Aula 1

- Microprocessadores *versus* microcontroladores
- Sistemas embebidos
- Desenvolvimento de aplicações para microcontroladores
- O Microcontrolador PIC32 da Microchip
- Ferramentas de desenvolvimento para a placa DETPIC32

José Luís Azevedo, Bernardo Cunha, Tomás Oliveira e Silva

Microcontroladores *versus* Microprocessadores

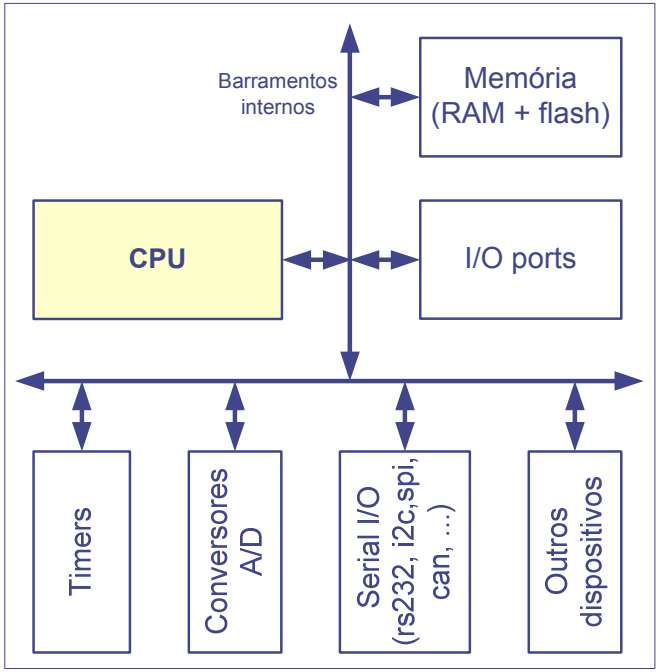
- Microprocessador:
  - Circuito integrado com um (ou mais) CPU
  - Não tem memória interna (além do banco de registos)
  - Os barramentos estão disponíveis no exterior
  - Para obter um sistema completo é necessário acrescentar RAM, ROM e periféricos
  - Pode operar a frequências elevadas (> 3GHz)
  - Sistemas computacionais de uso geral
- Microcontrolador:
  - Circuito integrado inclui CPU, RAM, ROM, periféricos
  - Frequência de funcionamento normalmente baixa (< 200 MHz)
  - Baixo consumo de energia
  - Disponibiliza uma grande variedade de periféricos e interfaces com o exterior
  - Rapidez de resposta a eventos externos (Sistemas de Tempo Real)
  - Utilizado em tarefas específicas (por exemplo controlo da velocidade de um motor)

Sistema embebido

- Sistema computacional especializado
  - realiza uma tarefa específica ou o controlo de um determinado dispositivo
- Tem requisitos próprios e executa apenas tarefas pré-definidas
- Recursos disponíveis, em geral, mais limitados que num sistema computacional de uso geral (e.g. menos memória, ausência de dispositivos de interação com o utilizador)
- Tem, em regra, um custo inferior a um sistema computacional de uso geral
- Pode ser implementado com base num microcontrolador
- Pode fazer parte de um sistema computacional mais complexo
- Exemplos de aplicação:
  - eletrónica de consumo, automóveis, telecomunicações, domótica, robótica, iot, …

Microcontrolador – principais caraterísticas

- Dispositivo programável que integra, num único circuito integrado, 3 componentes fundamentais:
  - Uma Unidade de Processamento
  - Memória (volátil e não volátil)
  - Portos de I/O (E/S)
- Inclui outros dispositivos de suporte (periféricos), tais como:
  - Timers
  - Conversor A/D
  - Serial I/O (rs232, i2c, spi, can, ...)
  - ...



- Barramentos (dados, endereços e controlo) interligam todos estes dispositivos (não estão, geralmente, acessíveis externamente)
- Externamente há, em geral, pinos que podem ser configurados programaticamente para diferentes funções (versatilidade)

Processo de desenvolvimento de aplicações para μC

- Computador host (e.g. PC) / Computador target (μC)
  - Estas plataformas são, geralmente, distintas (CPU, sistema operativo, dispositivos de interface com o utilizador, ...)

- **Edição do programa** numa linguagem de alto nível (por ex. C), ou, em casos pontuais, em *assembly* do microcontrolador
- **Geração do código** usando um *cross-compiler* / *cross-assembler*
  - Um ***cross-compiler*** (compilador-cruzado) é um compilador que corre na plataforma A (o *host*, e.g. o PC) e que gera código executável para a plataforma B (o *target*, e.g. o μC)
  - A utilização de *cross-compilers* / *cross-assemblers* é a regra no desenvolvimento de aplicações para microcontroladores uma vez que, geralmente, estes não disponibilizam os recursos necessários e as interfaces adequadas
- **Transferência para a memória do microcontrolador** (geralmente memória não volátil) do código produzido pelo *cross-compiler* / *cross-assembler*
- **Teste e depuração** (*debug*) do programa

Transferência de programas para o microcontrolador

- Para a transferência de um programa executável para a memória do microcontrolador pode ser utilizado um dos seguintes métodos:
  - **Programa-monitor** (software)
  - ***Bootloader*** (software)
  - ***In-Circuit Debugger*** (hardware)

- Programas-monitor e *bootloaders*:
  - Executam no arranque do sistema
  - A comunicação com o *host* é efetuada por RS232 / USB
- *In-Circuit Debugger*
  - Dispositivo externo proprietário, i.e., específico para um dado fabricante
  - Pode usar uma interface de comunicação standard (JTAG) ou uma interface proprietária

Transferência de programas para o microcontrolador

- **Programa-monitor**: é um programa que reside, de forma permanente, na memória não volátil do microcontrolador:
  - disponibiliza funções de transferência e execução de programas
  - implementa outras funções úteis no *debug* de novos programas, como por exemplo, visualização do conteúdo de registos internos do microprocessador, visualização do conteúdo da memória, execução passo a passo, etc.

- ***Bootloader***: é um programa que reside, de forma permanente, na memória do microcontrolador e que disponibiliza apenas funções básicas de transferência e execução de um programa.

Transferência de programas para o microcontrolador

- ***In-Circuit Debugger* (ICD)**: um dispositivo de hardware controlado por software no *host* que permite a transferência e execução controlada de um programa num microcontrolador

- O ICD é, normalmente, necessário para a transferência inicial de um programa-monitor ou de um *bootloader* .

Tecnologias de memória não volátil

S

- **ROM** – programada durante o processo de fabrico
- **PROM** – *Programmable Read Only Memory*: programável uma única vez
- **EPROM** – *Erasable PROM*: escrita em segundos, apagamento em minutos (ambas efetuadas em dispositivos especiais)
- **EEPROM** – *Electrically Erasable PROM*
  - O apagamento e a escrita podem ser efetuados no próprio circuito em que a memória está integrada
  - O apagamento é feito byte a byte
  - Escrita muito mais lenta que leitura
- **Flash EEPROM** (tecnologia semelhante à EEPROM)
  - A escrita pressupõe a inicialização (*reset*) prévia das zonas de memória a escrever
  - O *reset* é feito por blocos (por exemplo, blocos de 4 kB) o que torna esta tecnologia mais rápida que a EEPROM
  - O *reset* e a escrita podem ser efetuados no próprio circuito em que a memória está integrada
  - Escrita muito mais lenta que a leitura

Microcontrolador PIC32 da Microchip

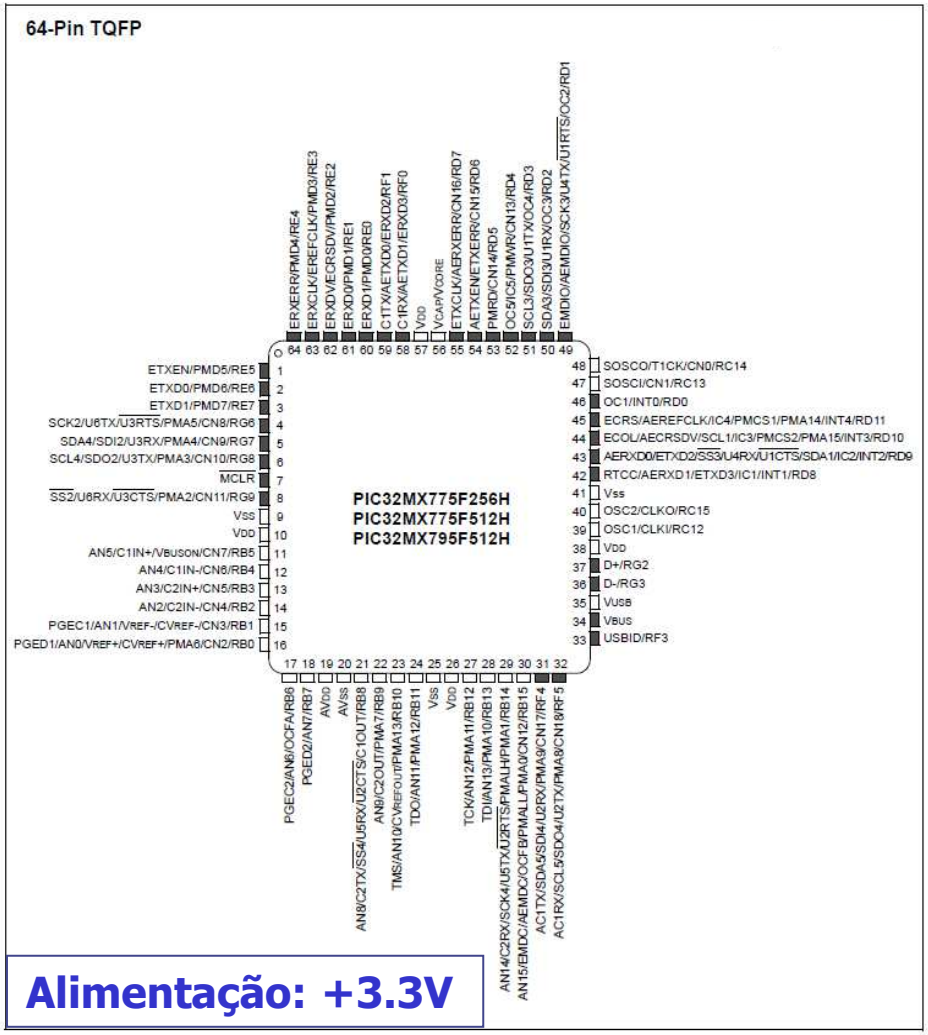
- Microcontrolador **PIC32MX795F512H**:
  - CPU MIPS
  - Conjunto alargado de periféricos
  - Memória flash: 512 kB (+12 kB Boot flash)
  - Memória RAM: 128 kB
  - Versão de 64 pinos (também disponível em 100 e 121 pinos)

- **CPU**:
  - MIPS32 M4K (core 32-bits com 5 estágios de *pipeline*)
    - Com coprocessador 0 (exceções e interrupções, gestão de memória)
    - **Não** dispõe de *Floating Point Unit* (coprocessador 1)
  - 32 registos de 32 bits ($0 a $31)
  - Espaço de endereçamento de 32 bits
  - Organização de memória: *byte-addressable*
  - Max. frequência de relógio: 80 MHz
- Documentação completa em (link válido em 13/02/2023):

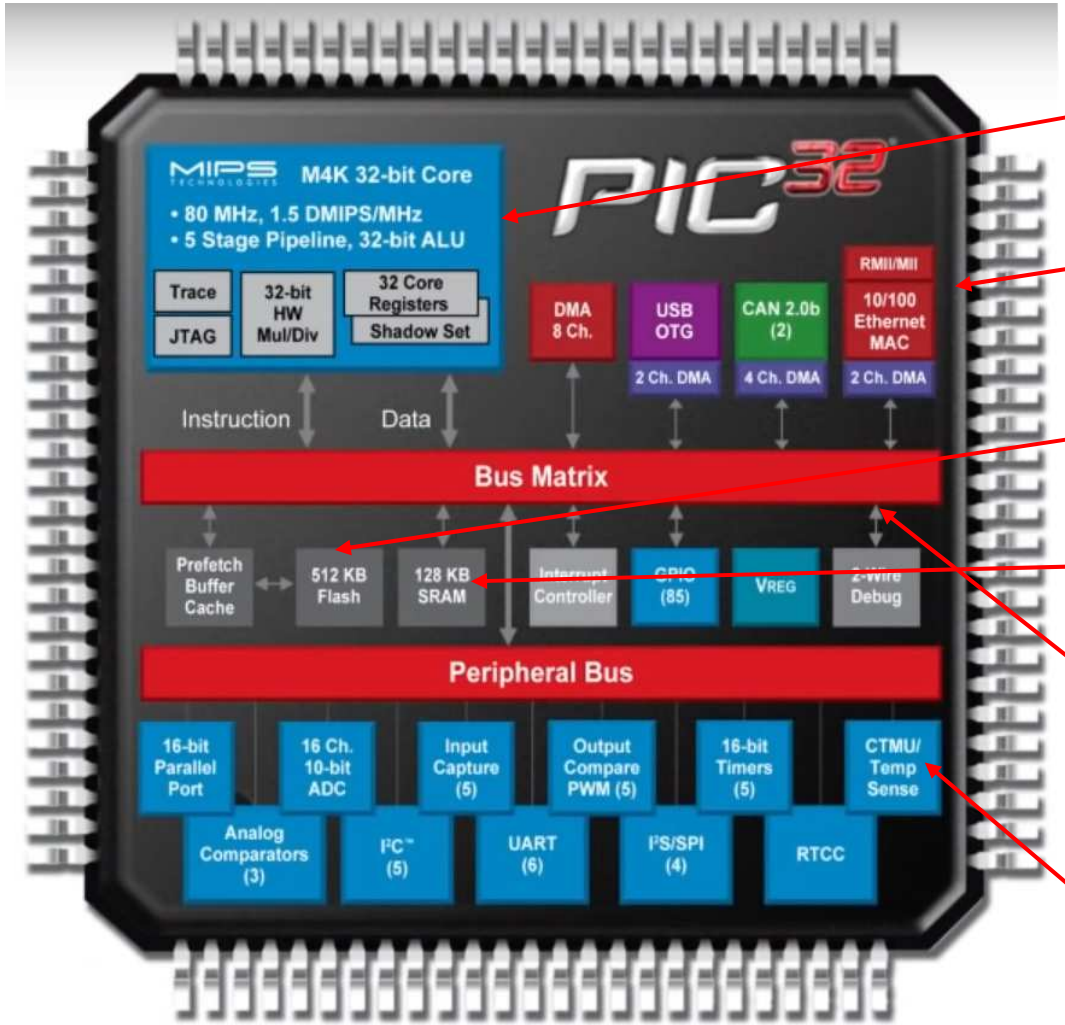
https://www.microchip.com/en-us/product/PIC32MX795F512H

Microcontrolador PIC32MX795F512H

- Elevado nível de multiplexagem nos pinos do circuito integrado (cada pino pode ter, na versão de 64 pinos, até 9 funções distintas)
- Função desempenhada por cada pino depende de programação



Microcontrolador PIC32MX795F512H



Microprocessador MIPS (SYSCLK=80 MHz)

Periféricos com DMA

Memória de Instruções (128-bit wide)

Memória de Dados

Bus Matrix

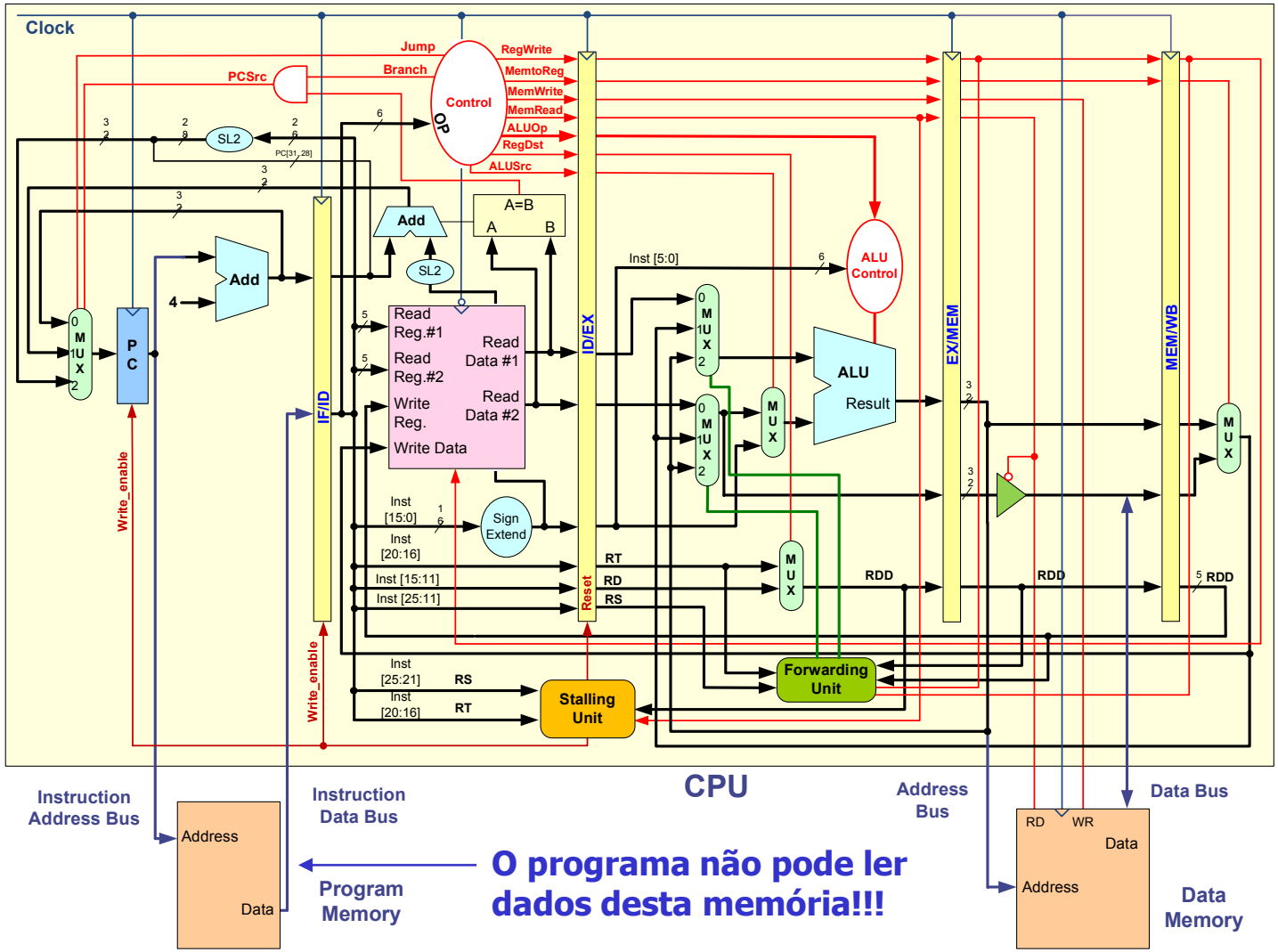
Periféricos (PBCLK)

Microcontrolador PIC32MX795F512H

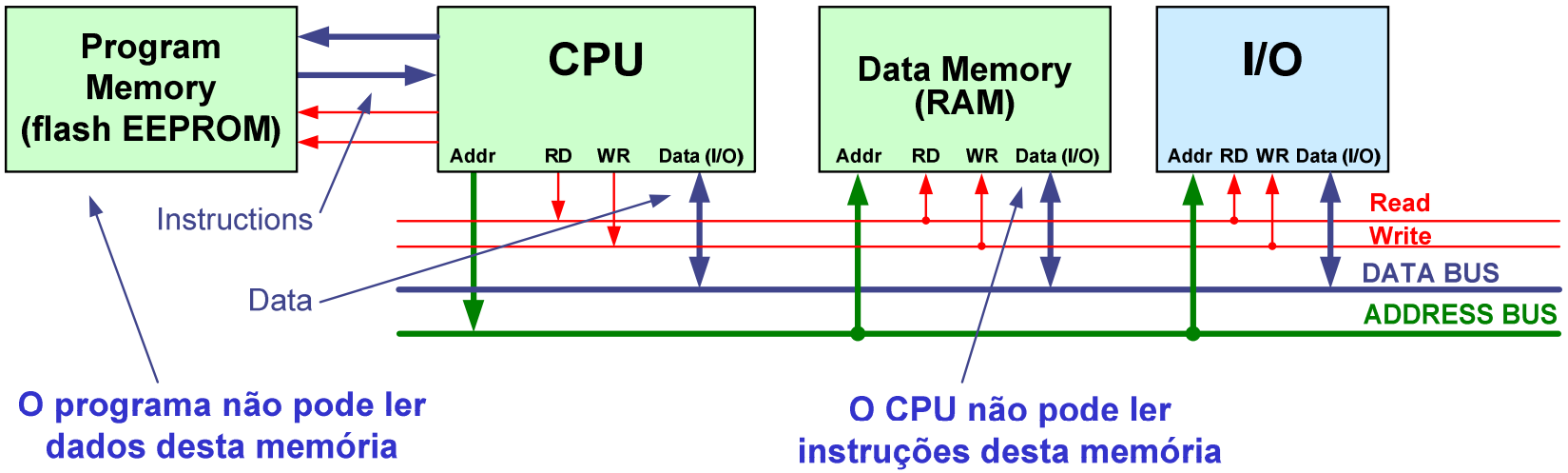
- O MIPS do PIC32 é baseado numa **arquitetura de Harvard** (memória de instruções e dados separadas). Esta opção evita o *hazard* estrutural na implementação *pipelined* que aconteceria com uma única memória.

- Numa arquitetura de Harvard:
  - Existem dois espaços de endereçamento independentes: um para o programa e outro para dados.
  - Apenas o bloco encarregue da leitura das instruções da memória (*instruction fetch*) tem acesso à memória de programa.
  - O programa não pode ler dados da memória de instruções.
  - O CPU não pode ler instruções da memória de dados
  - É difícil o tratamento das constantes (por exemplo *strings*) uma vez que estas não podem ser armazenadas juntamente com o programa na memória de instruções (tipicamente uma memória não volátil)

Versão simplificada de uma arquitetura MIPS *pipelined*

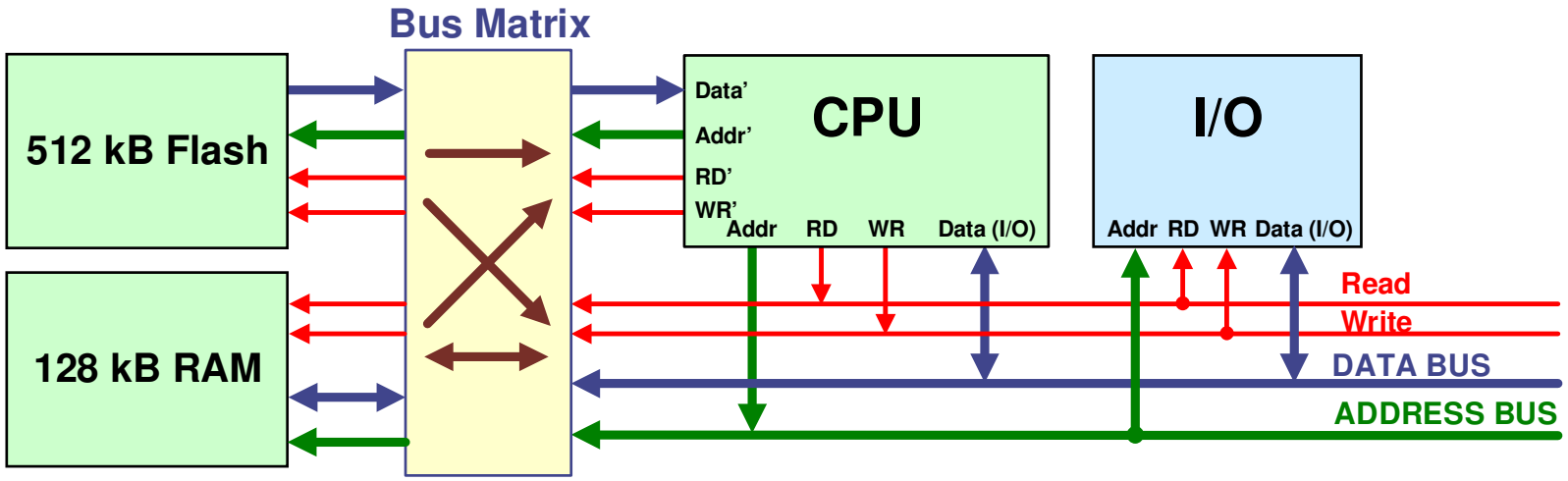


Arquitetura de Harvard convencional



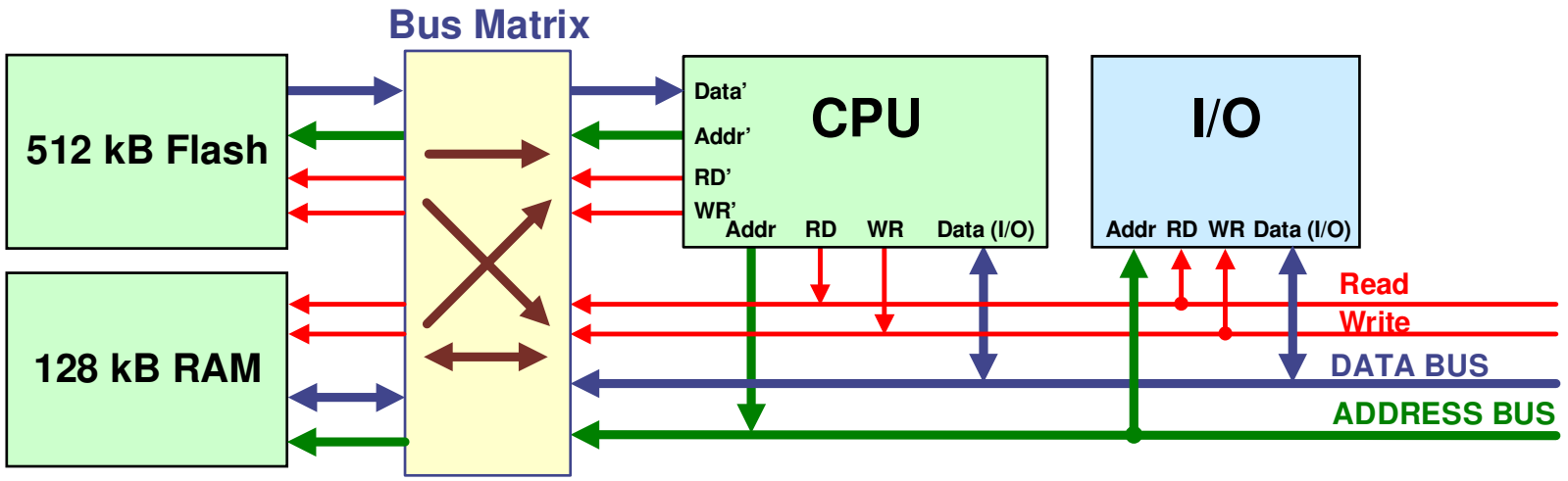
Microcontrolador PIC32MX795F512H

- Solução implementada no PIC32 que resolve o problema dos dados constantes da arquitetura de Harvard: ***Bus Matrix***



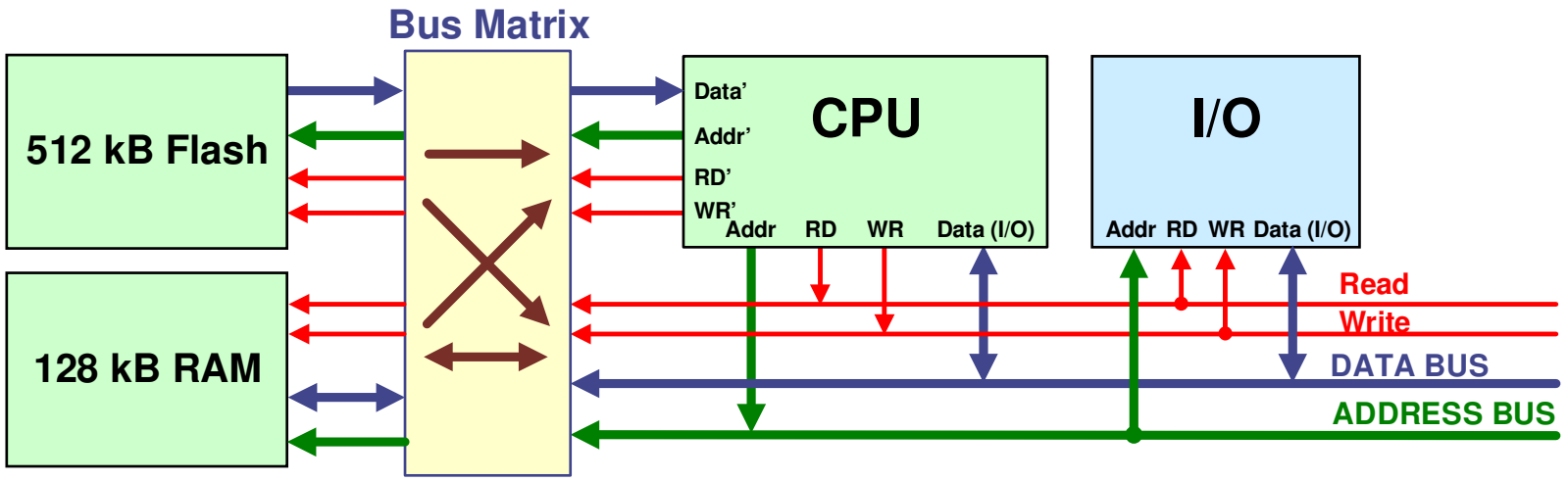
- O *Bus Matrix* é um comutador (*switch*) de alta velocidade que funciona à mesma frequência do CPU (SYSCLK)
- Estabelece ligações ponto a ponto entre os módulos do microcontrolador, em particular, entre o CPU e a memória RAM ou entre o CPU e a memória *Flash*
- O *peripheral bus* também liga ao *Bus Matrix* e pode ser configurado para trabalhar a uma frequência igual ou inferior à do CPU (PBCLK)

Microcontrolador PIC32MX795F512H



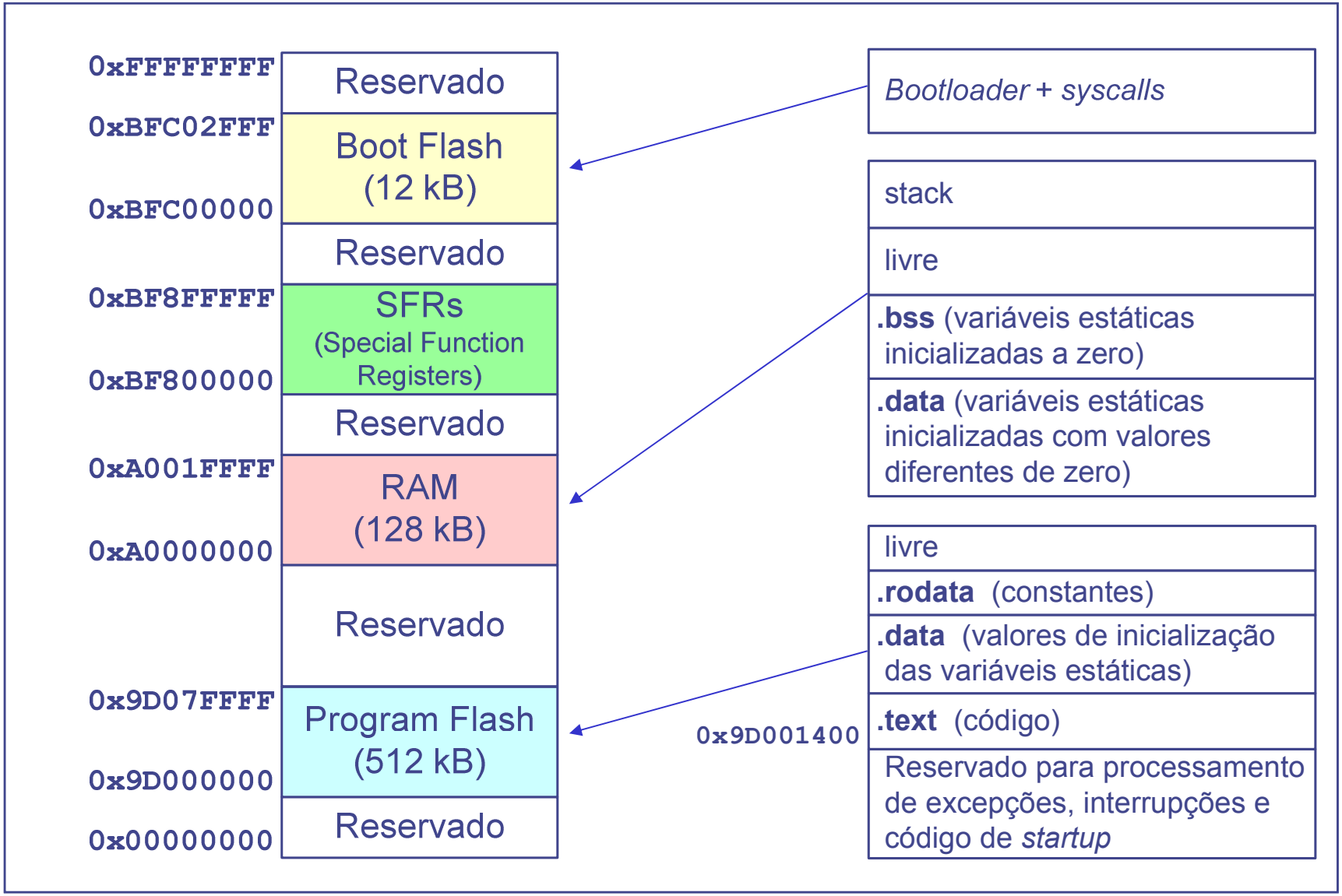
- Com o *Bus Matrix*, o espaço de endereçamento aparece, na visão do programador, como um espaço linear unificado (instruções e dados residem no mesmo espaço de endereçamento, cada um deles ocupando uma gama de endereços única)
- O CPU pode então executar programas que residem quer na *Flash* quer na RAM
- O programa gerado pelo *host* (instruções + dados constantes) pode ser armazenado na totalidade na memória *Flash* – programa pode aceder a qualquer momento à *Flash* para ler dados (por exemplo *strings*)

Microcontrolador PIC32MX795F512H



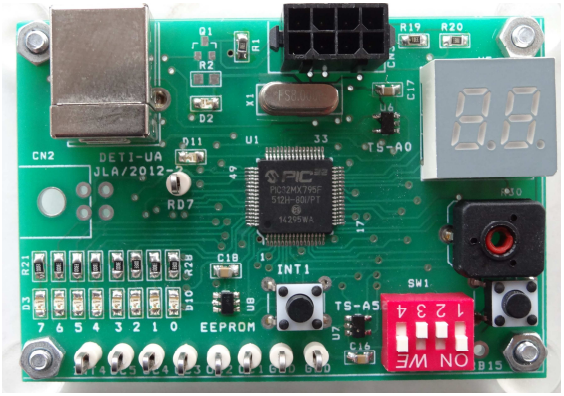
- Para o programador, o PIC32 comporta-se como uma arquitetura de *von Neumann*: um único espaço de endereçamento onde residem dados e instruções
- Para que o programa tenha acesso a qualquer zona da memória Flash (para leitura) ou da memória RAM (para leitura ou escrita), basta definir adequadamente o respetivo endereço

Mapa de memória do PIC32 (versão DETPIC32)



Ferramentas de desenvolvimento DETPIC32

- Edição
  - GVim, gedit, geany…
- *Cross-compiler* / *cross-assembler*
  - **gcc** com *back-end* para MIPS (gcc-pic32)
  - Gera, entre outros, ficheiros ".hex" e ".map"



- Ferramentas desenvolvidas especificamente para DETPIC32
  - ***bootloader*** – programa previamente gravado na *boot flash* do PIC32; lê informação do porto de comunicação e escreve na memória *Flash*
  - **ldpic32** – programa para transferir ficheiro ".hex" para PIC32 (atua em conjunto com o *bootloader*)
  - **pterm** – programa terminal para comunicação com a placa DETPIC32, permitindo a interação com o utilizador
  - **hex2asm** – faz o *disassemble* do ficheiro ".hex" (utiliza o ficheiro ".map", para evidenciar secções / símbolos relevantes)