

Projeto de Sistemas Microcontrolados

Aula 02 - Introdu o aos Microcontroladores – Parte II

Apresentação

Nesta aula serão descritas as arquiteturas de microcomputadores e microcontroladores. Você estudará as características peculiares a cada uma delas. Além disso, será feito um pequeno relato histórico que o situará no contexto dos microprocessadores, DSPs e microcontroladores, responsáveis por revolucionárias transformações em nossas vidas nas últimas cinco décadas. Finalizando, terá alguns exemplos de instrumentos e equipamentos que fazem uso de microcontroladores.

Objetivos

Ao final desta aula você será capaz de:

- Diferenciar arquitetura e organização de um microcomputador, definindo quais os atributos que definem a sua arquitetura e a sua organização.
- Classificar a arquitetura de um microcomputador quanto ao seu conjunto de instruções e quanto ao acesso a dados e programas.
- Caracterizar um microcomputador ou microcontrolador por seus tamanhos de barramento de dados e de instruções.
- Conhecer um pouco da história dos microprocessadores e microcontroladores.
- Enumerar algumas aplicações onde atualmente o microcontrolador se faz presente.

Introdução aos Microcontroladores

Na aula 1, foi feita uma primeira parte da introdução aos microcontroladores na qual foi apresentada a organização simplificada de um microcomputador e, como consequência, a de um microcontrolador, já que este último se constitui em um microcomputador em um chip.

Nesta aula, será concluída essa introdução tratando com mais detalhes as principais arquiteturas usadas na orientação de seus projetos.

Organização e arquitetura de microcontroladores

Existem dois termos usualmente utilizados para caracterizar a construção física de um microcomputador: sua organização e sua arquitetura. Aparentemente, os dois termos se equivalem, mas, segundo Stallings:

- O termo **arquitetura** de um computador refere-se aos atributos de um sistema que são visíveis para o programador ou, em outras palavras, aos atributos que têm impacto direto sobre a execução lógica de um programa.
- O termo **organização** de um computador refere-se às unidades operacionais e às interconexões que implementam as especificações da sua arquitetura.

Os **atributos de uma arquitetura** incluem, por exemplo, o seu conjunto de instruções, o número de *bits* usados para representar os vários tipos de dados, os mecanismos de E/S e as técnicas de endereçamento de memória. Mais explicitamente: definir se um **computador deve ou não ter uma instrução de multiplicação**, por exemplo, constitui uma decisão do projeto da sua arquitetura.

Os **atributos de uma organização** incluem detalhes de *hardware* transparentes ao programador, tais como os sinais de controle, as interfaces entre o computador e os periféricos e a tecnologia de memória utilizada em sua fabricação. Mais explicitamente: definir se uma instrução de multiplicação será implementada por

uma unidade de multiplicação especial ou por um mecanismo que utiliza repetidamente sua unidade de soma constitui uma decisão do projeto da sua organização.

Atividade 01

1. Você entendeu bem a diferenciação entre arquitetura e organização de um microcomputador? Procure selecionar algo mais que considere que faça parte da arquitetura e algo que faça parte da organização de um microcomputador.
-

Estes termos, arquitetura e organização, no entanto, tendem a uma homogeneidade e a sua relação a se estreitar, à medida que aumenta a miniaturização dos já miniaturizados microcomputadores.

Mudanças na tecnologia, por exemplo, não apenas influenciam a organização, mas também resultam na introdução de arquiteturas mais ricas e poderosas.

Para estruturas de elevado grau de miniaturização, normalmente, não existe um forte requisito de compatibilidade de uma geração para outra, o que flexibiliza e aumenta a relação das tomadas de decisão relativas à sua arquitetura e à sua organização.

Para nós, neste curso, será mais que suficiente conhecer um pouco da arquitetura dos microcomputadores e, por conseguinte, dos microcontroladores.

Existem duas linhas de definição da arquitetura dos microcomputadores:

- A primeira é feita pela escolha do conjunto de instruções que lhes são atribuídas.
- A segunda é feita pela escolha do modelo que será usado para acesso a dados e programas.

Pela escolha do seu conjunto de instruções podemos ter três tipos de arquiteturas:

- CISC (*Complex Instruction Set Computer*) – microcomputador com um conjunto muito grande e complexo de instruções.
- RISC (*Reduced Instruction Set Computer*) – microcomputador com um conjunto simples e reduzido de instruções.
 - Exemplificando, um microcomputador ou microcontrolador, para ser considerado de arquitetura RISC, deve apresentar instruções muito simples, tais como simplesmente fazer:
 - A adição entre dois operandos (ADD).
 - A subtração entre dois operandos (SUB).
 - O incremento de um operando (INC).
 - O decremento de um operando (DEC).
 - O complemento a 1 de um operando (COMP).
 - Um **e** lógico entre dois operandos (AND).
 - Um **ou** lógico entre dois operandos (OR).
 - Um **ou-exclusivo** lógico entre dois operandos (XOR).
 - Um deslocamento dos *bits* de um operando para esquerda (RL – Rotate Left).
 - Um deslocamento dos *bits* de um operando para a direita (RR – Rotate Right).

- Uma transferência de um dado em um registrador do microcontrolador para uma posição da memória (MOV ou ST - Store).
 - Uma transferência de um dado em uma posição de memória para um registrador do microcontrolador (MOV ou LD - Load).
 - Um desvio para outro ponto do programa (GOTO).
 - Uma chamada de uma função (CALL).
 - Um retorno de uma função (RET ou RETURN).
 - Um teste de *bit* (se de valor zero ou um) (BT - Bit Test).
- SISC (*Specific Instruction Set Computer*) – microcomputador com um conjunto muito específico de instruções voltadas, normalmente, para execução de uma única aplicação.

À medida que ocorre a miniaturização dos microprocessadores e microcontroladores, observa-se também uma nítida tendência em se projetar unidades com arquiteturas híbridas, CISC e RISC.

Pela escolha do modelo que será usado para acesso a dados e programas, podemos ter computadores com arquitetura projetada segundo dois modelos:

- O proposto por Von Neumann, do Instituto de Estudos Avançados de Princeton, denominada de Arquitetura de Von Neumann.
- O proposto pela universidade de Harvard, denominada de Arquitetura de Harvard.

Um microcomputador projetado com arquitetura segundo o modelo proposto por Von Neumann, mostrado na Figura 1, apresenta três blocos funcionais básicos: a unidade de memória, a unidade de E/S e a Unidade Central de Processamento, acessíveis através de três barramentos padrões: o de dados, o de controle e o de endereços. Por possuir uma única unidade de memória, fisicamente estão armazenados nesta unidade, programas e dados. Como consequência, pelo barramento de dados, além dos dados (como as variáveis inerentes de um programa), trafegam também as próprias instruções de programa.

Já um computador projetado segundo o modelo de Harvard, mostrado na Figura 2, se diferencia do de Von Neumann por apresentar duas unidades de memória. Uma para armazenar dados e uma para armazenar programas. Por consequência, precisa também de um barramento específico para tráfego de dados e um específico para tráfego de instruções de programas.

Figura 01 - Microcomputador projetado segundo o modelo proposto por Von Neumann.

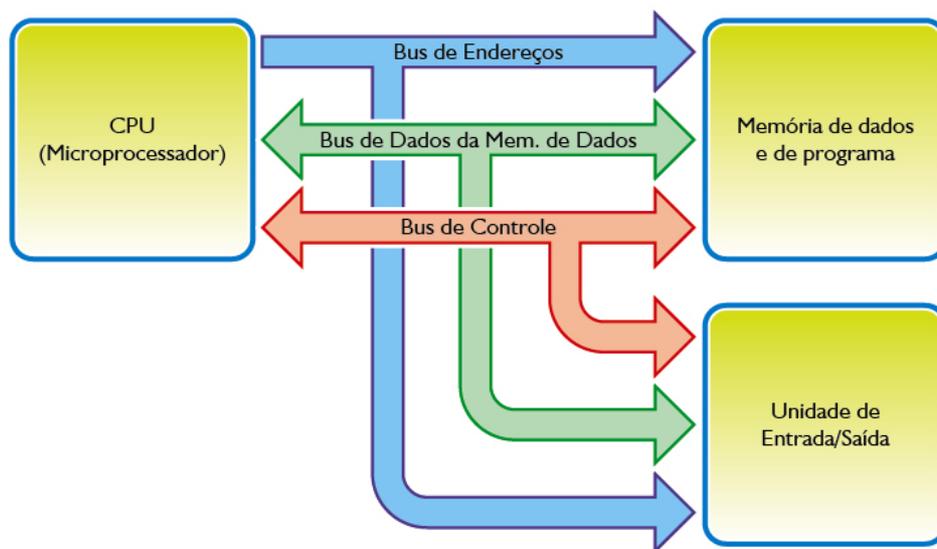
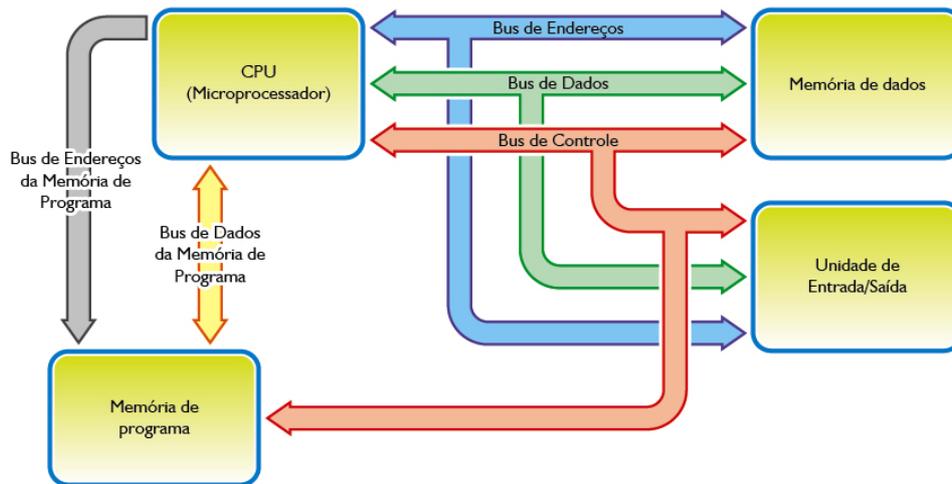


Figura 02 - Microcomputador projetado segundo o modelo proposto por Harvard.



Beneficiados pelos avanços da tecnologia de fabricação e pelo elevado grau de miniaturização dos *chips*, muitas inclusões foram feitas aos modelos de Von Neumann e de Harvard, no entanto, a essência de suas proposições está mantida até os dias de hoje.

Atividade 02

1. Dentro do que foi colocado para as duas arquiteturas, Von Neumann e Harvard, procure associá-las com a arquitetura do seu microcomputador ou do microcomputador que você está neste momento trabalhando. Você acha que está trabalhando numa máquina de Von Neumann ou numa de Harvard? Por quê?

Uma coisa interessante é associarmos a maioria dos microcontroladores com as diversas modalidades de arquiteturas que foram apresentadas.

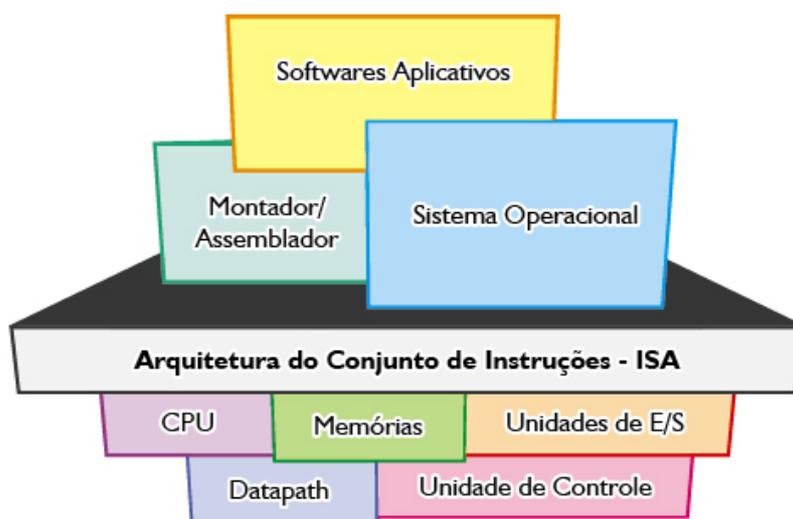
Por exemplo, embora um microcomputador possa se apresentar segundo o modelo de Von Neumann ou de Harvard e ser projetado como uma máquina CISC ou RISC, os microcontroladores, em sua grande maioria, se apresentam numa mistura Harvard RISC.

Os microcontroladores PIC que analisaremos no nosso curso são projetados segundo uma arquitetura Harvard (apresentam memórias separadas para armazenamento de programas - memória de programa, e para armazenamento de

dados – memória de dados. Como consequência também apresentam barramentos separados para tráfego de instruções de programa e para tráfego de dados) e têm um número reduzido de instruções, caracterizando-se como sendo de arquitetura RISC quanto ao número e à complexidade das instruções que podem executar.

O conjunto de instruções que definem um microprocessador ou um microcontrolador é tão importante que os projetos dessas pastilhas, normalmente, são definidos a partir da definição de seu conjunto de instruções. Um esquema bem interessante é mostrado na Figura 3, onde a definição da Arquitetura do seu Conjunto de Instruções ou ISA – abreviatura de *Instruction Set Architecture*, é o elo de ligação entre o *software* (que envolve o sistema operacional, montadores, compiladores e aplicativos) e o *hardware* que define a sua organização (CPU, Memória, interfaces de E/S e, num nível mais baixo ainda, seu *datapath* e sua unidade de controle – estes dois últimos são vistos, frequentemente, quando se faz o projeto de sistemas digitais a nível de transferência de registros, fora do escopo deste curso). Esclarecendo, o termo *Datapath* (caminho de dados) define o caminho que os dados percorrem numa unidade operativa, num projeto digital no nível de transferência entre registros.

Figura 03 - Componentes estruturais associados à Arquitetura do Conjunto de Instruções.



Como vimos nas figuras 1 e 2, que definem a arquitetura de um microcomputador ou de um microcontrolador, como sendo do modelo proposto por Von Neumann ou do modelo proposto por Harvard, existem barramentos que

conectam diferentes partes do sistema.

Um barramento também chamado de via ou *bus* é um conjunto de linhas (entre pinos) que interligam o microprocessador às unidades de memória e às unidades de entrada/saída e por onde trafegam dados, instruções e sinais de controle. Um microprocessador possui de três a cinco tipos de barramentos utilizados para transporte: *bus* de dados, *bus* de endereços e *bus* de controle (se o microcomputador ou microcontrolador for projetado segundo o modelo proposto por Von Neumann); e *bus* de dados, *bus* de dados da memória de programa (*bus* de instruções ou de programa), *bus* de endereços, *bus* de endereços da memória de programa e *bus* de controle (se o microcomputador for projetado segundo o modelo proposto por Harvard).

As **vias de dados são barramentos** bidirecionais, utilizados para realizar o intercâmbio de dados e instruções com o exterior (caso o modelo seja de Von Neumann) ou simplesmente de dados (caso o modelo seja de Harvard). Uma das principais características de um microprocessador é o número de *bits* que o barramento de dados pode transferir, que determina se o microprocessador ou microcontrolador é de 8, 16, 32 ou 64 *bits*. Esse número de *bits* especifica o tamanho da palavra de dados que pode ser transferida de/para a Unidade Central de Processamento e, quase sempre, o tamanho da palavra de dados que pode ser operada pelas unidades que fazem operações aritméticas e lógicas (ALUs) que compõem a Unidade Central de Processamento.

O **barramento de endereços** (único para o modelo de Von Neumann) ou o **barramento de endereços** e o **barramento de endereços da memória de programa** (no modelo de Harvard) se constituem num conjunto de linhas de endereços que indicam a posição de memória onde se encontra a instrução ou o dado requisitado, bem como definem a quantidade de posições de memória e/ou de portas de entrada/saída que podem ser acessadas pelo microprocessador ou pelo microcontrolador. Para n *bits* do barramento de endereços, 2^n *bytes* de memória podem ser endereçados, ou seja, 2^n endereços físicos podem ser acessados. 2^n definem, portanto, a capacidade de endereçamento do microprocessador ou microcontrolador.

O **Barramento de controle** é formado por um número variável de linhas, por meio das quais se controlam as unidades complementares, habilitando e desabilitando memórias e unidades periféricas a acessarem as vias de dados e de endereços. Transfere, de forma genérica, para as diversas partes do sistema, sinais que definem e orientam toda a operação do sistema a microprocessador.

Alguns sinais de controle típicos de um microprocessador ou microcontrolador são:

- Leia de uma posição de memória (*memory read*).
- Leia de uma porta de E/S (*I/O read*).
- Escreva em uma posição de memória (*memory write*).
- Escreva em uma porta de E/S (*I/O write*).
- Pedido de interrupção de programa (*interruption request*).
- Sinal de relógio (*clock*).
- Sinal de partida/reinício (*reset*).

Existem certas características que são bem próprias de microprocessadores e de microcontroladores e que nos ajudam a diferenciá-los. Algumas dessas características, que nos ajudam, inclusive, na melhor escolha para uma dada aplicação, são as seguintes:

Os microprocessadores apresentam:

- Largura de barramento de endereços elevada (pois permitem o gerenciamento de grande quantidade de memória). Já em meados da década de 1980, essa largura de barramento de endereços era de 32 *bits* (o que já permitia uma capacidade de endereçamento de 2^{32} , ou seja, 4 GBytes) e hoje, essa largura já chega a casa dos 64 *bits* (o que nos dá uma capacidade de endereçamento de memória imensurável no nosso universo: 2^{64}).

- Unidade de gerenciamento de memória integrada ou *on-chip*.
- Tratamento de dados com representação binária de 8, 16, 32, 64 e, até mesmo, de 80 bits.
- Unidade de cálculo de matemática com números reais *on-chip* com suporte a operações numéricas bastante complexas. Essa unidade é chamada de FPU (unidade de ponto flutuante – ponto flutuante por causa da representação de reais em notação científica onde apenas um dígito é colocado para representar a parte inteira do número).
- Infelizmente, apresentam alto custo, alto consumo de energia e ocupam uma maior área de silício em comparação com as demais modalidades de processadores.

Os microcontroladores apresentam:

- Memória e unidades periféricas *on chip*.
- Barramento de endereços com poucos *bits*, só permitindo o gerenciamento de pequenas quantidades de memória. Algumas larguras típicas variam de 10 a 14 *bits* e, nesses casos, limitando seu acesso à memória variando de 1 Kbyte a 8 Kbytes.
- Tratamento de dados restrito aos inteiros com representação binária de 8 *bits* e de 16 *bits*. Atualmente, algumas famílias permitem o tratamento de inteiros de 32 *bits*.
- Ausência de unidades aritméticas de ponto flutuante.
- Em geral, são de baixo custo, apresentam baixo consumo e, em comparação aos demais, ocupa as menores áreas de silício.

Bem, e os DSPs? Esses se apresentam com características intermediárias entre os microprocessadores e os microcontroladores. Algumas famílias atuais de DSPs já tratam inclusive dados de até 32 *bits* e permitem operações aritméticas com números inteiros e com números reais, em representação de ponto flutuante, mas, nesses casos, se apresentam com preços muito elevados.

Para entender melhor o que é aritmética de ponto flutuante, faça uma associação dela com a notação científica normalizada, usada para representar números reais muito grandes ou muito pequenos. Por exemplo, o número 0,000016 pode ser representado em notação científica como $1,6 \text{ E}^{-5}$, e o número 34.000.000.000.000 como $3,4 \text{ E}^{13}$. Observe que se tem apenas um dígito inteiro significativo e o expoente varia de acordo com o posicionamento da vírgula.

A seguir você vai ser alertado sobre alguns critérios importantes, caso venha a precisar escolher qual microsistema usar em algum projeto.

A escolha de um microprocessador ou microcontrolador para uma dada aplicação é, provavelmente, a mais difícil tarefa enfrentada por um engenheiro ou por um técnico. Para tomar a melhor decisão, ele deve conhecer a gama de *microchips* que poderá usar para a aplicação, para, assim, poder precisar e medir os pros e contras de cada opção. A maioria opta por fazer a escolha dentro do jogo de dispositivos com o qual já está familiarizada.

Para ajudar nessa escolha, a maioria dos fabricantes oferece ferramentas de desenvolvimento e de avaliação. Essas ferramentas permitem ao engenheiro ou ao técnico desenvolver e testar o seu *software* sem ter que implementar o *hardware* requerido pela aplicação.

Com as tolerâncias inerentes a qualquer projeto, os primeiros critérios que devem ser levados em consideração na escolha de um microprocessador dizem respeito a:

- Funcionalidade do conjunto de instruções.
- Arquiteturas usadas em sua construção.
- Velocidade na execução de instruções e programas (não exatamente a frequência do clock).
- Capacidade de executar operações aritméticas e lógicas.
- Consumo de energia e tamanho.
- Presença de periféricos necessários à aplicação.
- Ferramentas de *software* e suporte técnico. Neste item devem ser observados o ambiente de desenvolvimento (presença de editor, compilador, simulador, emulador etc.), a biblioteca de funções e as soluções de software disponibilizadas pelo fabricante ou empresas credenciadas.
- Custo.
- Disponibilidade de mercado.
- E, por fim, a maturidade do processador.

Atividade 03

1. Nos parágrafos anteriores, foram colocadas várias características que diferenciam microcontroladores e microprocessadores, bem como foram colocados alguns fatores que permitem fazer uma escolha apropriada de um deles para algumas linhas de projetos. Para você, que características e que fatores são mais relevantes para que um projetista escolha um DSP para projetar e conseguir colocar no mercado, com ótimas perspectivas de venda, um equipamento que possa agrupar as funções de um celular, de uma calculadora científica e de um receptor de áudio e vídeo?

Um pouco de história

Sempre que fazemos uma introdução aos microprocessadores ou microcontroladores, procuramos também fazer uma contextualização histórica para que o aluno ou o leitor tenha uma noção clara da revolução que esses dispositivos provocaram no mundo moderno.

O desenvolvimento do microprocessador na década de 1970 representou o maior marco na história dos sistemas eletrônicos e da computação. Ele permitiu o desenvolvimento de computadores pessoais de baixo custo e gerou o campo dos sistemas embarcados, nos quais um microprocessador, um microcontrolador ou um DSP é usado para controlar um sistema ou um subsistema eletrônico em especial.

A paternidade do microprocessador é ainda debatida até hoje. Em 1971, a Intel introduziu o 4004, que incluía todos os elementos de uma CPU de 4 *bits*. Nesse mesmo ano a Texas lançou o TMS1802NC.

Esses dois microprocessadores foram, originalmente, orientados para suportar as funções de uma calculadora eletrônica. O TMS1802NC da Texas mostrou-se, no entanto, pouco flexível, já que sua programação era armazenada em uma memória interna, só de leitura (o que significava que a mudança no programa exigia um novo processo de mascaramento do chip).

A Intel, a partir do seu primeiro *chip*, o 4004, provavelmente, o primeiro do mundo, continuou seus esforços no desenvolvimento de microprocessadores produzindo, em 1972, o 8008 e, em 1974, o 8080 (reconhecidamente o primeiro microprocessador desenvolvido para aplicações de uso geral).

Várias companhias seguiram os passos da Intel. Como por exemplo: a Motorola com o 6800, a Rockwell com o 6502 e a Zilog com o Z80. Para competir com esses novos processadores, a Intel lançou, em 1975, uma versão melhorada do 8080: o 8085.

Como características marcantes desses microprocessadores destacam-se: *bus* de dados de 8 *bits*; *bus* de endereços de 16 *bits* (capacidade de endereçamento de 2^{16}); conjunto de instruções com, aproximadamente, 80 instruções (ou um pouco

mais); execução sequencial das instruções de um programa (tal característica fazia com que a execução de uma instrução só fosse iniciada quando a anterior tivesse sido completamente concluída).

Nessa mesma época, começaram a ser desenvolvidos os microprocessadores de 16 *bits*. No entanto, apenas em 1978 surgiu o primeiro deles: o 8086 da Intel. A ele sucederam o 8088 e o 286 da Intel (usados nas linhas de microcomputadores PC, XT e AT da IBM) e os 68000 e 68010 da Motorola (usados na linha de microcomputadores da Apple).

Esses microprocessadores se caracterizam por apresentar: barramento de dados de 16 *bits* (com exceção do 8088, que tinha um *bus* de dados de 8 *bits*); barramento de endereços de 20 e de 24 *bits* (que lhes davam, respectivamente, a capacidade de endereçamento de 2^{20} e de 2^{24} Kbytes de memória); maior e mais complexo conjunto de instruções; modificação da execução sequencial para a técnica de *pipeline* (a técnica de *pipeline* é semelhante a uma linha de produção de fábrica. Como cada instrução de um microprocessador passa por diversas fases, cada fase fica sob a responsabilidade ou é canalizada para um bloco funcional específico).

A geração de microprocessadores de 32 *bits* é iniciada em 1984, pela Motorola, com o lançamento do 68020, num ambiente já notadamente multiusuário e multitarefa (isso significa que o microprocessador já permitia que mais de um usuário utilizasse os seus serviços e cada usuário poderia abrir ou executar várias tarefas ou aplicativos). Pós o 68020 vieram o 68030 da Motorola e o 80386DX da Intel (usado como unidade central da linha de microcomputadores 386DX). Como principais características desses microprocessadores destacam-se: *bus* de dados de 32 *bits*; *bus* de endereços de 32 *bits*; aumento no número de instruções; capacidade de endereçamento de 4 Gigabytes (2^{32}) de memória física; estrutura *pipelined* melhorada (aumento do número de unidades no processo de canalização de etapas a serem executadas).

Aos microprocessadores 68030 e 80386DX sucederam os também de 32 *bits*, 68040 e 80486DX.

O 80486DX apresentou uma arquitetura escalar, em *pipeline* único com quatro níveis, extremamente otimizado, e incorporou *on-chip* uma unidade de memória, chamada de *cache* L1, e uma unidade em ponto flutuante que permitia a execução de instruções com números reais em ponto flutuante.

Posteriormente, a Intel lança a linha PENTIUM, também de 32 *bits*, a qual deu origem à saga de microprocessadores atuais e cujas características você lida no dia a dia.

Paralelamente, na busca de melhores performances tão bem quanto de novos mercados, os produtores de microprocessadores procuraram especializar os seus projetos. Como resultado desse esforço, em 1974, a Texas Instruments produziu o primeiro microcontrolador: o TMS1000.

Esses microcontroladores, em essência, se constituíam em um completo microcomputador em um chip. A inclusão de memória e de unidades periféricas no chip o fez particularmente eficiente em aplicações de sistemas embarcados onde custo, tamanho e consumo de energia deviam ser mantidos extremamente baixos.

Em 1980, a Intel lançou a família de microcontroladores 8748. Essa família integrou muitos periféricos, inclusive uma memória de programa que podia ser apagada e reprogramada pelo projetista. Tais características abaixaram os custos de desenvolvimento dos sistemas à microcontrolador e permitiu o seu uso em aplicações de sistemas embarcados de baixos volumes.

Já na década de 1990, vários fabricantes optaram pela fabricação de microcontroladores de baixo custo, a exemplo da Microchip, que com seus carros chefes, os microcontroladores PIC (abreviatura usada para *Peripheral Interface Controller* - controlador de *interfaces* periféricas ou simplesmente controlador de periféricos), passou, de 1990 a 1997, da 20ª para a 2ª posição no *rank* do mercado mundial de fabricantes de microcontroladores de 8 *bits*, ficando abaixo somente da Motorola e na frente de outros gigantes como a Intel e a *National*.

Em 1983, surgiu o primeiro DSP. Foi lançado pela Texas Instruments, o TMS320C10, especificamente projetado para resolver problemas de processamento digital de sinais, até essa época, feito totalmente no domínio da eletrônica analógica.

Paralelamente ao desenvolvimento dos DSPs da Texas, a Microchip desenvolveu uma família de controladores digitais a qual denominou de DsPICs (*Digital Signal Controllers*).

Hoje, com a presença de baratos e eficientes DSPs e DsPICs, o processamento digital de sinais se incorporou a um conjunto muito grande de áreas da produção industrial onde, principalmente, são exigidos algoritmos eficientes e rápidos para a compressão de dados, análise e controle de processos, aquisição e análise de dados.

A diferenciação introduzida pela absorção de periféricos específicos nos microprocessadores gera componentes extremamente especializados. Alguns, por exemplo, são especificamente projetados para aplicações em protocolos de comunicação (Ethernet, USB, etc.) enquanto outros são especificamente projetados para uso em motores elétricos. O benefício de tais especificações é a produção de projetos eficientes, em termos de custo, tamanho e consumo de energia.

Atividade 04

1. Procure descobrir as características do microcomputador que você está trabalhando neste momento ou o de sua casa. Cronologicamente, desde quando os recursos que esse computador apresenta estão nos microcomputadores? Caso algum recurso não tenha sido apresentado no texto desta aula, procure acessar o site do [clube do hardware](#) e faça essa analogia cronológica.

Aplicações

A seguir são enumeradas algumas aplicações onde, atualmente, o microcontrolador se faz presente.

Na industrial, na fabricação de:

- Medidores de energia elétrica.
- Leitores de *smart cards* e de código de barras.
- Circuitos de chaveamento e controle de motores.
- Carregadores inteligentes de bateria.
- Controladores de temperatura.
- Sistema de freios ABS.
- Sistemas de segurança predial.
- *No breaks* inteligentes.

Nas áreas de instrumentação eletrônica, na fabricação de:

- Geradores de funções, multímetros e frequencímetros.
- Equipamentos de comunicação pessoal.
- Testadores de cabos.

Na área de computação de dados, no desenvolvimento de:

- Sistemas dedicados.
- Sistemas embarcados.
- *Basic Stamps* (pequenas placas, do tamanho de um selo, muito usadas em articulações robóticas).
- Mouses e teclados.
- Modems.

Resumo

Nesta aula foram descritas as arquiteturas de microcomputadores e microcontroladores, sendo estudadas as características peculiares a cada uma delas. Foi feito um pequeno relato histórico que o situou no contexto dos microprocessadores, DSPs e microcontroladores. Finalizando, foram dados exemplos de instrumentos e equipamentos que fazem uso de microcontroladores. Na próxima aula iniciaremos nosso estudo de microcontroladores PIC.

Autoavaliação

1. Diferencie arquitetura e organização de um microcomputador e cite um atributo da arquitetura e um da organização de um microcomputador.
2. Como se classificam as arquiteturas dos microcomputadores quanto ao seu conjunto de instruções? E quanto ao acesso a dados e programas?
3. Faça um pequeno relato da evolução dos microprocessadores.
4. Quais as características dos microprocessadores de 32 *bits*?
5. Cite algumas aplicações onde os microcontroladores podem estar presentes.

Referências

STALLINGS, William. **Arquitetura e organização de computadores**. São Paulo: Prentice Hall, 2002.