

# Aula 4 – Subsistema de memória

## Objetivos

Analisar e compreender a organização básica de memória de um computador.

### 4.1 Sistema de memória e suas características

De acordo com o modelo de Von Neumann (Aula 1), a função da Unidade Central de Processamento (UCP) ou processador é, essencialmente, capturar dados e instruções que compõem um programa e processá-los, não importando sua origem ou destino. Mas para que o processador possa executar os programas, seus dados e instruções devem estar armazenados na memória.

Portanto, a memória dos computadores é um elemento indispensável e tão importante quanto a Unidade Central de Processamento (CPU) ou processador. A memória é um dispositivo que permite ao computador armazenar dados de forma temporária ou permanente. Segundo Tanenbaum (2007), a memória é a parte do computador onde os programas e os dados são armazenados. Sem uma memória na qual os processadores (CPU) possam ler ou escrever informações, o conceito de computador digital com programa armazenado não pode ser implementado.

Para o funcionamento adequado de um computador, é necessário dispor, nele mesmo, de diferentes tipos de memória. Em algumas tarefas, pode ser fundamental que a transferência de dados seja feita da forma mais rápida possível – é o caso das tarefas realizadas pela CPU, onde a velocidade é fator preponderante, ao passo que a quantidade de *bits* a ser manipulada é muito pequena. Esse tipo de memória deve possuir características diferentes daquele em que a capacidade de armazenamento é mais importante que a sua velocidade de transferência de e para outros dispositivos. Destacamos que a necessidade da existência de vários tipos de memória ocorre em virtude de vários fatores concorrentes, mas principalmente em função do aumento da velocidade das CPUs (a qual é muito maior do que o tempo de acesso da memória) e da capacidade de armazenamento.

Se existisse apenas um tipo de memória, sua velocidade deveria ser compatível com a da CPU, de modo que esta não ficasse esperando muito tempo por um dado que estivesse sendo transferido. Segundo Patterson e Hannessy (2000), a CPU manipula um dado em 5 ns, ao passo que a memória transfere um dado em 60 ns.

Considerando os diversos tipos de memórias existentes, as quais variam em função de sua tecnologia de fabricação, capacidade de armazenamento, velocidade e custo, pode-se dizer que fica muito difícil projetar um computador utilizando-se apenas um único tipo de memória. Dessa forma, segundo Monteiro (2007), o computador possui muitas memórias, as quais se encontram interligadas de forma bem estruturada, constituindo o que é chamado de subsistema de memória, o qual é parte do sistema computacional.

O subsistema de memória é projetado de modo que seus componentes sejam organizados hierarquicamente. A Figura 4.1 apresenta uma pirâmide contendo a hierarquia das memórias existentes em um computador. Observa-se que a base da pirâmide é larga, simbolizando a elevada capacidade de armazenamento, o tempo de uso, a velocidade e o custo de sua tecnologia de fabricação. Assim, a base da pirâmide representa dispositivos de armazenamento de massa (memória secundária), de baixo custo por *byte* armazenado, mas ao mesmo tempo com baixa velocidade de acesso. A flecha na direção do topo indica que quanto mais rápidas forem as memórias, mais elevado será o seu custo em relação à tecnologia e menor a sua capacidade de armazenamento em um computador.



**Figura 4.1: Hierarquia de memórias**

Fonte: Adaptado de Monteiro (2007)

O Quadro 4.1 apresenta as características básicas de cada tipo de memória, a seguir.

Quadro 4.1: Características básicas dos tipos de memória					
	Localização	É Volátil?	Velocidade	Capacidade de armazenamento	Custo por bit
Registrador	Processador	Sim	Muito alta (opera na velocidade do processador)	Muito baixa (Bytes)	Muito alto
Cache	Processador	Sim	Alta (opera na velocidade do processador)	Baixa (KB)	Alto
Principal	Placa-mãe	RAM – sim ROM – não	Depende do tipo de memória instalada	Média (MB)	Médio (tem caído muito)
Secundária	HD, CDs, etc.	Não	Baixa (lenta)	Alta (GB)	Baixo (tem caído muito)

Fonte: Adaptada de Murdocca (2000)

A seguir apresentamos de forma detalhada cada um dos tipos de memória apresentados na Figura 4.1.

## 4.2 Registradores

A função da memória é a de armazenar dados destinados a serem, em algum momento, utilizados pelo processador (MONTEIRO, 2007). O processador busca dados e instruções de onde estiverem armazenadas e os deposita temporariamente em seu interior para que possa realizar as operações solicitadas utilizando seus demais componentes (seria análogo à função memória de uma calculadora). Os dispositivos denominados registradores são os locais onde esse conteúdo fica armazenado.

Assim, o conceito de registrador surgiu da necessidade do processador de armazenar temporariamente dados intermediários durante um processamento. Por exemplo, quando um dado resultado de operação precisa ser armazenado até que o resultado de uma busca da memória esteja disponível para com ele realizar uma nova operação.

Os registradores são dispositivos de armazenamento temporário (volátil), localizados no interior do processador (CPU). Por causa da tecnologia utilizada, os registradores são um tipo de memória extremamente rápida e bastante cara. Por esse motivo, sua disponibilidade em um computador é muito

### A-Z

#### Memórias voláteis

Memórias voláteis: são as que requerem energia para manter a informação armazenada, ao contrário das memórias permanentes.

#### Placa-mãe

Placa-mãe: trata-se de uma placa de circuito impresso, que serve como base para a instalação dos demais componentes de um computador, como o processador, a memória RAM, os circuitos de apoio, as placas controladoras, os slots, entre outros.

## A-Z

### palavra

De forma genérica o termo palavra é um grupo de bits de tamanho fixo que é processado em conjunto em um computador.

O número de bits em uma palavra (comprimento da palavra) é uma característica importante de uma arquitetura de computador. A maioria dos registradores em um computador possui o tamanho da palavra.

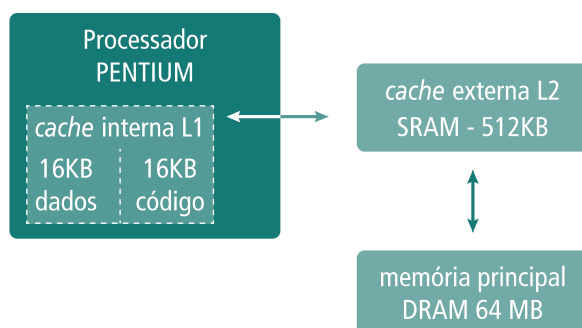
limitada. Cada registrador possui capacidade para manter apenas um dado (**uma palavra**).

Em resumo, os registradores, conforme mostra a Figura 4.1, ficam no topo da pirâmide, o que representa que sua velocidade de transferência de dados dentro do processador é bastante elevada; em consequência disso, sua capacidade e armazenamento é baixa e seu custo é alto.

## 4.3 Memória cache

Considerando a premissa de que o processador precisa buscar dados e instruções em uma memória externa – denominada memória principal, a qual será apresentada na seção a seguir – para processá-los e, considerando que a tecnologia desenvolvida para os processadores fez com que se esses dispositivos sejam bem mais rápidos que a memória principal, surgiu a necessidade de diminuir esse atraso gerado pela transferência de dados entre a memória e o processador.

Na busca de soluções para a limitação imposta pela comunicação entre processador e memória, foi desenvolvida uma técnica que consiste na inclusão de um dispositivo de memória entre a memória principal e o processador. Esse dispositivo é denominado memória *cache*. Sua função principal é acelerar a velocidade de transferência das informações entre processador e memória principal e, com isso, aumentar o desempenho dos sistemas de computação. As memórias *cache* são voláteis, assim como os registradores, pois dependem de energia para manter o seu conteúdo armazenado. A Figura 4.2 apresenta um diagrama de blocos de um processador Pentium original, a distribuição da memória cache e sua relação com a memória principal (MONTEIRO, 2007).



**Figura 4.2: Memória cache no Pentium**

Fonte: <http://www.letronet.com.br/ppesq/ppesqlivcap/ppesqpc/ppesqpcd5/tppc5/pc5-11.jpg>

Assim, a memória *cache* é um tipo de memória construída com tecnologias semelhantes às do processador, isso eleva os custos de produção. Para amenizar o fator custo e dispor das vantagens de um sistema computacional com desempenho mais rápido, foram incorporadas ao computador pequenas porções de memória *cache*, localizadas internamente ao processador e entre ele e a memória principal, as quais funcionam como um espelho de parte da memória principal.

Nesse caso, quando o processador solicita um determinado dado e o encontra na *cache*, não há necessidade de requisitá-lo à memória principal, reduzindo significativamente o tempo de processamento. Ou seja, quanto mais memória *cache* um processador possuir, melhor será o seu desempenho.

A tecnologia de fabricação da memória *cache* é SRAM (*Static Random Access Memory*), a qual é bastante diferente das memórias DRAM (*Dynamic Random Access Memory*) – tecnologia da memória principal. A diferença é que nas memórias SRAM não há necessidade de *refresh* ou realimentação constante para que os dados armazenados não sejam perdidos. Isso é possível porque as memórias SRAM se utilizam de seis transistores (ou quatro transistores e dois resistores) para formar uma célula de memória. Assim, o *refresh* passa a não ser necessário, o que faz com que esse tipo de memória seja mais rápida e consuma menos energia.

De acordo com Alecrim (2010), os processadores trabalham, basicamente, com dois tipos de *cache*: *cache* L1 (*Level 1* ou *Nível 1*) e *cache* L2 (*Level 2* ou *Nível 2*). Normalmente a *cache* L2 é um pouco maior que a L1 e foi implantada quando a *cache* L1 se mostrou insuficiente.

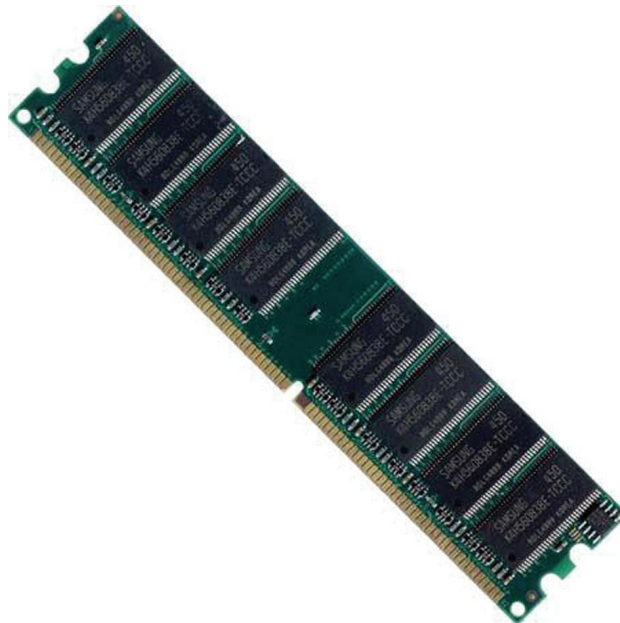
Nas gerações anteriores, a *cache* L1 ficava localizada no interior do processador e a *cache* L2 era externa a ele. Nas gerações de computadores atuais, ambos os tipos ficam localizados dentro do *chip* do processador, sendo que, em muitos casos, a *cache* L1 é dividida em duas partes: “L1 para dados” e “L1 para instruções”. Alecrim (2010) destaca, ainda, que dependendo da arquitetura do processador, é possível o surgimento de modelos que tenham um terceiro nível de *cache* (L3).

## 4.4 Memória principal

É um tipo de memória indispensável para o funcionamento do computador, à qual o processador pode fazer acesso direto. Além de alocar os dados e

instruções de programas a serem manipulados pelo processador, esse tipo de memória dá acesso às memórias secundárias, de forma a disponibilizar dados ao processador.

A memória principal é denominada memória RAM (*Random Access Memory*), corresponde a um tipo de memória volátil, ou seja, seu conteúdo fica armazenado enquanto o computador estiver ligado (energizado); ao desligar a corrente elétrica, o conteúdo da memória RAM é apagado. Esse é o motivo pelo qual muitas pessoas perdem arquivos que estão utilizando quando ocorrem fatos como, por exemplo, alguém esbarrar no cabo ligado à tomada de energia elétrica ou mesmo cessar o fornecimento de energia. Isso acontece porque ao ocorrerem tais fatos, o arquivo ainda não havia sido salvo em algum tipo de memória permanente (ex.: o disco do computador). A Figura 4.3 apresenta um pente (módulo) de memória RAM típico.



**Figura 4.3: Pente de memória RAM**

Fonte: <http://barreiras.olx.com.br/memoria-ram-ddr-400-1gb-iid-39138709>

A memória RAM é denominada genericamente de DRAM (*Dynamic RAM*), ou RAM dinâmica, pelo fato de possuir uma característica chamada **refrescamento de memória**, que tem a finalidade de manter os dados armazenados enquanto o computador estiver ligado. Essa denominação está ligada à tecnologia utilizada na fabricação desse tipo de memória, a qual se baseia na utilização de dispositivos semicondutores, mais especificamente capacitores associados a transistores para representar *bits* de dados armazenados. Podemos dizer que são necessários um transistor e um capacitor para representar uma célula de memória.

Pelo fato de precisarem ser “refrescadas” ou realimentadas constantemente, as memórias DRAM consomem muitos ciclos do processador para a realimentação, além de consumirem mais energia que outros tipos de memória. Por isso, são mais lentas e possuem custo muito menor e capacidade de armazenamento de dados consideravelmente maior que as memórias estáticas (ex.: *cache*).

Atualmente, podemos contar com muitas opções de padrões de memória RAM, devido à busca constante por uma memória de maior capacidade, maior velocidade de acesso, menor consumo de energia e de tempo de realimentação.

Apresentamos alguns padrões de memória RAM disponíveis mais utilizados atualmente:

- a) DDR (*Double Data Rate*): duplicam o desempenho da memória, possibilitando a transferência de dois lotes de dados – entre processador e memória – por ciclo de *clock*. DDR-2: possibilitam a transferência de quatro lotes de dados por **ciclo de clock** e apresentam menor consumo de energia que a DDR original.
- b) DDR-3: transferem oito lotes de dados por ciclo de *clock* e consomem ainda menos energia que sua versão anterior.

A-Z

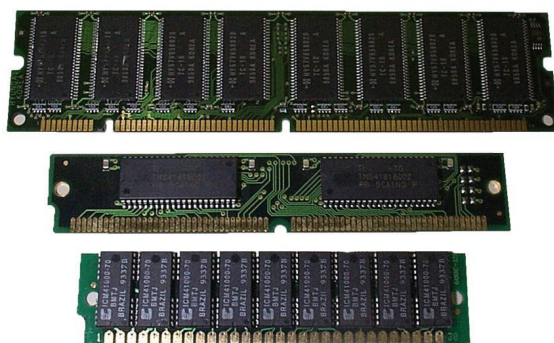
**Ciclo de clock**

Ciclo de clock: é o tempo que o processador leva para executar uma operação elementar (ex.: buscar ou transferir um dado da ou para a memória principal).

A memória RAM é comercializada para uso nos computadores no formato de pentes ou módulos de memória, contendo uma determinada quantidade desses recursos. Os pentes de memória podem variar de acordo com as características apresentadas pela memória, especialmente ligadas ao desempenho ou velocidade de transferência. Sendo assim, existem diferentes modelos de módulos de memória disponíveis no mercado. Dentre os que são utilizados atualmente, podem-se citar:

- a) Módulos SIMM (*Single In Line Memory Module*): apresentam um pequeno orifício nas linhas de contato. Foram utilizados em memórias FPM e EDO RAM. Não se encontram disponíveis no mercado atualmente;
- b) Módulos DIMM (*Double In Line Memory Module*): não apresentam orifícios nas linhas de contato e apresentam contatos em ambos os lados do módulo. São utilizados atualmente em memórias DDR, DDR2 e DDR3. A Figura 4.4 apresenta exemplos de módulos DIMM.





**Figura 4.4: Módulos DIMM**

Fonte [http://www.gdhpress.com.br/hmc/leia/cap3-4\\_html\\_64f84747.jpg](http://www.gdhpress.com.br/hmc/leia/cap3-4_html_64f84747.jpg)

### 4.4.1 Organização da memória principal

Como a memória principal é o local onde os dados e as instruções de um programa ficam armazenados para serem utilizados pelo processador durante a sua execução, é preciso ficar claro que esse conteúdo precisa estar organizado em uma estrutura padrão que permita a identificação do local onde estão armazenados cada um dos seus itens (ex.: uma instrução ou um dado).

Assim, a memória principal encontra-se organizada em um conjunto de células, sendo que cada uma delas representa o agrupamento de uma quantidade de *bits*. Cada célula caracteriza uma unidade de armazenamento na memória e possui um endereço único, o qual é utilizado pelo processador para acessar seu conteúdo. Portanto, a célula é a menor unidade endereçável em um computador. Monteiro (2007) complementa essa explicação afirmando que cada célula é constituída de um conjunto de circuitos eletrônicos, baseados em semicondutores, que permitem o armazenamento de valores 0 ou 1, os quais representam um dado ou uma instrução.

A quantidade de *bits* que pode ser armazenada em uma célula é definida pelo fabricante. Uma célula contendo  $N$  *bits* permite o armazenamento de  $2^N$  combinações de valores, o que representará a quantidade de células possíveis na memória. Um tamanho comum de célula adotado pelos fabricantes é 8 *bits* (1 *byte*).

Se for possível armazenar em uma memória de  $2^N$  combinações possíveis de células (cada uma delas contendo dados armazenados), então será possível calcular a capacidade de armazenamento da memória principal, da seguinte forma:

- a) se  $N = 9$  *bits*, tem-se que  $2^9 = 512$  (células de memória);
- b) se cada célula pode armazenar 8 *bits*, tem-se que:  $512 \times 8 = 4\text{KB}$  (4 quilo *byte*) de espaço em memória.



O acesso a cada posição (célula) de memória pode ser feito de modo aleatório, proporcionando grande flexibilidade, graças à sua tecnologia de fabricação. São duas as operações que podem ser realizadas em uma memória: escrita (*write*) – para o armazenamento de dados na memória – e leitura (*read*) – para a recuperação de dados e instruções armazenados na memória.

Pesquisem em *sites* da internet por especificações de computadores que contenham cada um dos tipos de memória apresentados acima. Se possível, copie a figura que representa o equipamento e, logo em seguida, apresente suas características (nome, modelo, ano de fabricação, tipo de memória que possui e quantidade). Esse conteúdo deve ser postado em um *blog* a ser criado no AVEA.



O termo palavra também é utilizado ao se tratar de memória de um computador, mas não deve ser confundido com célula, pois palavra é utilizada para definir a unidade de transferência e processamento e o número de *bits* que podem ser transferidos entre a memória principal e a CPU para processamento. Acerca desse tema, Monteiro (2007) afirma que a memória principal deve ser organizada em um conjunto sequencial de palavras, cada uma diretamente acessível pelo processador.

#### 4.4.2 Memória ROM

A memória ROM (*Read Only Memory*) também é considerada uma memória principal, mas apresenta algumas diferenças em relação à memória RAM. A primeira delas é o fato de ser uma memória somente de leitura, ou seja, seu conteúdo é escrito uma vez e não é mais alterado, apenas consultado. Outra característica das memórias ROM é que elas são do tipo não voláteis, isto é, os dados gravados não são perdidos na ausência de energia elétrica ao dispositivo.

É dito que um *software* que é armazenado em uma memória ROM passa a ser chamado de *firmware*. Em um computador existem diversos *software* desse tipo disponíveis em memórias ROM, pois não podem ser apagados ao desligar o computador e devem ficar disponíveis sempre que for necessário.

Dessa forma, as memórias ROM são aplicadas em um computador para armazenar três programas principais (TORRES, 2010):

- a) BIOS (*Basic Input Output System*): ou Sistema Básico de Entrada e Saída, é responsável por ensinar o processador da máquina a operar com os dispositivos básicos de entrada e saída;

## A-Z

### CMOS

CMOS: Uma abreviação de Complementary Metal Oxide Semiconductor. É uma tecnologia de construção de circuitos integrados. CMOS é uma pequena área de memória volátil, alimentada por uma bateria, que é usada para gravar as configurações do setup na placa-mãe.

- b)** POST (*Power On Self Test*): Autoteste – programa de verificação e teste que se executa após a ligação do computador, realizando diversas ações sobre o *hardware* (ex.: contagem de memória);
- c)** SETUP: Programa que altera os parâmetros armazenados na memória de configuração (**CMOS**).

De acordo com Alecrim (2010), as memórias ROM podem ser classificadas em:

- a)** PROM (*Programmable Read-Only Memory*): este é um dos primeiros tipos de memória ROM. A gravação de dados neste tipo é realizada por meio de aparelhos que trabalham através de uma reação física com elementos elétricos. Uma vez que isso ocorre, os dados gravados na memória PROM não podem ser apagados ou alterados;
- b)** EPROM (*Erasable Programmable Read-Only Memory*): as memórias EPROM têm como principal característica a capacidade de permitir que dados sejam regravados no dispositivo. Isso é feito com o auxílio de um componente que emite luz ultravioleta. Nesse processo, os dados gravados precisam ser apagados por completo. Somente após esse procedimento uma nova gravação pode ser realizada;
- c)** EEPROM (*Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory*): este tipo de memória ROM também permite a regravação de dados; no entanto, ao contrário do que acontece com as memórias EPROM, os processos para apagar e gravar dados são feitos eletricamente, fazendo com que não seja necessário mover o dispositivo de seu lugar para um aparelho especial para que a regravação ocorra;
- d)** EAROM (*Electrically-Alterable Programmable Read-Only Memory*): as memórias EAROM podem ser vistas como um tipo de EEPROM. Sua principal característica é o fato de que os dados gravados podem ser alterados aos poucos, razão pela qual esse tipo é geralmente utilizado em aplicações que exigem apenas reescrita parcial de informações;
- e)** Flash: as memórias *Flash* também podem ser vistas como um tipo de EEPROM; no entanto, o processo de gravação (e regravação) é muito mais rápido. Além disso, memórias *Flash* são mais duráveis e podem guardar um volume elevado de dados. Trata-se do tipo de memória utilizada em *pen-drive*;
- f)** CD-ROM, DVD-ROM e afins: essa é uma categoria de discos ópticos onde os dados são gravados apenas uma vez, seja de fábrica, como os CDs de músicas, ou com dados próprios do usuário, quando este efetua a gravação. Há também uma categoria que pode ser comparada ao tipo EEPROM, pois permite a regravação de dados: CD-RW e DVD-RW e afins.

## 4.5 Memória secundária

A memória secundária também é denominada de memória de massa, por possuir uma capacidade de armazenamento muito superior à das outras memórias conforme discutido neste tópico. Outra característica que difere a memória secundária das outras memórias é o fato de ser permanente (não volátil), ou seja, não perde o conteúdo armazenado caso o computador seja desligado. Por estar na base da pirâmide (Figura 4.1), apresenta o menor custo por *byte* armazenado.

Este tipo de memória não possui acesso direto pelo processador, sempre havendo a necessidade de carregamento de dados dos dispositivos de memória secundária para a memória principal, para que então sejam enviados ao processador.

Monte um arquivo com imagens de memórias secundárias, seguidas da descrição de características de cada uma delas (marca, modelo, capacidade de armazenamento, valor aproximado, aspectos de velocidade (ex.: rpm, taxa de transferência). Esse arquivo deverá ser postado como atividade no AVEA.



De acordo com Monteiro (2007), a memória secundária pode ser constituída por diferentes tipos dispositivos, alguns diretamente ligados ao sistema para acesso imediato (ex.: discos rígidos) e outros que podem ser conectados quando desejado (ex.: *pen-drive*, CD/DVD).

Em relação à tecnologia de fabricação, existe uma variedade muito grande de tipos, assim como a variedade de dispositivos que se enquadra nessa categoria de memória. Para cada dispositivo, existem diferentes tecnologias de fabricação, não sendo possível abordar todas nessa seção.



Leia o artigo: "Memórias", disponível em: <http://www.gdhpress.com.br/hardware/leia/index.php?p=cap4-1>. Acesso em: 19 jul. 2010

## Resumo

Nesta aula discutimos o subsistema de memória de um sistema computacional, caracterizando os diferentes tipos de memórias disponíveis.

Nesse sentido, foram abordadas as memórias permanentes ou não voláteis e as voláteis.

As do primeiro tipo mantêm o conteúdo armazenado mesmo na ausência de energia, sendo elas: memória secundária (ex.: disco rígido, CD/DVD, *pen-drive*) e a memória primária do tipo ROM (*Read Only Memory*).

As do segundo tipo apagam o conteúdo armazenado caso o computador seja desligado, ou seja, quando cessar o fornecimento de energia. Enquadram-se nessa categoria: os registradores, as memórias *cache* e a memória principal do tipo RAM.

## Atividades de aprendizagem

Responda às questões a seguir sobre o conteúdo desta aula. As questões a, b, c e d devem ser respondidas em um documento de texto e postadas como atividade no AVEA. Já as questões e e f deverão ser respondidas e comentadas no fórum sobre “Memórias de um computador”, também disponível no AVEA.

- a) Quais são os dois tipos principais de memória? Explique.
- b) O que são memórias voláteis e não voláteis? Exemplifique.
- c) Qual a função da memória RAM (memória principal) no computador? É possível que um computador funcione utilizando-se apenas dos demais tipos de memória? Explique.
- d) O que diferencia uma memória que se utiliza da tecnologia DRAM de outra que se utiliza da SRAM?
- e) Faça uma análise dos diversos tipos de memória em relação aos fatores velocidade e custo.
- f) Conceitue memória *cache* e fale da atuação dela no desempenho do computador.