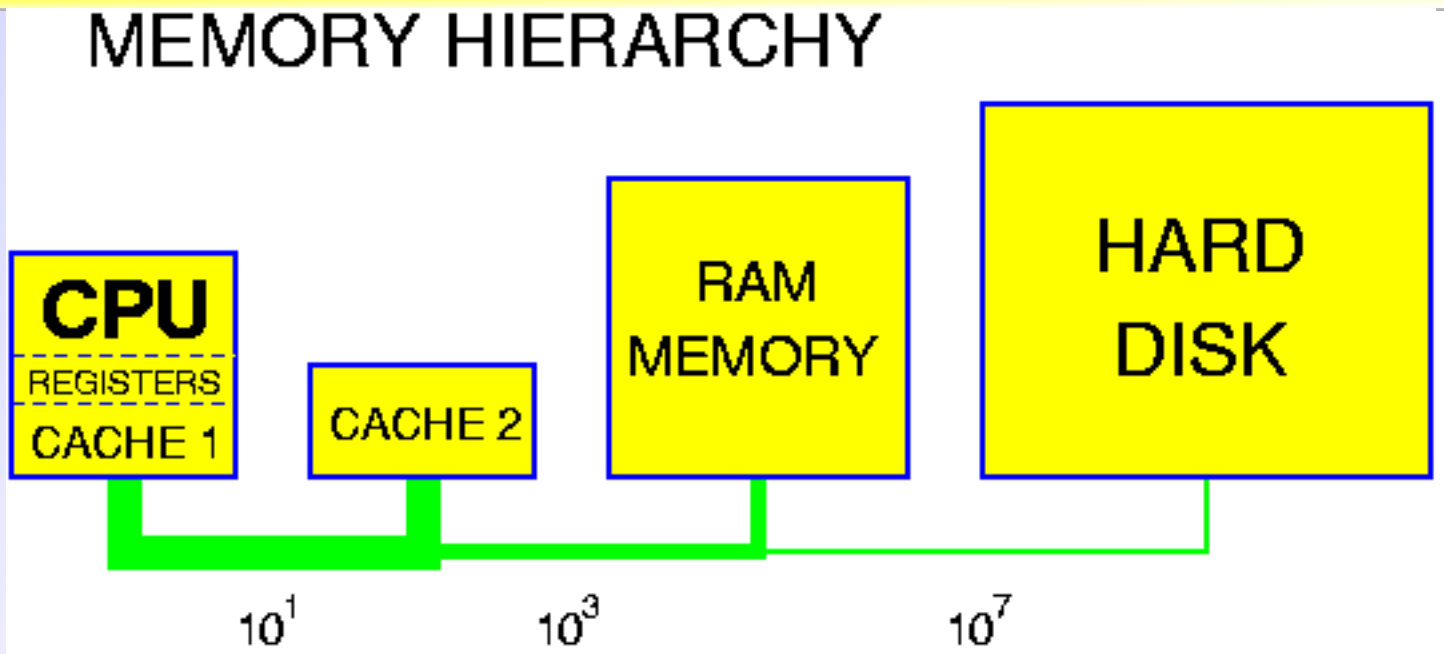
Memória Virtual

Conteúdo

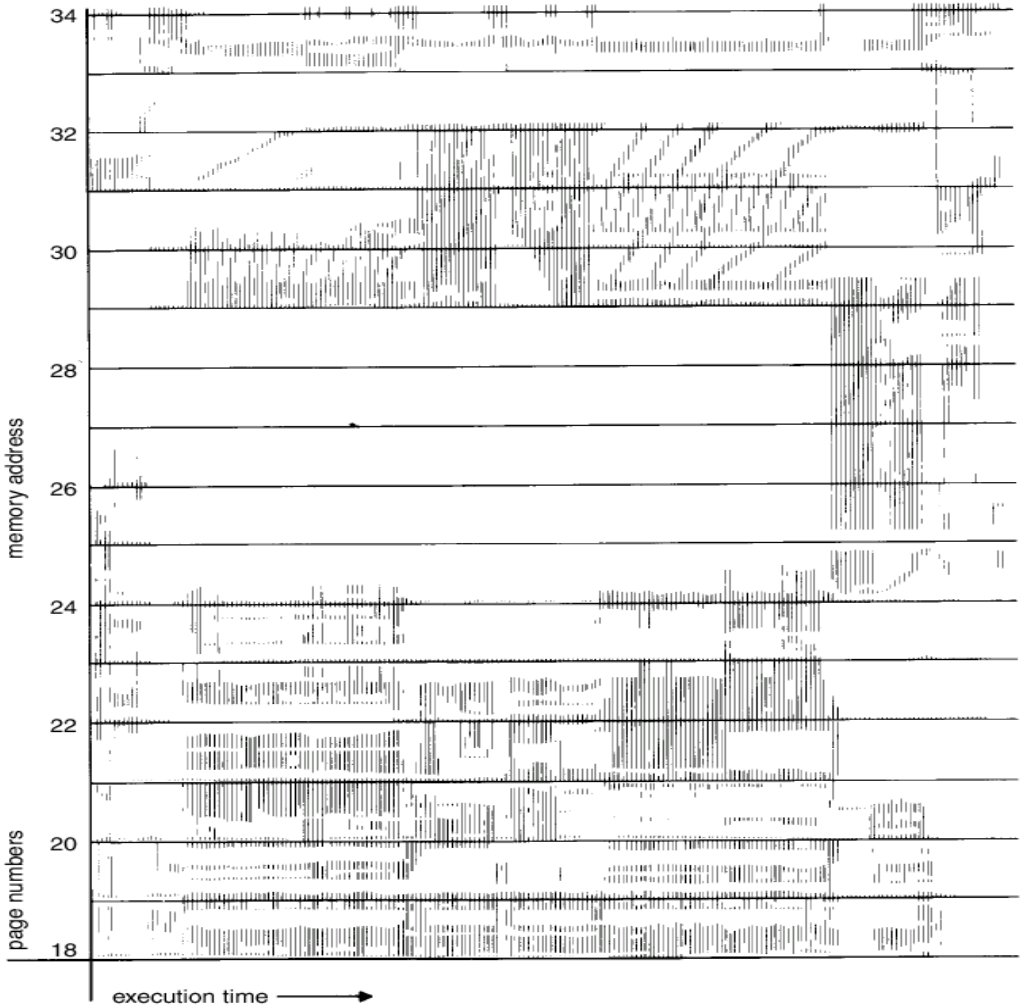
- Localidade de Referência
- **Memória Virtual e Paginação**
- Ordenação Externa
  - Intercalação balanceada
  - Seleção por substituição
  - Intercalação polifásica
  - Quicksort externo
- Árvores B, B*

Hierarquia de memória



Indicated are approximate numbers of clock cycles to access the various elements of the memory hierarchy

Localidade em padrões de acesso



Pesquisa em Memória Secundária

- Localidade de Referência Temporal:
  - Sistemas de hierarquia de memória
- Localidade de Referência Espacial:
  - Estruturas de paginação
- Projeto de um sistema de memória secundária
  - Dimensionamento de cada nível de memória
    - Benefício x custo
  - Dimensionamento de páginas
    - Pequenas demais: muitos “misses”, poucos “hits”
    - Grande demais: fragmentação: memória ocupada por dados que não serão acessados

Pesquisa em Memória Secundária

- O que fazer quando os dados (e.g. vetor a ser ordenado) não cabem na memória principal?
- Como implementar de forma eficiente a interface entre dois níveis de memória, e.g., RAM e disco?
- Solução: VIRTUALIZAÇÃO DE MEMÓRIA

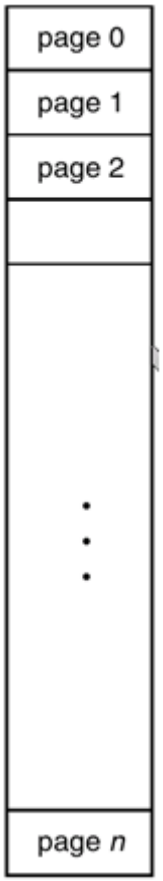
Memória Virtual

Espaço de endereçamento virtual:

- Não possui relação com o espaço físico de memória
- Permite o uso de dispositivos adicionais, tais como discos rígidos, como se fosse memória (RAM)
- Permite o uso de mais “memória” do que o fisicamente instalado no sistema. (Resolve o problema de falta de memória)
- Permite que cada programa tenha um espaço de endereçamento contíguo que começa com 0x0000

Visão do usuário

Endereço lógico



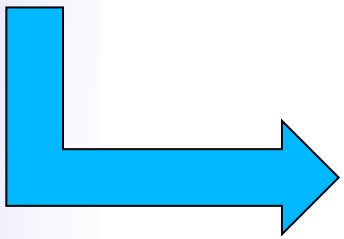
- Sistema tem 20 bits de endereçamento de páginas. Cada página tem 1KB.
  - Quantas páginas tem o sistema?

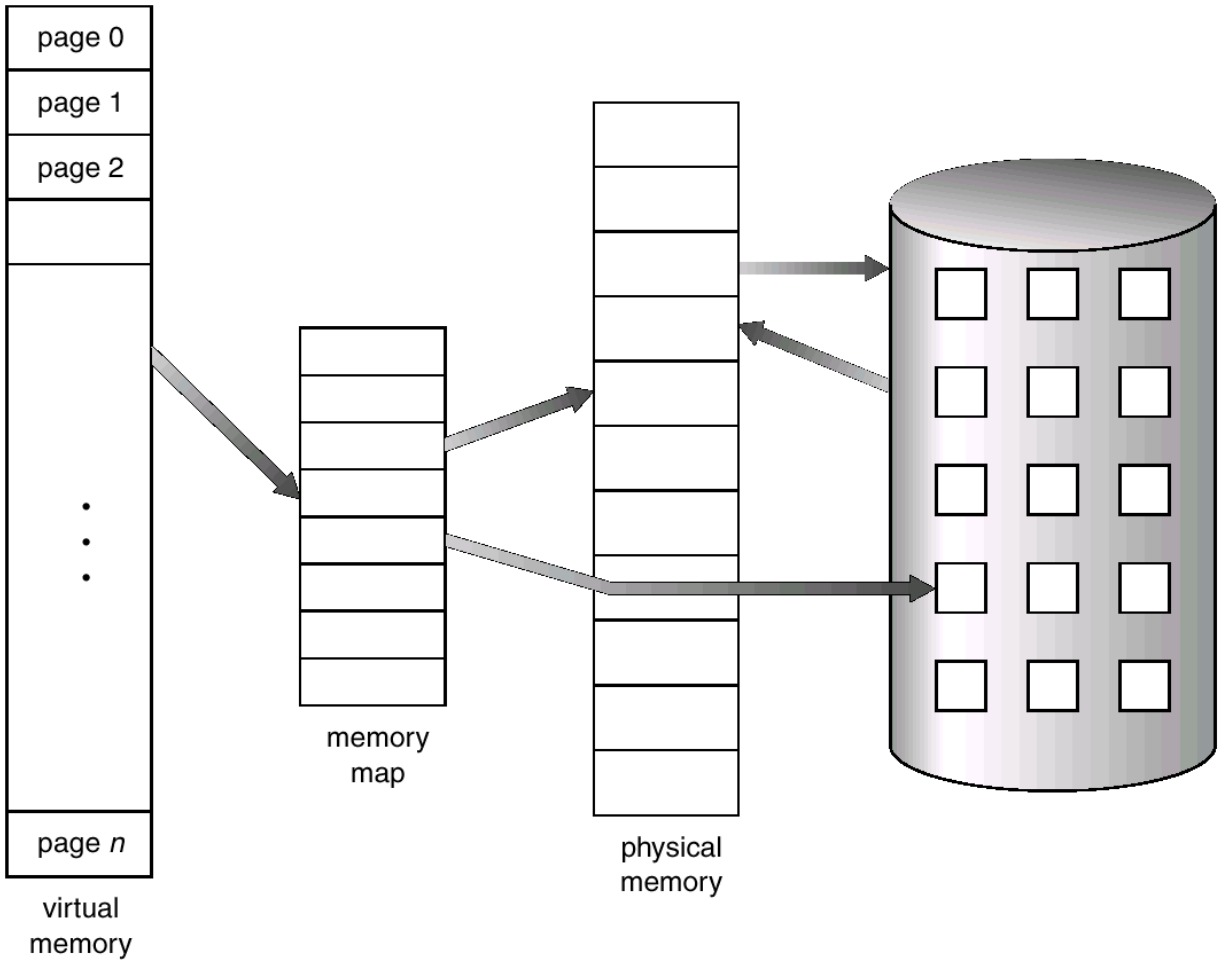
    2^{20}
  - Quanto de memória disponível?

    $2^{20} * 2^{10}B = 1GB$
  - Tem isso mesmo de memória ?

Sistema de Memória Virtual

Endereço lógico





UFMG - ICEx
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

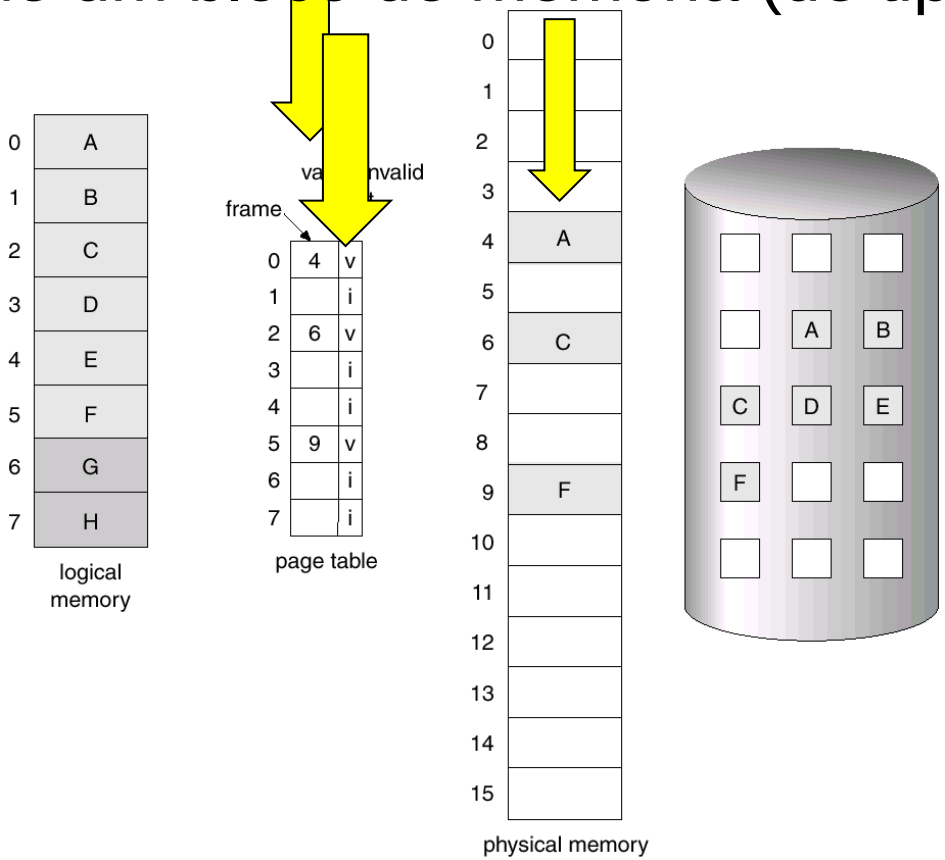
Sistema de Memória Virtual - Componentes

Página virtual: bloco de memória de tamanho fixo no espaço de endereçamento (512B-4KB)

Moldura de página: bloco de tamanho fixo (512B-4KB) em memória principal (*frame*, página física)

Tabela de páginas: vetor de *páginas virtuais*. Descreve o conteúdo e localização de um bloco de memória (de tipicamente 4KB)

Realiza o mapeamento entre endereços físicos e lógicos



Memória Virtual: componentes

Página virtual:

Ex. formato arquitetura x86:

- Bit 0 (P): flag de presença em memória
- Bit 1 (R/W): permissão de leitura/escrita
- Bit 5 (A): flag de acesso
- Bit 6 (D): flag de “sujeira”, ou escrita
- Bits 12-31 (frame): endereço da moldura de página

X86: se uma página tem 4KB, qual é o máximo de memória endereçável por um processo?

2^20x4x2^10=4GB

Memória Virtual: Sistema de Paginação

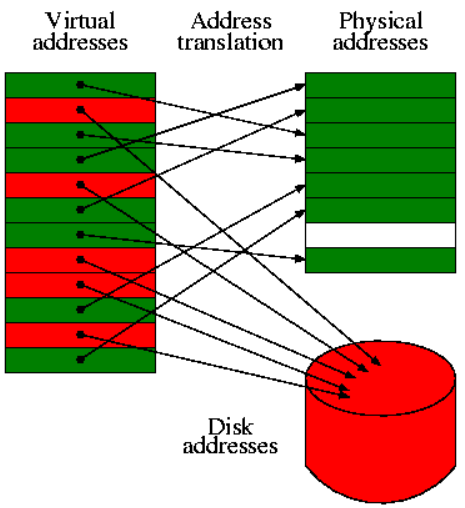
O espaço de endereçamento (virtual) é dividido em páginas de tamanho igual, em geral, múltiplos de 512 bytes.

A memória principal (RAM) é dividida em molduras de páginas de tamanho igual.

As molduras de páginas contêm algumas páginas ativas enquanto o restante das páginas estão residentes em memória secundária(páginas inativas)

Páginas ativas

Páginas inativas



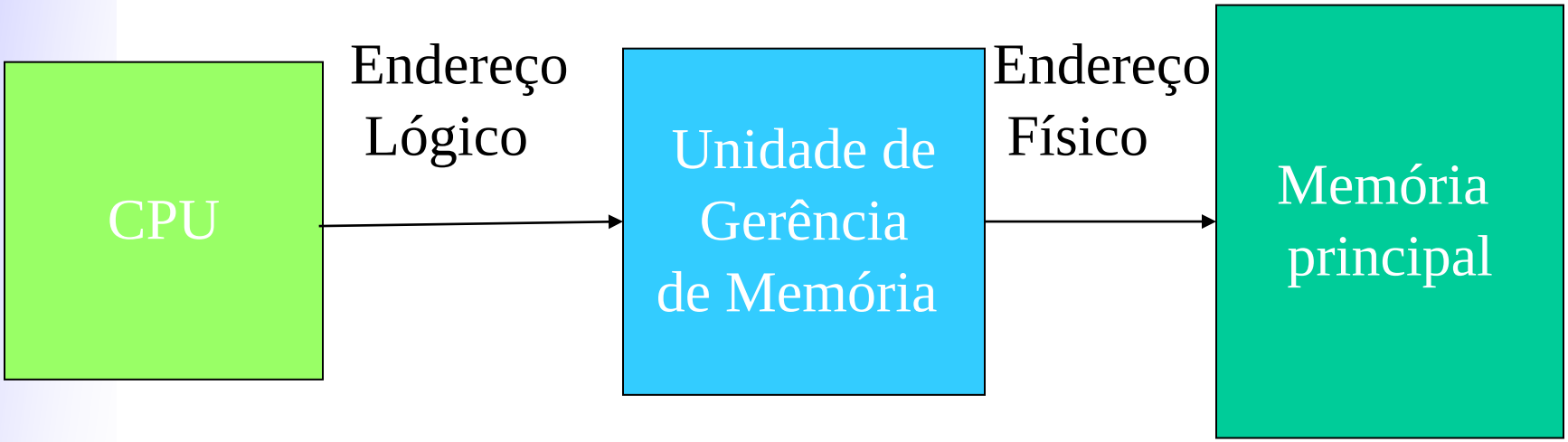
Memória Virtual: Sistema de Paginação

O mecanismo possui duas funções (executadas pela UGM):

1. Mapeamento de endereços: determinar qual página um programa está endereçando, encontrar a moldura, se existir, que contenha a página.
2. Transferência de páginas: transferir páginas da memória secundária para a memória primária e transferí-las de volta para a memória secundária quando não estão mais sendo utilizadas.

Mapeamento de endereços

Unidade de Gerência de Memória (UGM) mapea endereço lógico em endereço físico:



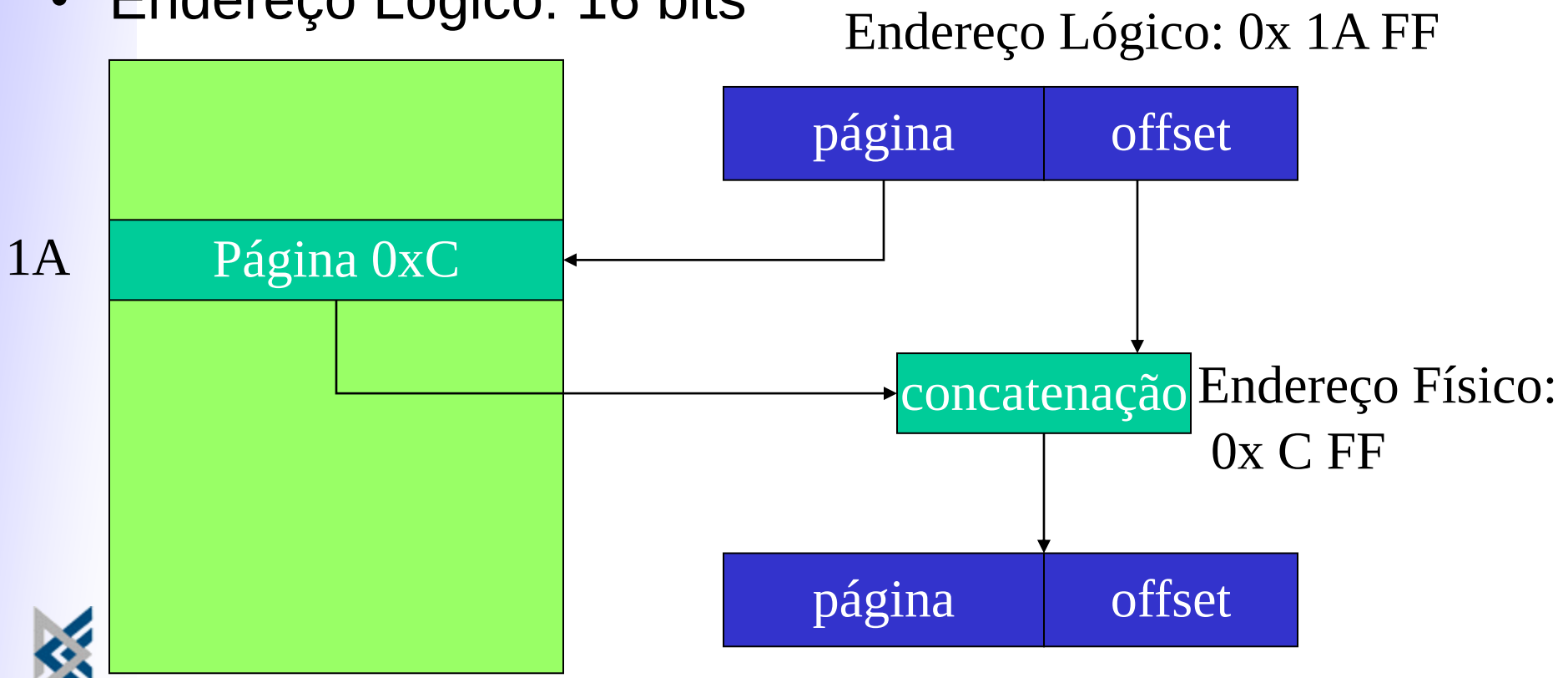
Mapeamento de endereços

Exemplo:

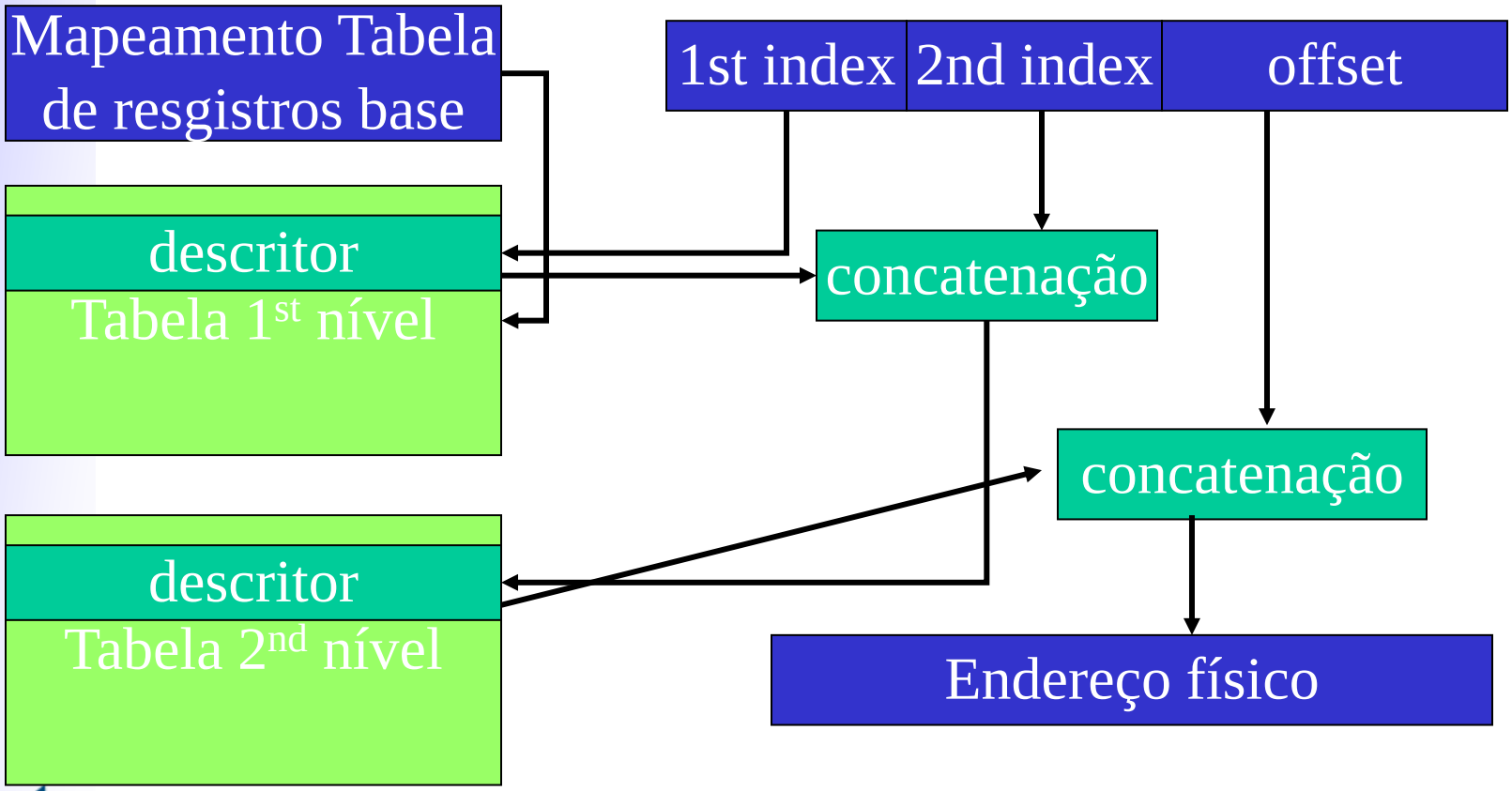
- Espaço de endereçamento (virtual): 24 bits e
- Tamanho de página: 512 bytes (2^9):
  - Tamanho da memória virtual: 2^24 bytes
  - 9 bits são usados para representar o número do *byte* dentro da página
  - 15 bits são usados para representar o número da página

Mapeamento de endereço

- Página com 256 (2^8) bytes.
- Endereço Lógico: 16 bits



Mapeamento de endereço - ARM



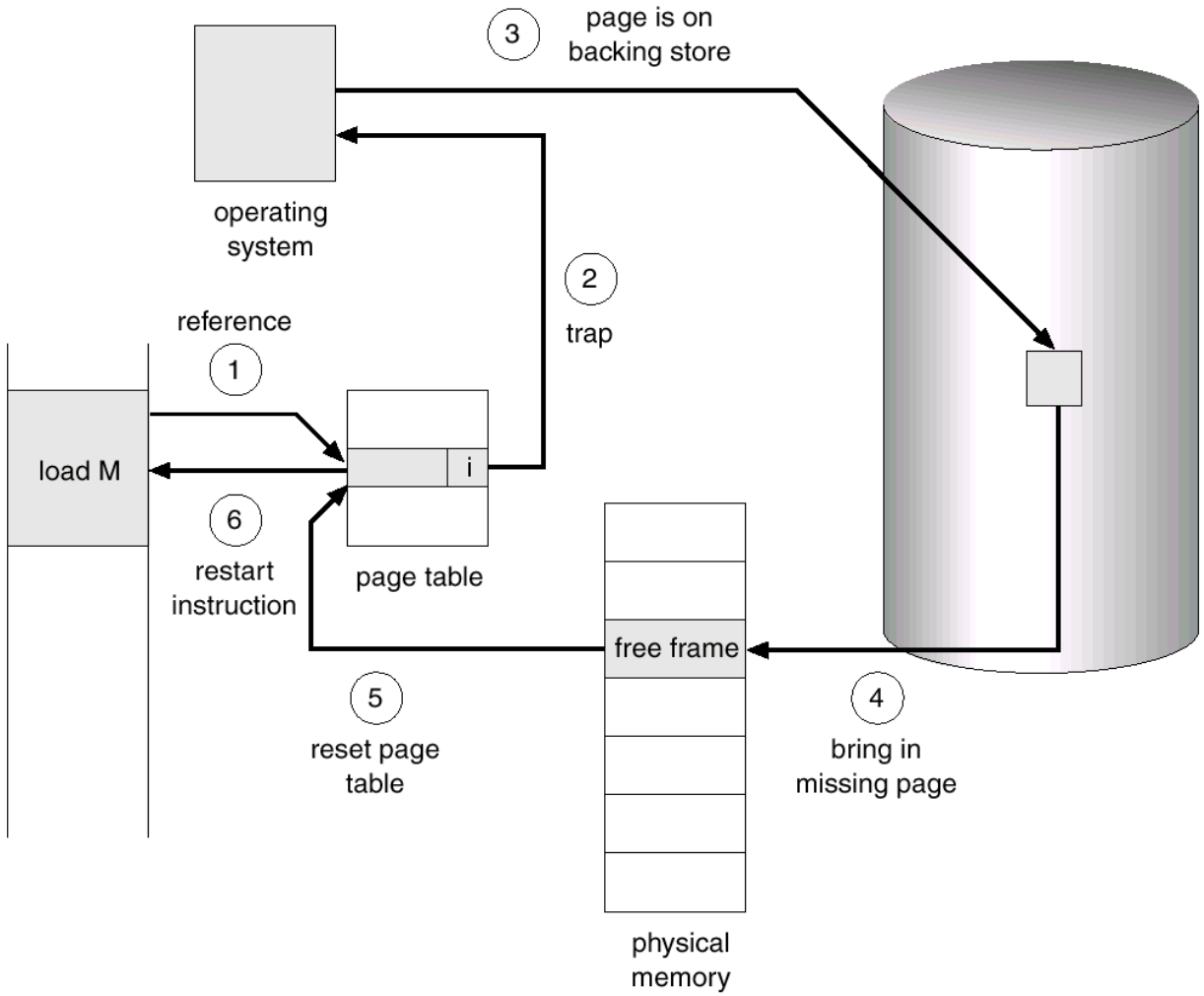
Paginação sob demanda

- Trazer as páginas para a memória física apenas quando necessárias
  - Menos E/S
  - Menor área de memória
  - Resposta mais rápida
  - Mais processos/usuários
- Bit válido/inválido usado para controlar presença

Falha de página (*page fault*)

- Na primeira referência a uma página: TRAP
- S.O. consulta tabela de paginação virtual
  - Referência inválida → aborta o processo
  - Pág. ausente → localiza a página no disco
- Obtém um quadro vazio
- Carrega a página no quadro
- Atualiza a tabela de páginas
- Reinicia a instrução que gerou a página

Falha de página (*page fault*)

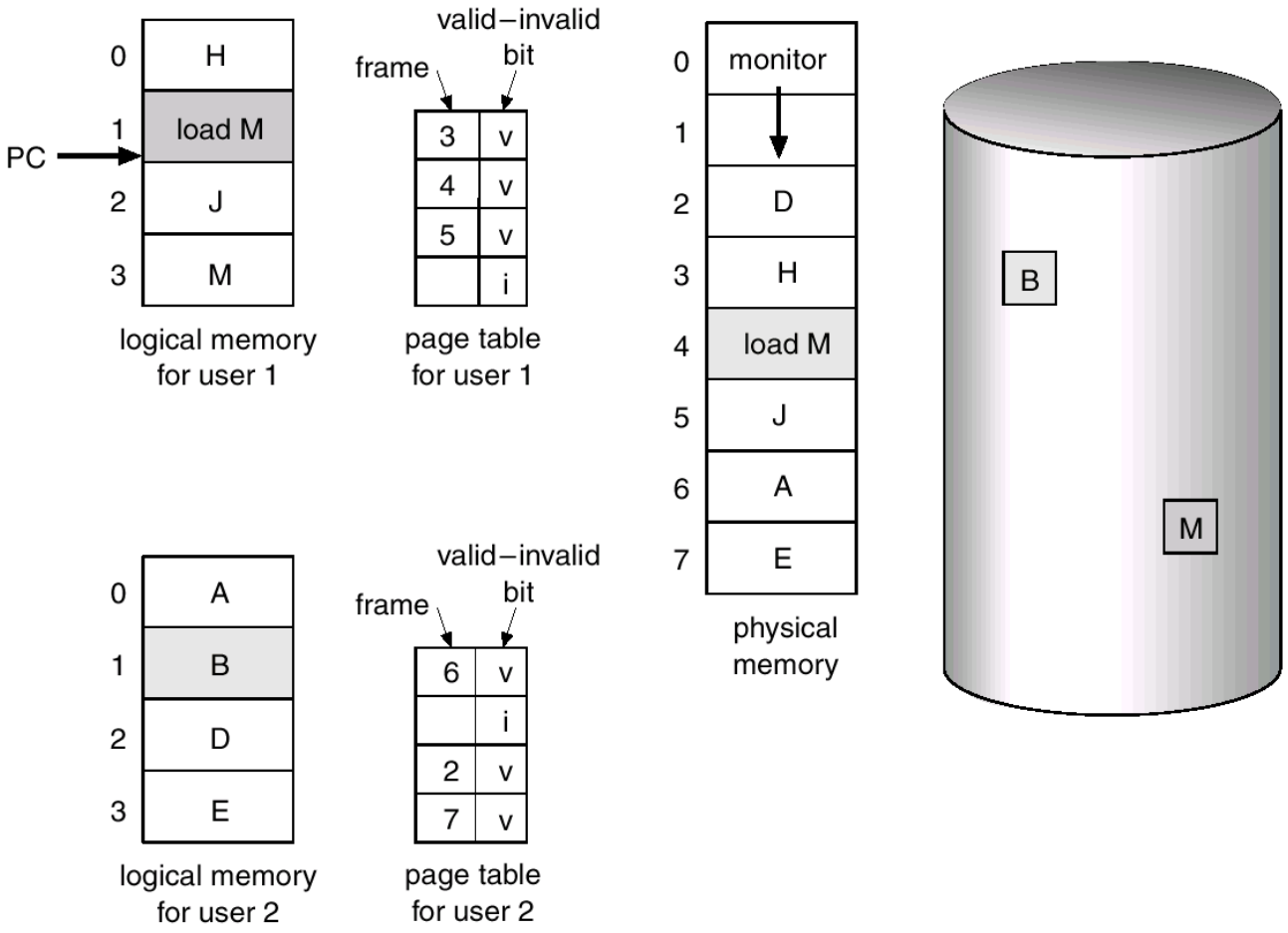


E se não houver um quadro vazio?

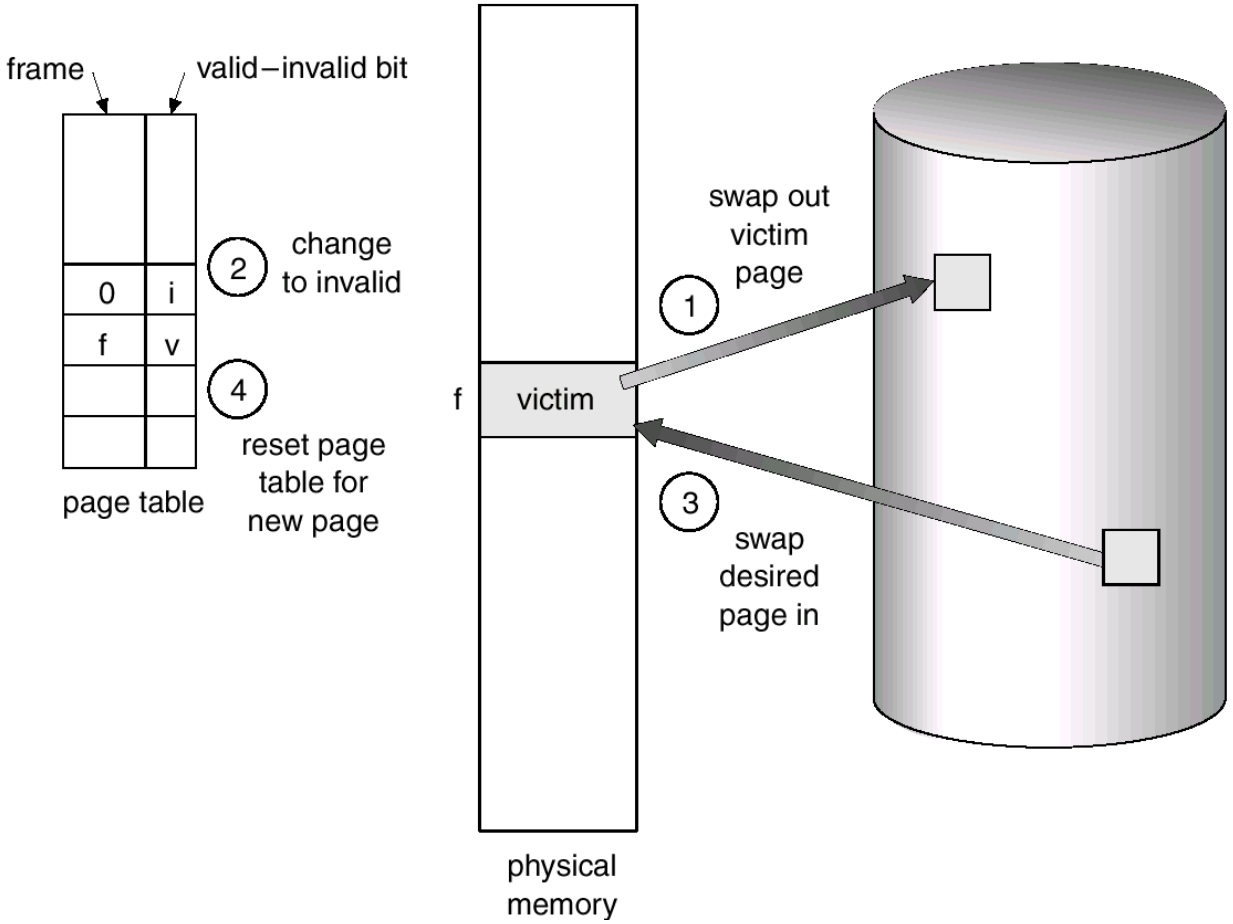
- Substituição/reposição de páginas
  - Encontre uma página que não esteja em uso
  - Libere o quadro (pode exigir escrita no disco)

- Desempenho:
  - Página retirada pode vir a ser acessada de novo
  - Deseja-se um algoritmo que minimize as falhas

Reposição de páginas



Reposição de páginas

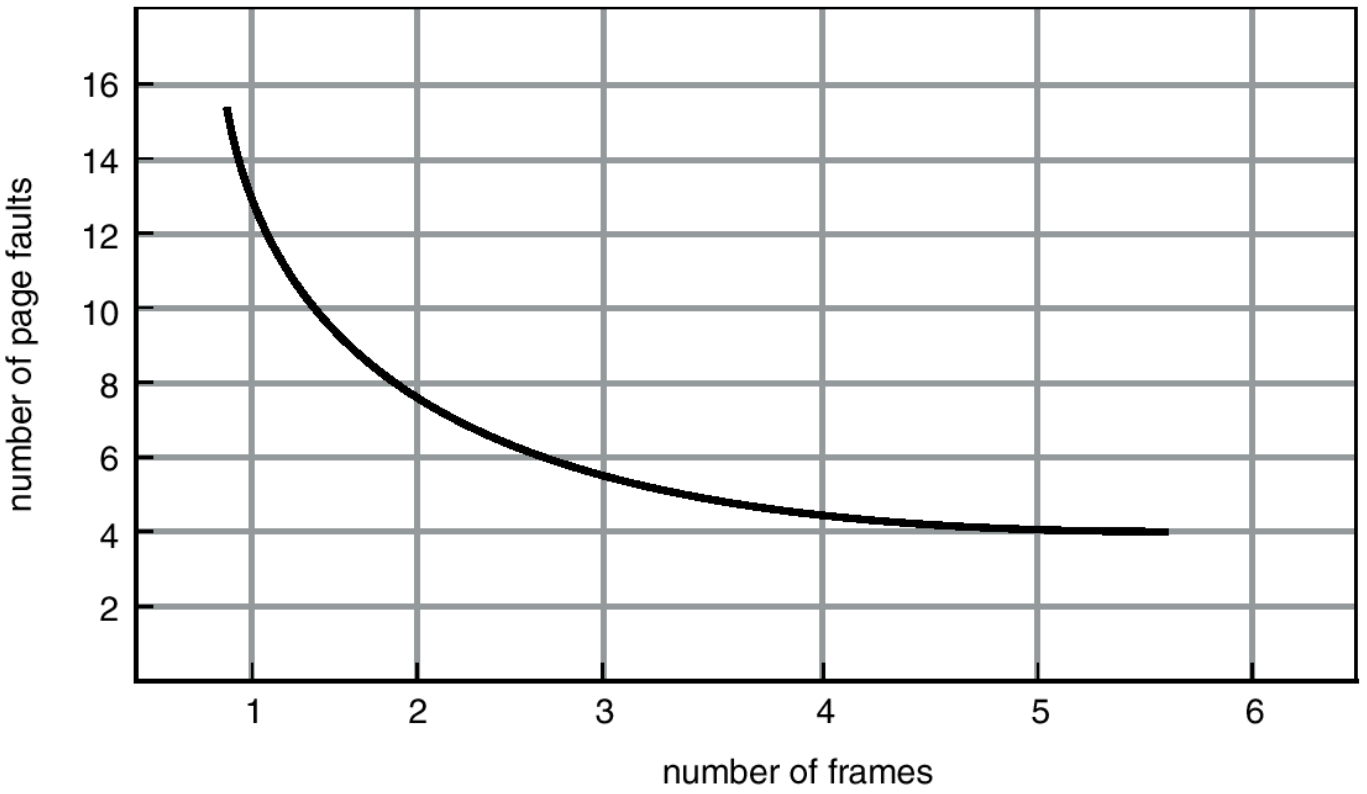


Reposição de páginas

- Essencial para completar o desacoplamento entre memória física e lógica

- Tabela de páginas inclui bits extras para auxiliar no processo de escolha de candidatos:
  - *dirty bit*: página foi modificada em relação ao disco
  - *access bit*: página foi acessada “recentemente”

Relação entre falhas e num. de quadros disponíveis



Algoritmos de reposição de páginas

- Deseja-se a menor taxa de falhas possível
- Avaliação é feita contra uma sequência de referências à memória que seja característica
  - Computa-se o número de falhas para cada algoritmo

- Nos exemplos a seguir, a sequência é sempre

  1, 2, 3, 4, 1, 2, 5, 1, 2, 3, 4, 5.

First-In-First-Out (FIFO) Algorithm

1, 2, 3, 4, 1, 2, 5, 1, 2, 3, 4, 5

- 3 quadros: 9 *page faults*

1	1	4	5
2	2	1	3
3	3	2	4

- 4 quadros: 10 *page faults*

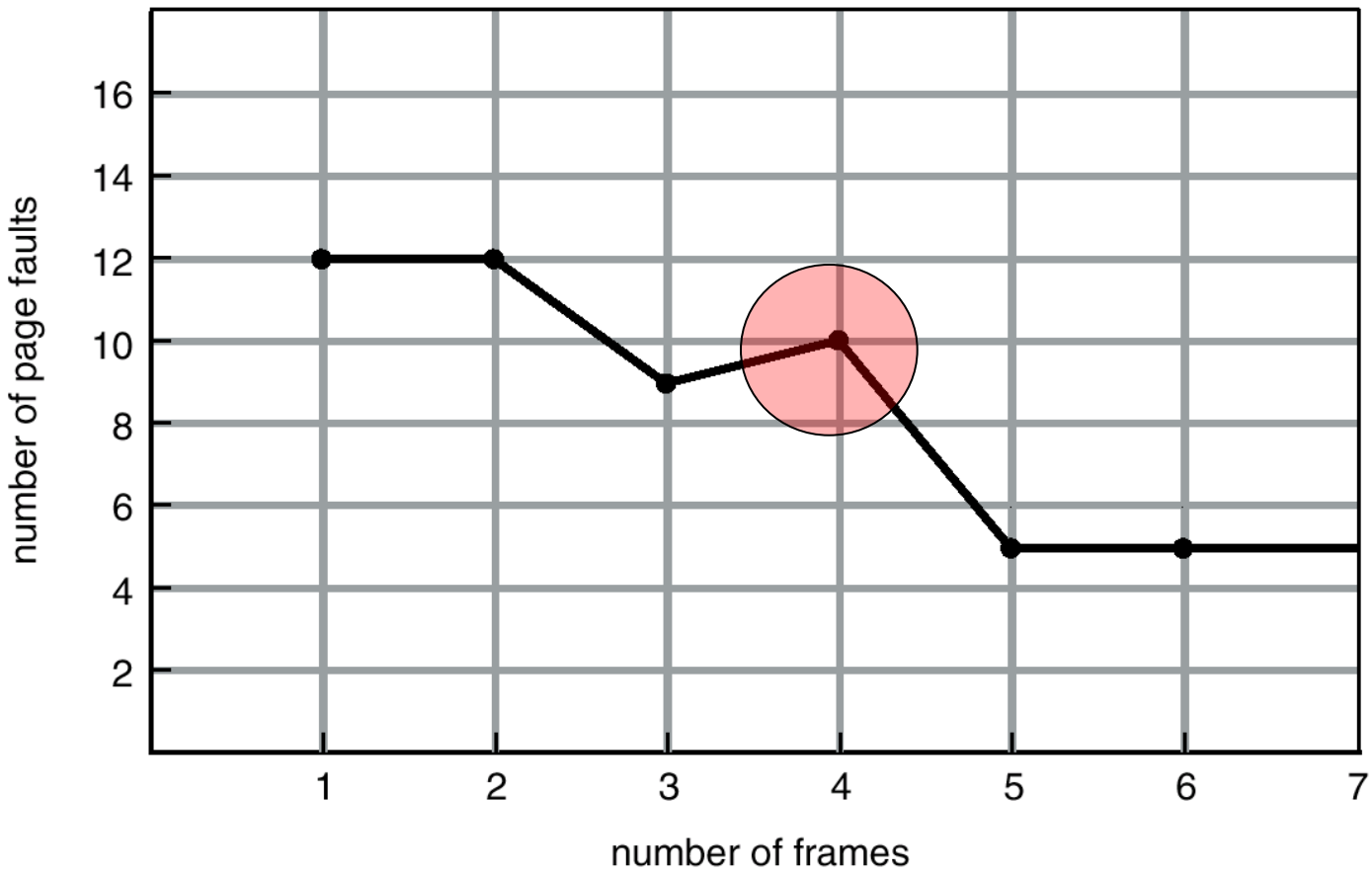
1	1	5	4
2	2	1	5
3	3	2	
4	4	3	

Anomalia de Belady:

Mais quadros não deveriam gerar mais *page faults*!

UFMG - ICEx
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

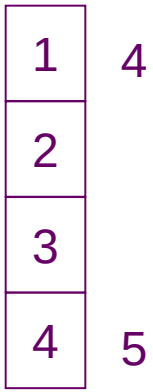
Anomalia de Belady



Algoritmo ótimo (presciente)

1, 2, 3, 4, 1, 2, 5, 1, 2, 3, 4, 5

- Substitua a página que levará mais tempo para ser acessada novamente
- Exemplo: 4 quadros

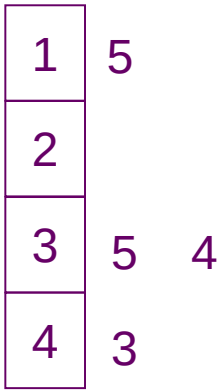


6 *page faults*

Least Recently Used (LRU)

1, 2, 3, 4, 1, 2, 5, 1, 2, 3, 4, 5

- Substitui página a mais tempo sem referências
- Exemplo: 4 quadros



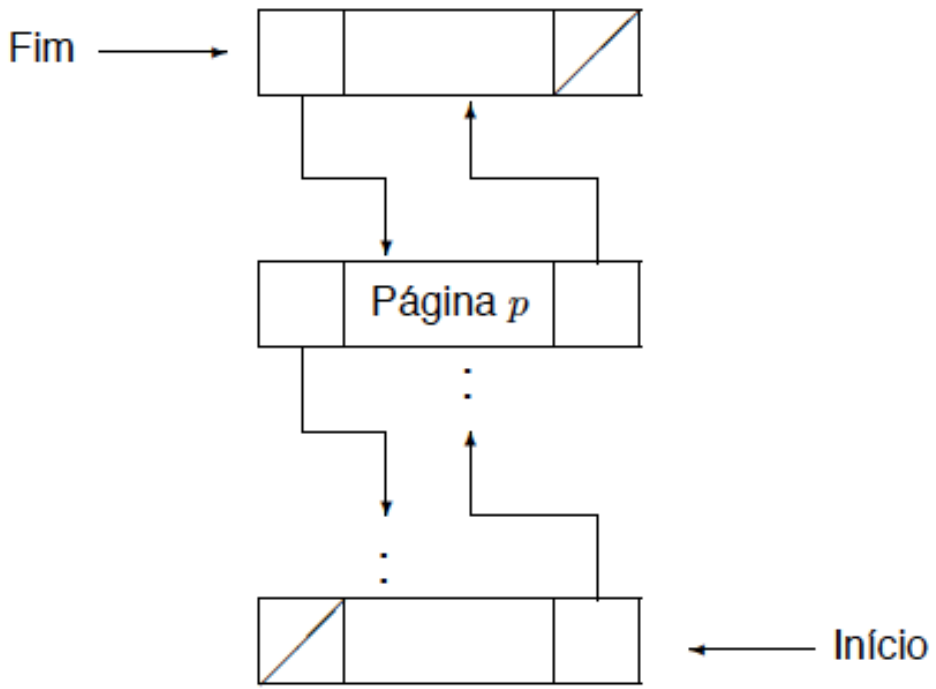
8 page faults

- Implementação: contagem de tempo ou pilha

Least Recently Used (LRU)

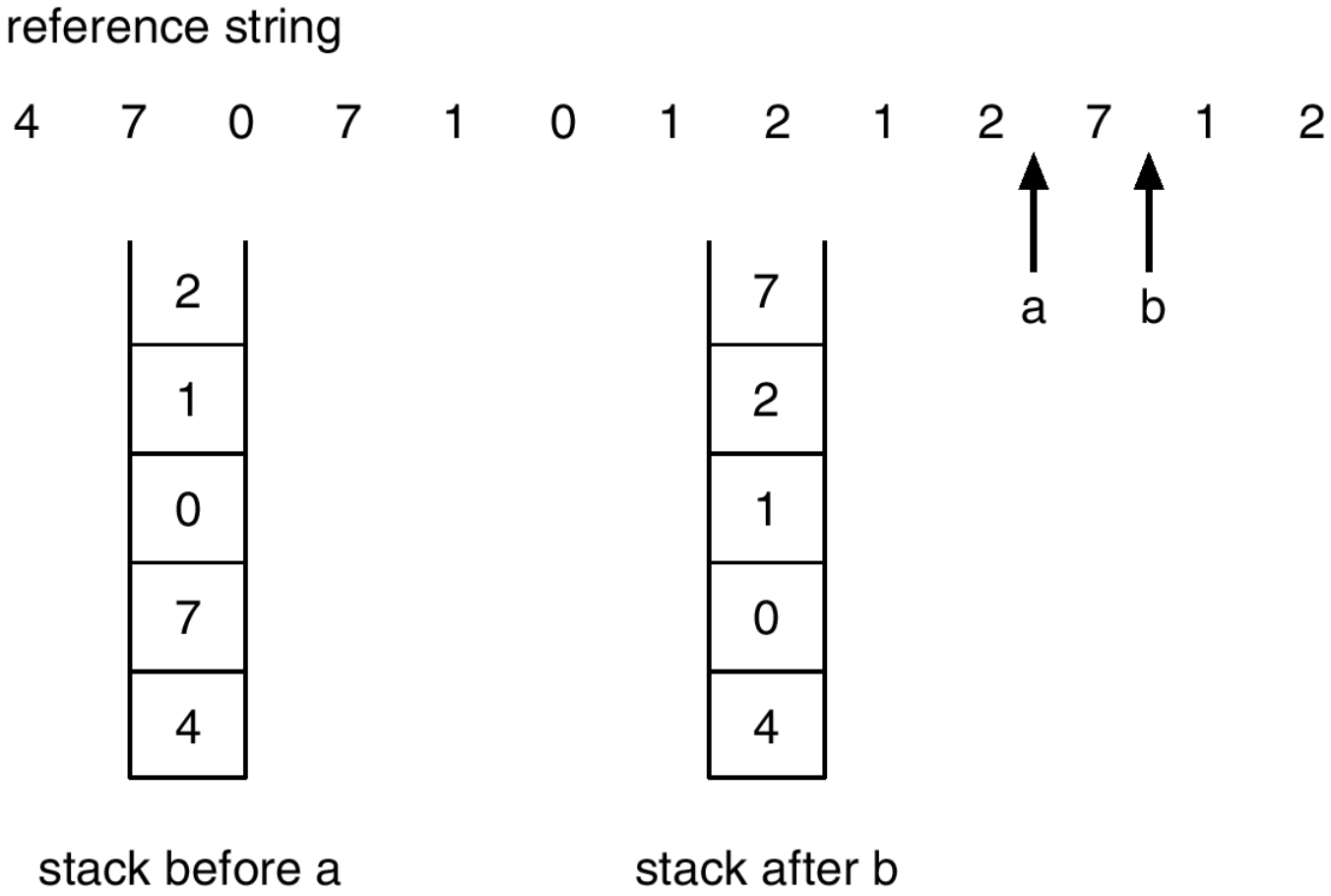
- Contagem de tempo
  - Cada página tem registro de tempo de acesso
  - A cada acesso, relógio é copiado para o registro da página acessada
  - Quando se executa o LRU, busca-se a página com registro mais antigo (menor)

Least Recently Used (LRU)



- Implementação com pilha
  - Mantém-se uma pilha de acessos (dupl. encad.)
  - A cada acesso, página referenciada vai p/ o topo
  - Requer mudanças em 6 apontadores
  - Não requer busca no momento da substituição

LRU: uso da pilha



Algoritmos de contagem

- Opções já propostas ao LRU
- Manter um contador do número de referências feitas a cada página

- MFU (*most frequently used*)
  - Quem foi pouco usado ainda deve ser mais usado
- LFU (*least frequently used*)
  - Privilegia páginas com muitos acessos
  - Exige “envelhecimento” (decaimento exponencial)

Impacto do padrão de acesso

```
int A[ ][ ] = new int[1024][1024];
// linha = uma pág.; memória < 1024 quadros
for (i = 0; i < 1024; i++)
    for (j = 0; j < 1024; j++)
        A[i,j] = 0;
```

1024 *page faults*

```
for (j = 0; j < 1024; j++)
    for (i = 0; i < 1024; i++)
        A[i,j] = 0;
```

1024 x 1024 *page faults*

UFMG - ICEx
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Memória Virtual: conclusão

- Cria a ilusão de um espaço de memória maior e contíguo
- Normalmente implementado como uma função do sistema operacional
- Modelo de armazenamento em 2 níveis: pequena qntde de mem. principal e grande qntde de mem. secundária
- Tarefas básicas:
  - Mapeamento de endereços entre dois níveis de memória:
  - Transferência eficiente de páginas entre os dois níveis de memória: “qual página remover qdo não há espaço na memória?”
- Funciona bem para algoritmos que possuem uma localidade de referência espacial pequena.


UFMG - ICEx
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DA
COMPUTAÇÃO