

# Sistemas Operacionais

## Aula 11 - Gerenciamento de memória

# Apresentação

Na aula anterior, estudamos sobre o gerenciamento de processos, quando, então, destacamos que eles precisam utilizar parte da memória do computador para que suas instruções possam ser lidas e executadas, além de espaço para armazenar os dados que serão manipulados. Mas, nem sempre o espaço de memória é suficiente para atender à necessidade de todos os processos.

Dessa forma, os sistemas operacionais (SO) precisam definir estratégias de gerenciamento não só para utilizar a memória principal, mas também outras fontes auxiliares de armazenamento, como o HD, e até dispositivos removíveis, como os *pendrives*, para suprir a necessidade de espaço de memória dos usuários e seus programas.

Nesta aula, você estudará as estratégias utilizadas para organizar o acesso a esse recurso fundamental para os processos que é a memória. Além disso, verá quais são os problemas mais comuns no gerenciamento da memória e como podemos solucioná-los.

## Objetivos

- Entender a dinâmica que ocorre na alocação de memória para os processos.
- Identificar e resolver os problemas que podem ocorrer durante a alocação e liberação de memória.
- Distinguir as principais estratégias de gerenciamento de memória.
- Descrever como funciona a técnica de paginação (memória virtual).

# Memória RAM e a hierarquia da memória



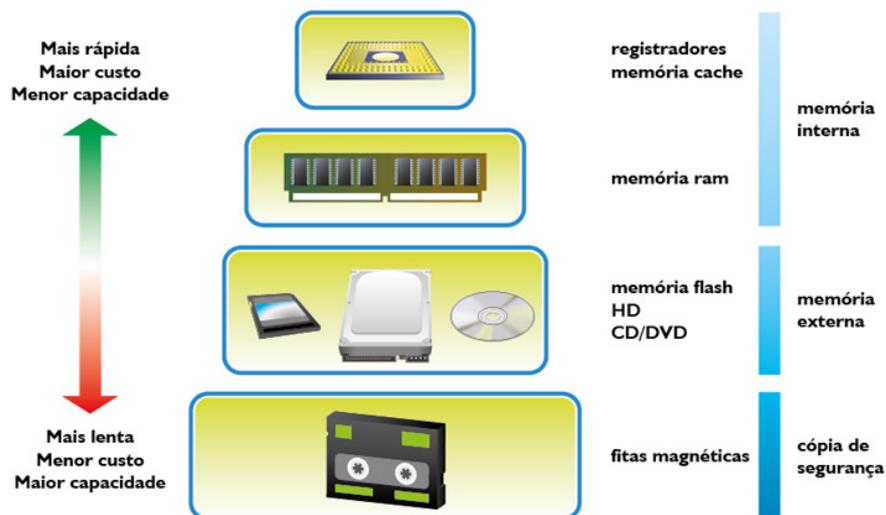
## Vídeo 01 - Hierarquia de Memória

A evolução da tecnologia permite que hoje tenhamos memórias muito superiores às de alguns anos atrás. As memórias utilizadas no início da década de 1980 eram as memórias SIMM (*Single In-line Memory Module*, em português, “Módulo de Memória de Linha Simples”), de 30 pinos – 256KB. Hoje existem os novos modelos de memória como a DDR4 (Double Data Rate 4, em português, “Taxa Dupla de Transferência de Dados”), com capacidade de 32GB. Apesar do avanço da tecnologia, o sistema operacional ainda precisa gerenciar a memória disponível, pois os processos tendem a evoluir também e a utilizar bem mais espaços de memória.

Na verdade, cabe aos sistemas operacionais definirem estratégias de gerenciamento não só para utilizar a memória, mas também procurarem utilizar-se de outras fontes de armazenamento, como o HD, e até dispositivos removíveis, como os *pendrives*, para suprir a necessidade de espaço de memória dos usuários e seus programas.

O gerenciamento de memória realizado pelo sistema operacional está diretamente voltado para o controle do *hardware*, conhecido como memória RAM (*Random Access Memory*, em português, “Memória de Acesso Aleatório”). Os dados armazenados nessa memória podem ser lidos, escritos e apagados pelo processador. Como vimos anteriormente, desde as primeiras aulas da disciplina Arquiteturas de computadores, existem diversos dispositivos de armazenamento de dados e as características que os diferenciam são as seguintes: a velocidade de acesso, a capacidade de armazenamento, e o fato de conseguir ou não manter os dados gravados mesmo quando o computador é desligado.

Para relacionar essas características com os diversos dispositivos de armazenamento de dados, foi criada uma hierarquia para facilitar a nossa compreensão. A Figura 1 mostra essa classificação para os diferentes recursos de memória disponíveis no computador.



**Figura 1** - Relação entre os tipos de memória e sua capacidade de armazenamento, velocidade e custo

**Fonte:** adaptado de <<http://asksynet.blogspot.com/2010/05/ramrandom-access-memory.html>> Acesso em: 5 jan. 2012.

De acordo com a hierarquia, vemos que só os registradores e memória cache dos processadores são mais rápidos que a memória RAM. Eles são de uso exclusivo da CPU para execução das instruções de baixo nível (linguagem de máquina).

Dessa forma, o sistema operacional e os programas utilizam-se da memória RAM, que também é rápida, para poderem executar suas atividades. Já imaginou se a CPU de seu computador precisasse acessar constantemente o HD para manipulação dos dados de um processo? Certamente, a execução dos programas seria bastante lenta. Quando a informação é mantida na memória, a CPU pode acessar os dados com mais rapidez.

Mas, como a memória RAM é bem mais cara que o HD e é uma memória do tipo volátil, ou seja, os dados não permanecem gravados quando o computador é desligado, ainda precisaremos dos outros tipos de dispositivos para armazenamento.

Mesmo com a contínua evolução do computador, que faz com que esse tenha uma capacidade de armazenamento cada vez maior, existirá sempre uma demanda crescente por mais memória, principalmente de memória RAM, dado que é nela que os processos precisam ser colocados para serem executados.

## Atividade 01

1. Pesquise na internet algumas marcas de processadores, e, para cada um deles, anote o tamanho da memória cache disponível. Feito isso, pesquise, também na internet, especificações de HD (Hard Drive) e memória RAM, e, para finalizar, compare a capacidade de armazenamento desses três tipos de memória. A que conclusão você pode chegar a partir dessa comparação?

## Lei de Parkinson e a evolução da memória

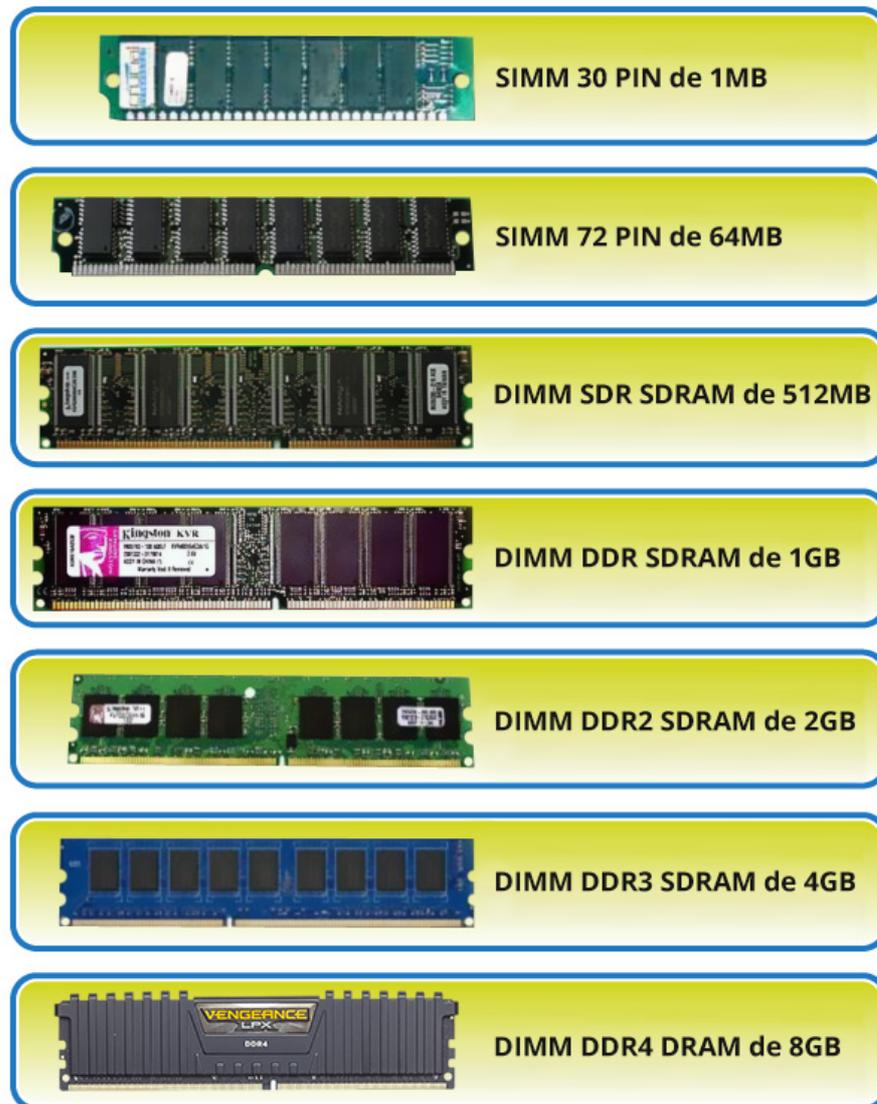
De acordo com a Lei de Parkinson, "o trabalho se expande para preencher o tempo disponível para ser concluído". Essa lei foi publicada, pela primeira vez, pelo professor e administrador inglês Cyril Northcote Parkinson, em um artigo publicado pela revista *The Economist*, em 1955.

O que o administrador Parkinson queria dizer para nós é que, frequentemente, procuramos aproveitar ao máximo o tempo que dispomos para executar um trabalho, e, mesmo recebendo prazos maiores, acabamos colocando o ponto final no trabalho perto do fim, seja porque adicionamos novas tarefas ou adiamos as que são essenciais.

Pense em todas as vezes que você acorda e se prepara para ir à escola. Mesmo que, quase sempre, você saia de casa em cima da hora, há dias em que você acorda depois do seu horário habitual e mesmo assim você toma seu banho, se veste e toma o seu café da manhã para, então, sair de casa, e, por incrível que pareça, na hora certa.

Essa tendência pode ser aplicada também à computação: "Os dados se expandem para preencher o espaço disponível para armazenamento", ou seja, quanto maiores forem as memórias, mais novos programas serão criados e necessitarão, assim, de mais memória ainda.

No Quadro 1, temos exemplos de diferentes modelos de memória RAM, existentes em diferentes épocas, em que cada nova geração corresponde a um grande salto tanto na capacidade de armazenamento como na velocidade de transmissão de dados.



**Quadro 1** - Diferentes tipos de RAM com suas respectivas capacidades.

Compreender melhor a relação da memória com o sistema operacional e demais *hardwares* do computador é entender o papel da memória desde que ela é ligada até o momento em que nossos programas são colocados nela para serem executados. Para isso, vamos descrever cada passo que ocorre desde o momento em que ligamos o computador.

## Atividade 02

1. Pesquise na internet as principais diferenças entre as memórias SIMM, DIMM SDR e DIMM DDR.

### Navegando pela memória

Sabemos que todos os componentes de *hardware* do computador e o sistema operacional trabalham juntos para que programas possam ser executados. Dentre todos os componentes, a memória desempenha uma das funções essenciais à execução de um programa. Desde o momento em que o computador é ligado até a hora em que é desligado, a CPU está constantemente usando a memória.



Vídeo 02 - Passos no Gerenciamento de Memória

Vamos ver os passos que são seguidos quando ligamos um computador. Primeiramente, no momento que ligamos o computador, a CPU tenta executar a primeira instrução. Como o sistema operacional ainda não está carregado (Termo usado quando um programa é copiado para a memória RAM.) na memória, ele não pode fornecer as instruções a serem executadas. Nesse momento, um programa especial chamado de BIOS (*Basic Input/Output System*, em português, “Sistema Básico de Entrada/Saída”), presente na memória ROM (*Read Only Memory*, em português, “Memória Somente Leitura”), que é um tipo de memória especial existente na placa-mãe que permite apenas a leitura, fornece a sequência de instruções de inicialização do computador. Essas primeiras instruções verificam se os principais componentes do computador, inclusive da memória, estão funcionando corretamente. Esses testes são chamados POST (*Power-On Self Test*, em português, “Auto-Teste Após Ligação”). Dessa forma, essas instruções garantem que tudo está funcionando corretamente logo após o computador ser ligado.

Após essa análise, o sistema operacional é copiado do disco rígido para a memória. Uma vez que o sistema operacional tenha sido carregado na memória, outros programas poderão também ser carregados na memória e executados. Além de armazenar os programas em execução na memória, também deve-se carregar os dados (ou arquivos) que serão acessados por esses programas.

Quando você abre um arquivo num editor de texto como o *Microsoft Word*, o conteúdo do arquivo precisa ser carregado na memória, para, então, ser editado (alterado); posteriormente, ao final da edição, quando for pedido para salvar o conteúdo do arquivo atualizado, esse conteúdo é gravado no disco de armazenamento. Na sequência, quando o programa for fechado, o conteúdo do arquivo que foi salvo e o espaço ocupado pelo programa são removidos da memória.

Agora que você já sabe como o sistema operacional é carregado na memória durante a inicialização do computador, você vai entender como é, de fato, realizado o papel de um gerenciador de memória, controlando não apenas a memória RAM, como toda a hierarquia de memória.

## Gerenciador de memória

Os esquemas de gerenciamento de memória evoluíram juntamente com os dispositivos e o próprio sistema operacional. Existem diversas estratégias para organizar os processos que são colocados na memória, e algumas delas serão apresentadas para que você compreenda o que está por trás de cada programa que executamos, inclusive do próprio sistema operacional.

As principais estratégias consistem em:

- Definir a utilização da memória para um único programa (monoprogramação, sem troca de processos).
- Dividir a memória em várias partições, cujos tamanhos são fixados estaticamente (multiprogramação com partições fixas).

- Dividir a memória em várias partições, cujos tamanhos são definidos e ajustados dinamicamente (multiprogramação com partições variáveis), entre outras.

A seguir, serão discutidas algumas dessas estratégias.

## Monoprogramação sem troca ou paginação

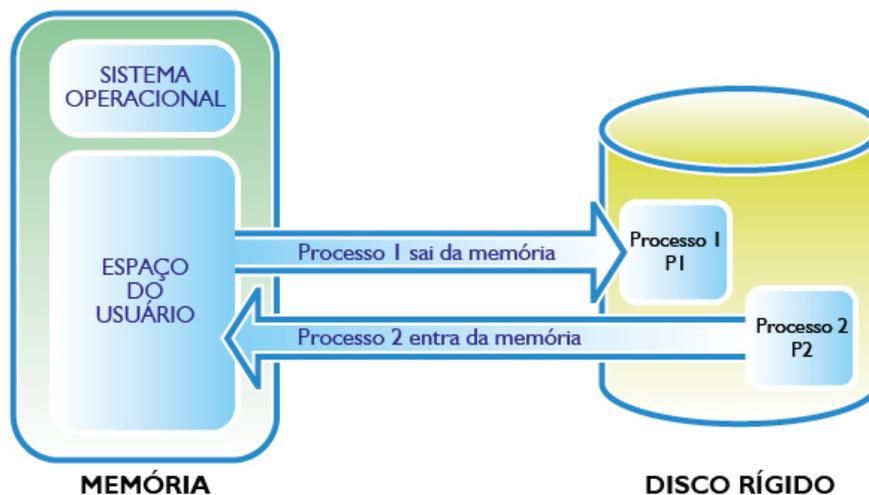


### Vídeo 03 - Monoprogramação sem Troca ou Paginação

Esse é o esquema mais simples de gerenciamento de memória: consiste, basicamente, em dividir a memória em dois compartimentos, um para ser usado pelo sistema operacional e o outro para o programa que deverá ser executado.

Durante o processo de inicialização do sistema, que ocorre sempre que o botão *liga/desliga* do computador for pressionado, o código do SO, que se encontra no disco rígido é carregado para a memória, ocupando o compartimento reservado (conforme indicado no lado esquerdo da Figura 2).

Assim, a cada nova solicitação de execução de um novo programa, o sistema operacional carrega-o na memória e, caso já tenha um processo presente, esse será sobrescrito. Observe na Figura 2 um exemplo em que o processo 1 (P1), que estava em execução, sai da memória dando o espaço para o processo 2 (P2) ser carregado na memória e, posteriormente, executado.



**Figura 2** - Gerência de memória com a execução de apenas um programa por vez

Para atender a necessidade da multiprogramação (uso simultâneo da CPU) e para permitir a execução de mais de um programa por vez, foram desenvolvidos novos esquemas de gerenciamento.

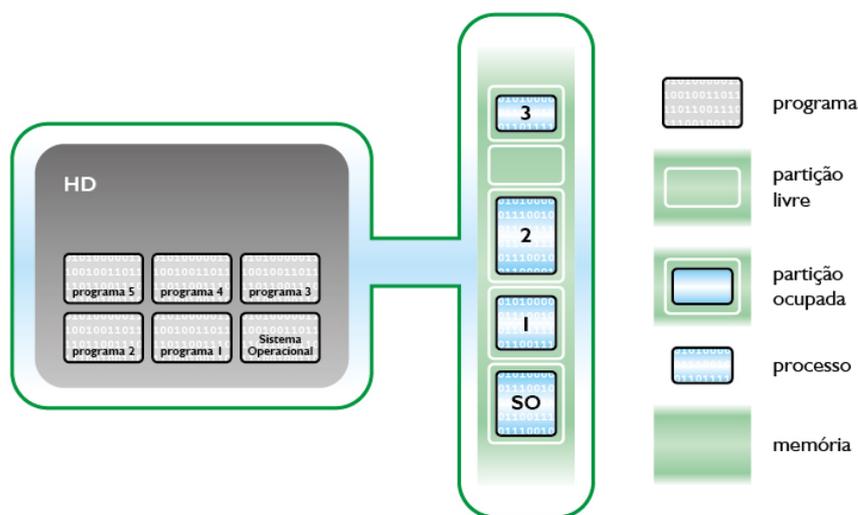
## Multiprogramação com partições fixas



### Vídeo 04 - Multiprogramação com Partições Fixas

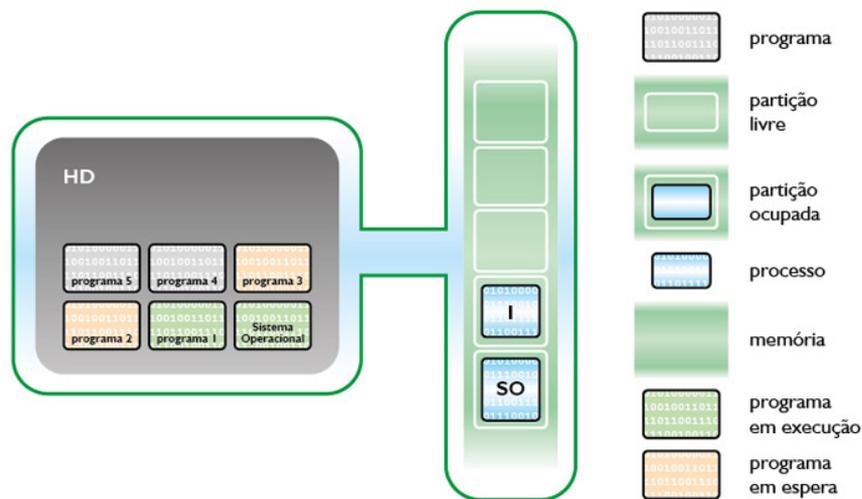
Se quisermos que vários processos sejam executados ao mesmo tempo, teremos que mantê-los na memória. Mas, como isso seria possível? Uma opção seria dividir a memória em pequenos lotes, como os lotes de um condomínio de casas. O sistema operacional poderia distribuir essas partições com os processos que serão criados. Teríamos, então, na mesma memória, diversos programas em execução, bastando gerenciar os endereços de memória de cada um desses lotes de bytes.

Como os processos variam muito de tamanho, os sistemas operacionais que se utilizam da multiprogramação com partições fixas procuram variar o tamanho dos lotes de memória, tentando aperfeiçoar o uso da memória; assim, programas grandes ocupariam partições maiores e programas pequenos ocupariam partições menores. Observe a Figura 3 e você terá uma ideia desse esquema.



**Figura 3** - Gerenciamento de memória com partições fixas de tamanhos variáveis.  
**Fonte:** autoria própria.

Lembre-se de que, como estamos falando de partições de tamanhos fixos, os processos devem ocupar partições que tenham tamanhos compatíveis com as suas respectivas necessidades. Por exemplo, se um processo pequeno ocupar um lote grande de memória, teremos um desperdício provocado pela sobra de espaço dentro do lote. Portanto, existem maneiras diferentes de ocupar as partições. Por exemplo, para atender as necessidades dos processos, o SO pode usar como critério reservar apenas partições de tamanhos próximos aos tamanhos que eles necessitam. Assim, uma partição grande nunca seria ocupada por processos pequenos, para que não seja subutilizada; porém, essa política poderia levar processos pequenos a ficarem esperando por uma partição menor mesmo existindo espaço disponível de memória em partições grandes. Essa situação está representada no exemplo da Figura 4, onde os Programas 2 e 3 estão em estado de espera, mesmo havendo duas partições grandes desocupadas.



**Figura 4** - Gerenciamento de memória com partições fixas de tamanho fixo.  
**Fonte:** autoria própria.

## Atividade 03

1. Considere um computador com uma memória principal de 50kb e o sistema operacional instalado nele se utiliza de 20kb. Descreva como a memória será gerenciada para a execução dos programas P1, P2 e P3 para as seguintes situações:
  - a. O sistema operacional utiliza o gerenciamento monoprogramado da memória e os programas P1, P2 e P3 precisam, respectivamente, de 30kb, 10kb e 20kb.
  - b. O sistema operacional utiliza o gerenciamento de partições fixas da memória, com partições de tamanho 5kb, 10kb, 15kb e 20kb e os programas P1, P2 e P3 precisam, respectivamente, de 5kb, 15kb e 15kb.

Dica: procure descrever quais processos estão ativos a cada momento e em que áreas da memória eles serão copiados, inclusive o processo do sistema operacional. Utilize desenhos para facilitar a descrição.

## Quando a memória não é suficiente

Às vezes, a memória não é suficiente para manter todos os processos atualmente ativos, sendo assim, foram desenvolvidas técnicas de gerenciamento de memória RAM com auxílio de uma memória secundária

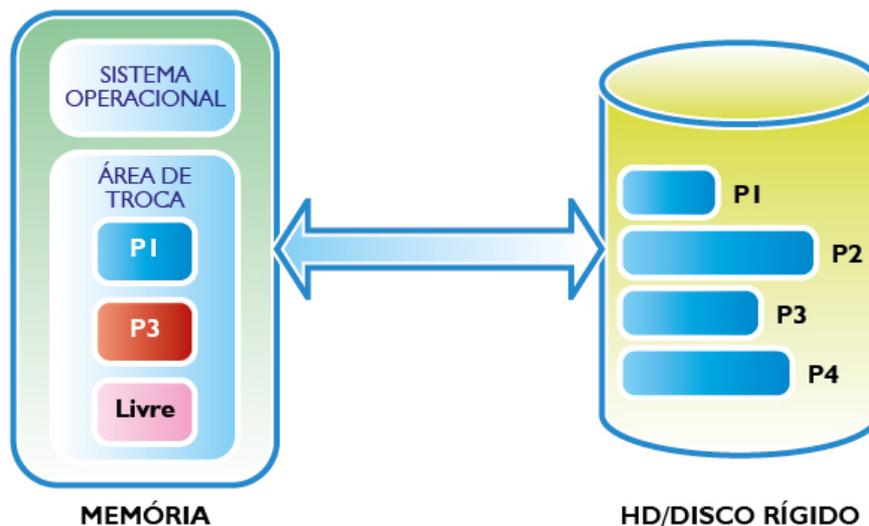
(geralmente, o HD do computador). Vamos, então, apresentar dois esquemas que se utilizam de mais memória do que a RAM disponível: são os esquemas de troca e de memória virtual.

## Troca



### Vídeo 05 - Frangmentação Interna

O esquema de troca tem como objetivo otimizar o gerenciamento de memória e permitir também que vários programas, cujo espaço total de memória requerida seja maior do que o espaço de memória principal disponível, possam ser executados “simultaneamente”. Ele consiste em manter na memória (área de troca) apenas alguns processos, os demais são mantidos no HD. Cada um desses processos é trazido temporariamente do disco para a memória, de forma que possam ser executados e, posteriormente, devolvidos para o disco novamente, de maneira que outros processos possam ter vez. A **Figura 5** mostra como esse esquema funciona.



**Figura 5** - Gerenciamento de memória por trocas de processos  
**Fonte:** autoria própria.

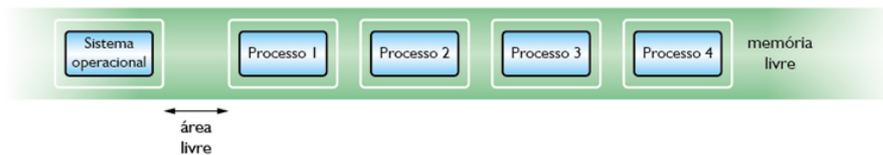
Nesse esquema, a alocação da memória não segue a ideia de partições fixas, variando seu tamanho de acordo com o processo que for sendo carregado. Dessa forma, estaremos otimizando o uso da memória,

mas tornando ainda mais complexo o seu gerenciamento. No início, a área livre fica concentrada em único lote, como ilustrado na partição cor de rosa da Figura 5.



### Vídeo 06 - Frangmentação Externa

Entretanto, conforme podemos ver no exemplo da Figura 6, com o passar do tempo e a liberação de memória, devido à realização de várias trocas, lacunas vão aparecendo, tornando ineficiente o uso da memória. Isso acontece porque quando as lacunas forem muito pequenas, praticamente não cabe nenhum processo. Então, métodos de compactação da memória podem ser utilizados para juntar os processos presentes e eliminar as lacunas entre processos. Com isso, juntam-se as lacunas, tornando o espaço disponível em uma única área livre de tamanho grande, e que poderia agora ser utilizada. Entretanto, essa ação consome bastante tempo de CPU.



**Figura 6** - Problema da fragmentação das áreas livres que vão surgindo  
**Fonte:** autoria própria.

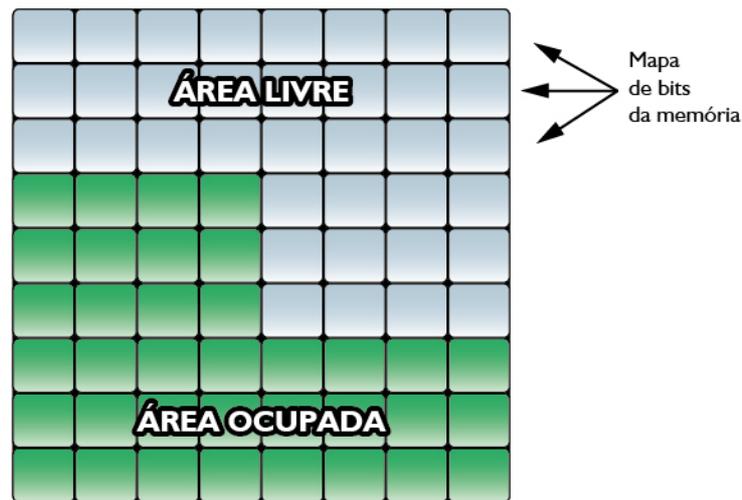
Para gerenciar as trocas e quais áreas da memória estão ocupadas ou livres, dois esquemas básicos são utilizados. Veja-os a seguir:

#### a. Gerenciamento de memória com mapas de Bits



### Vídeo 07 - Gerência de Espaços Livres

Pense no mapa de sua cidade. Nele devem estar representadas as áreas ocupadas (urbanas) e áreas livres (terrenos, áreas ambientais e zonas rurais). Se dividirmos a memória em pequenos lotes e criarmos um mapa de ocupação, podemos, com o gasto (ocupação) de uma pequena área da memória, saber quais áreas estão livres e quais estão ocupadas. A **Figura 7** representa essa forma de gerenciamento.

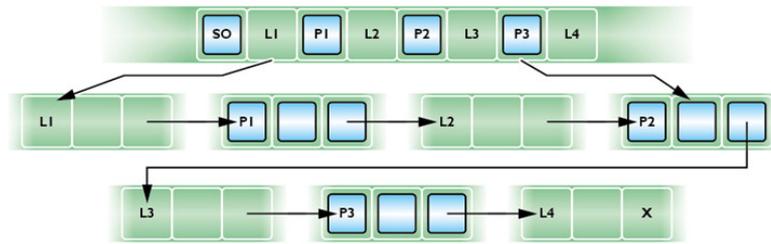


**Figura 7** - Mapeamento da memória com mapa de bits  
Fonte: autoria própria.

#### **b. Gerenciamento de memória com lista encadeada**

Para esse esquema, utiliza-se uma lista de lotes da memória indicando quais estão ocupados com processos e quais são áreas livres. Como a lista é encadeada, cada lote, além das informações sobre sua partição da memória, também aponta para a próxima área (lote). É como se pegássemos um bloco de notas e descrevêssemos cada cômodo de nossa casa em uma das folhas informando quem está no cômodo e realizando qual atividade. Adicionalmente, indica-se com uma seta que aponta para o próximo cômodo, que poderá estar ocupado ou não.

A Figura 8 descreve melhor a relação da lista encadeada com as partições da memória.



**Figura 8** - Lista encadeada para mapear processos e áreas livres  
**Fonte:** autoria própria.

Observando a Figura 8, perceba que no momento em que um processo for finalizado e sua partição for liberada, caso exista uma ou duas partições vizinhas livres, ocorre uma fusão, gerando uma partição livre maior. Como exemplo dessa situação, imagine a finalização do processo P2, o que acarretaria a fusão dos lotes livres L2 e L3, constituindo-se agora num único lote.

## Atividade 04

- De acordo com as seguintes considerações, analise o gerenciamento da memória e determine quanto tempo é necessário para que o último processo termine sua execução, deslocando processos na memória para eliminar lacunas de memória livre entre eles, caso seja necessário:
  - 50 kb/s é a velocidade para carregar um programa na memória.
  - 100 kb/s é a velocidade para mover processos dentro da memória.
  - 1000 kb é o tamanho da memória principal.
  - 200 kb é o espaço necessário para carregar o sistema operacional.
  - 100kb, 150kb, 200kb, 400kb, 600kb são os espaços necessários em memória para executar os programas P1, P2, P3, P4 e P5, respectivamente.
  - 50s, 20s, 70s, 60s e 80s são os tempos de execução dos programas P1, P2, P3, P4 e P5, respectivamente.

Desconsidere qualquer adição no tempo pelo compartilhamento do processador pelos processos ou outro fator não mencionado.

## Memória virtual



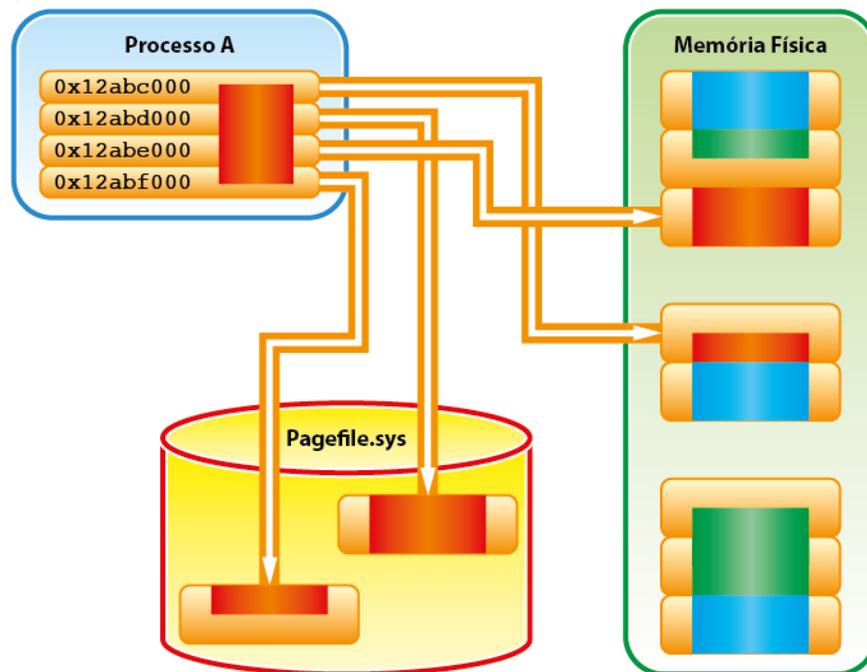
Vídeo 08 - Memória Virtual

Quando a memória disponível não é suficiente para executar um processo realmente grande, o sistema operacional estabelece uma estratégia de manter partes do programa na memória e partes no disco. Esse método gerou o conceito de memória virtual, dado que aumenta a capacidade de gerenciamento para um tamanho maior que a memória existente.

Muitos esquemas de memória virtual utilizam a técnica de paginação, então, iremos demonstrar como ela funciona como um possível exemplo de memória virtual.

### Paginação

Nos computadores que se utilizam de memória virtual, existe um componente de hardware especial chamado de MMU (*Memory Management Unit*, em português, Unidade de Gerenciamento de Memória) que mapeia áreas do disco para a memória principal expandindo a capacidade da memória. De acordo com a Figura 9, podemos observar que se trechos do programa que não estejam presentes na memória real forem acessados, eles precisam ser copiados do disco para a memória através de uma troca de páginas.



**Figura 9** - Esquema de paginação da memória virtual

Fonte: <<http://driverentry.com.br/blog/?p=302>> Acesso em: 15 dez. 2011.

Vale lembrar que os dados dos segmentos da memória serão guardados no HD para preservar a integridade completa do processo. As partições da memória física (memória real) são conhecidas como molduras de páginas e os trechos do processo no HD são conhecidos como páginas. De acordo com o exemplo da Figura 9, temos um processo (Processo A), constituído de 4 páginas e apenas 2 delas estão mapeadas na memória física. Vale destacar que o processo de mapeamento entre páginas residentes no disco para molduras de páginas é feito de forma totalmente escondida dos usuários envolvendo ações integradas do hardware (MMU) e do sistema operacional.

Há diversas estratégias para realizar as trocas de páginas quando trechos referenciados de programas não estiverem presentes na memória principal. Mas, devido à complexidade dessas abordagens, gostaríamos apenas de motivar você para no futuro investigar melhor todo esse processo. Por enquanto, procure se convencer de que usando essa técnica, os sistemas operacionais conseguem colocar para executar programas maiores de que a memória disponível.

# Resumo

A memória possui um papel fundamental para o bom funcionamento do computador, sendo acessada a cada instante pela CPU do computador, desde o momento que o ligamos. Nesta aula, foram apresentados os conceitos chave sobre gerenciamento de memória, além de uma breve explicação de como a memória interage com o sistema operacional e demais componentes de *hardware*. Você estudou também as principais técnicas de gerenciamento da memória, desde os métodos mais simples para controle da memória de apenas um programa em execução, como também as estratégias que possibilitam a expansão da capacidade da memória para execução de programas maiores que os limites físicos da memória.

## Autoavaliação

1. Defina com suas palavras a Lei de Parkinson.
2. Descreva os passos de como o sistema operacional é carregado na memória.
3. Descreva os tipos de gerenciamento de memória, apontando suas principais características e diferenças.
4. Explique o que é memória virtual.

## Referências

SILVA, Luiz. **Evolução da Memória RAM**. Disponível em: <http://igri01.blogspot.com/2009/02/evolucao-da-memoria-ram.html>. Acesso em: 8 out. 2011.

TANENBAUM, Andrew S.; WOODHULL, Albert S. **Sistemas operacionais: projeto e implementação**. Trad. Edson Furmankiewicz. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2000.

TYSON, Jeff. **Como funciona a memória do computador**. Disponível em: <<http://informatica.hsw.uol.com.br/memoria-do-computador1.htm>>. Acesso em: 8 out. 2011.