Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico – CTC
Departamento de Engenharia Elétrica
Laboratório de Comunicações e Sistemas Embarcados - LCS
Laboratório de Integração de Software e Hardware - LISHA
Grupo de Sistemas Embarcados - GSE

“Programação de Sistemas Embarcados”

Prof. Eduardo Augusto Bezerra

Eduardo.Bezerra@ufsc.br

Florianópolis, junho de 2014.

Cursos de Sistemas Embarcados

1. SOFTWARE E HARDWARE EMBARCADO

1.1 Introdução

1.1.1 Definição de sistemas embarcados, SoCs e MPSoCs

1.1.2 Características de aplicações embarcadas

1.1.3 Desafios no projeto de sistemas embarcados

1.2 Projeto de sistemas embarcados

1.2.1 Requisitos

1.2.2 Especificação

1.2.3 Projeto da arquitetura software-hardware

1.2.4 Projeto dos componentes de hardware e software

1.2.5 Integração do Sistema

1.3 Formalismos para o projeto de sistemas embarcados

1.4 Exemplos de projetos reais de sistemas embarcados

Cursos de Sistemas Embarcados

2. TÉCNICAS DE PROJETO DE SISTEMAS EMBARCADOS

2.1 Metodologias de projeto

2.1.1 Métricas: “Time-to-market”, Custo de projeto, Qualidade

2.1.2 Fluxo de projeto de sistemas embarcados

2.2 Análise de requisitos

2.2.1Diferenças entre requisitos e especificação

2.2.2 Requisitos funcionais e não funcionais

2.3 Análise do sistema e projeto da arquitetura software-hardware

2.4 Qualidade no projeto de sistemas embarcados

2.4.1Técnicas de garantia de qualidade no projeto de sistemas embarcados

2.4.2 Revisões de projeto

2.5 Exemplos de projetos reais

Cursos de Sistemas Embarcados

3. MODELOS DE COMPUTAÇÃO

3.1 Diferenciação entre modelos de computação (MOC) e sistemas

3.1.1 Separação entre computação e comunicação

3.1.2 Separação entre função e arquitetura

3.2 Classificação de MOCs

3.2.1 MOCs para sistemas embarcados

3.2.2 Modelos Síncronos e Assíncronos

3.2.3 Modelos Temporizados e não temporizados

3.2.4 Meta modelos

3.2.5 Interfaces entre MOCs pertencentes ao mesmo domínio e a domínios diferentes

3.2.6 Integração de diferentes MOCs em um sistema embarcado

3.3 Relação entre modelos de computação e programação em linguagens de alto nível

3.4 Exemplos práticos de projeto

Cursos de Sistemas Embarcados

4. SISTEMAS OPERACIONAIS EMBARCADOS

- 4.1 Características de sistemas operacionais embarcados
- 4.2 Sistemas Operacionais Embarcados
  - 4.2.1 Escalonamento e Estados de um Processo
  - 4.2.2 Estrutura de um Sistema Operacional Embarcado
  - 4.2.3 Restrições Temporais em Processos
  - 4.2.4 Comunicação Inter-processos
  - 4.2.5 Outras Funções do Sistema Operacional
- 4.3 Políticas de Escalonamento em Sistemas Operacionais Embarcados
  - 4.3.1 Escalonamento RM
  - 4.3.2 Escalonamento EDF
  - 4.3.3 Comparação entre RM e EDF
- 4.4 Mecanismos de Comunicação Inter-processos para sistemas embarcados
- 4.5 Customização de sistemas operacionais embarcados
- 4.6 Avaliação de desempenho para sistemas operacionais embarcados
- 4.7 Exemplos práticos de projetos de sistemas embarcados que utilizam um sistema operacional

Cursos de Sistemas Embarcados

5. INFRA-ESTRUTURA DE COMUNICAÇÃO

- 5.1 Introdução
- 5.2 Arquitetura de Sistemas Embarcados Distribuídos
- 5.3 Infra-estrutura de Comunicação para Sistemas Embarcados
- 5.4 Protocolos de comunicação para sistemas embarcados
- 5.5 Projeto de Infra-estrutura de Comunicação
  - 5.5.1 Análise da Comunicação
  - 5.5.2 Avaliação de Desempenho do Sistema
- 5.4 Exemplos práticos de projetos

Programação de Sistemas Embarcados PPGEEL

- Objetivos:
  - Dar continuidade aos estudos de programação de sistemas computacionais embarcados.
  - Compreender os conceitos fundamentais do paradigma de programação orientada a objetos.
  - Desenvolver a capacidade de análise de programas em C++ de complexidade média.
  - Entender o funcionamento básico de sistemas operacionais para acesso a periféricos.
  - Desenvolver programas em C++ para sistemas embarcados baseados em microprocessadores embarcados, e também sistemas do tipo System-on-a-chip (SoC).

Programação de Sistemas Embarcados PPGEEL

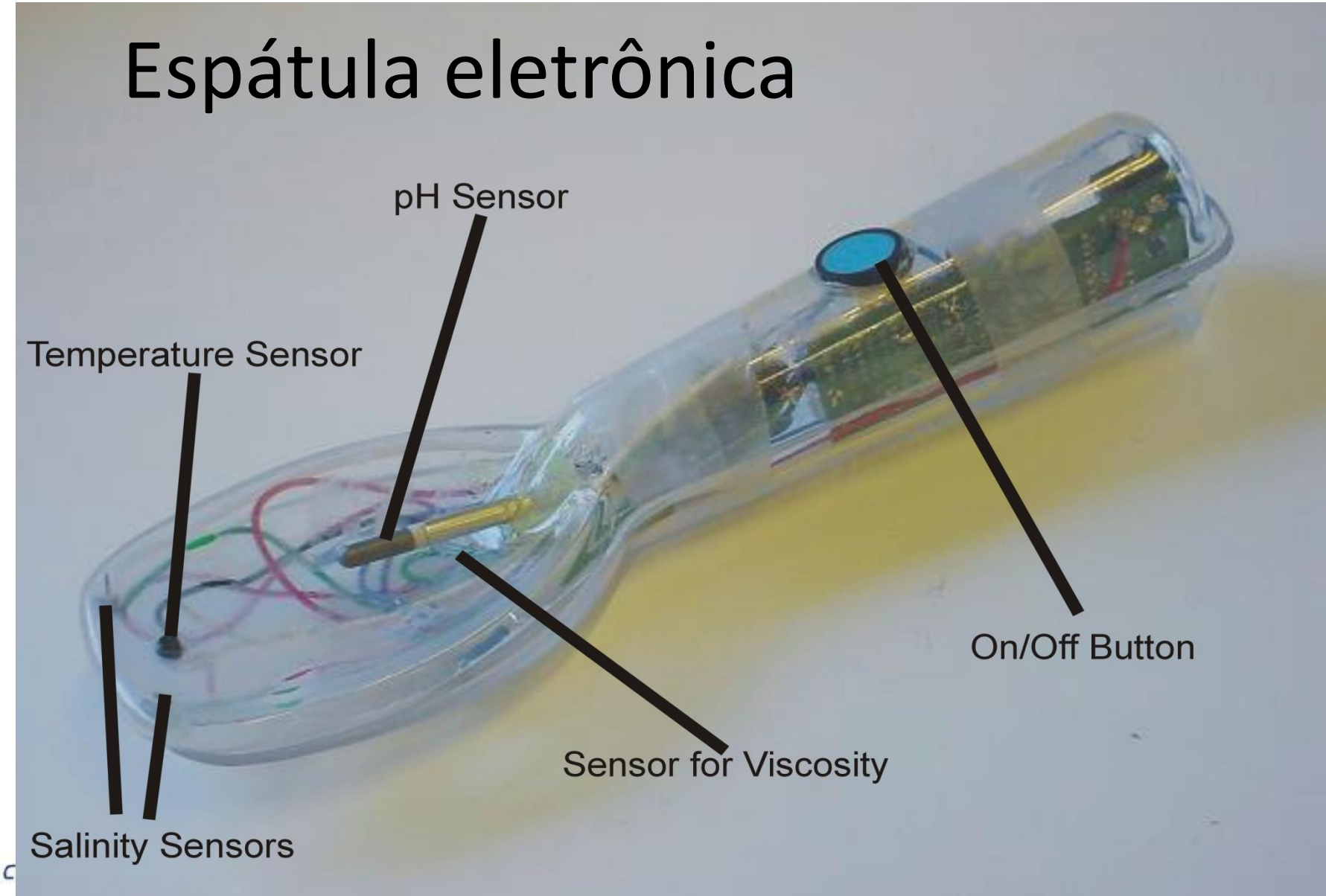
- Motivação:
  - Conhecer a área de “programação de sistemas embarcados”.
  - Entender as tendências e problemas relacionados ao projeto de software para sistemas embarcados complexos.
  - Desenvolver habilidades de pesquisa na literatura e síntese de trabalhos científicos.
  - Desenvolver habilidades de apresentação de trabalhos científicos.

Sistemas Embarcados

Sistemas embarcados

- Embarcados em:
  - Sistemas automotivos
  - Aviônicos
  - Brinquedos
  - Dispositivos médicos
  - Eletrodomésticos
- Bilhões de unidades

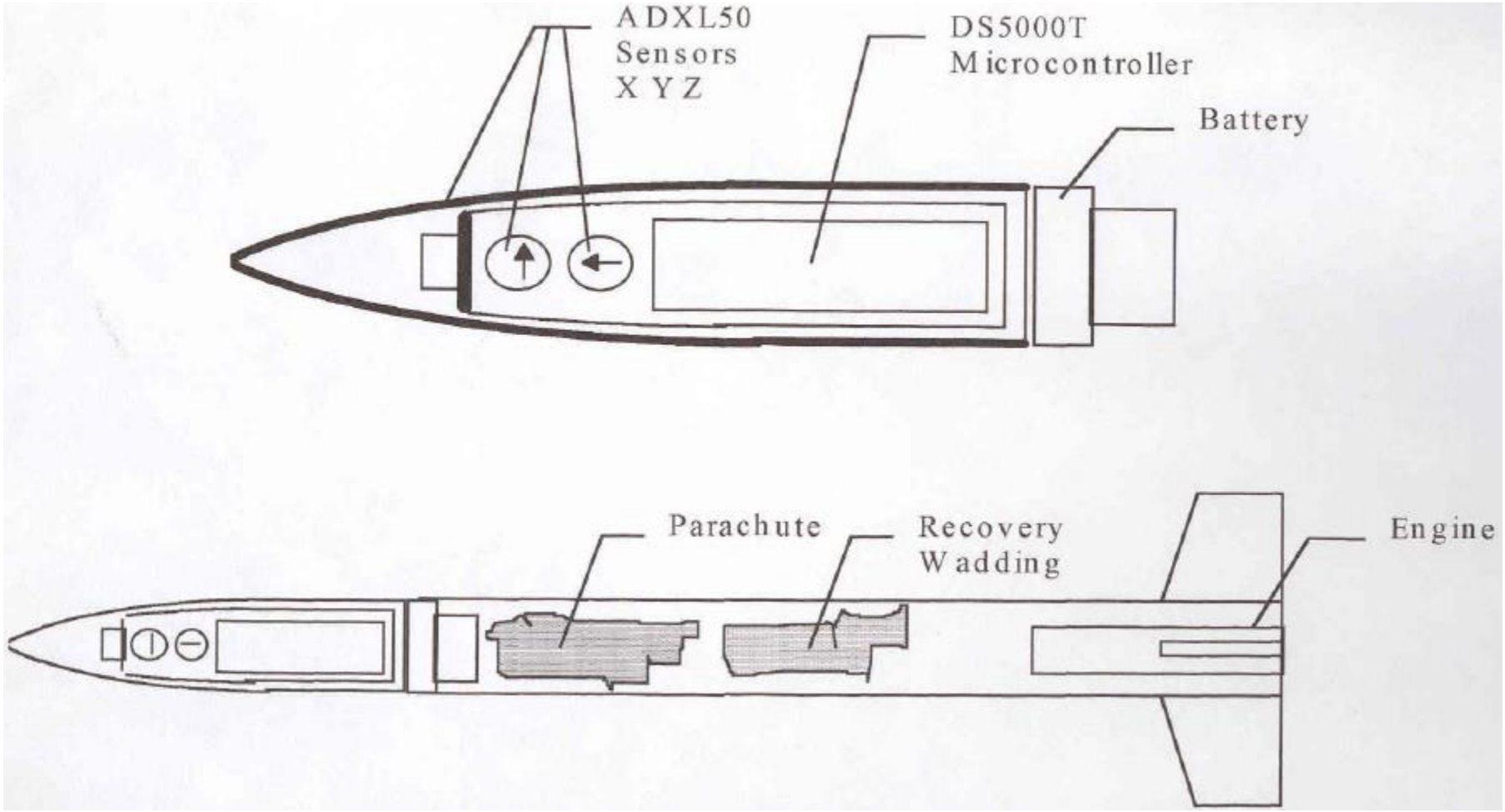
Sistemas embarcados



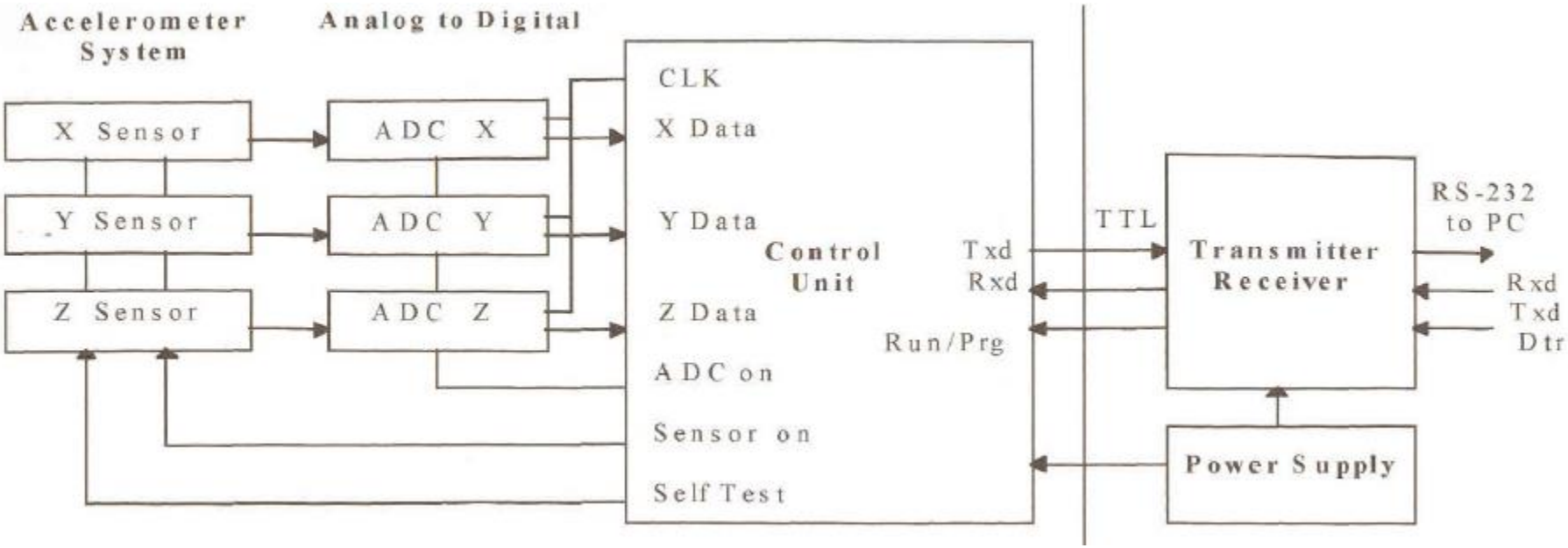
Sistemas embarcados

Sistemas embarcados

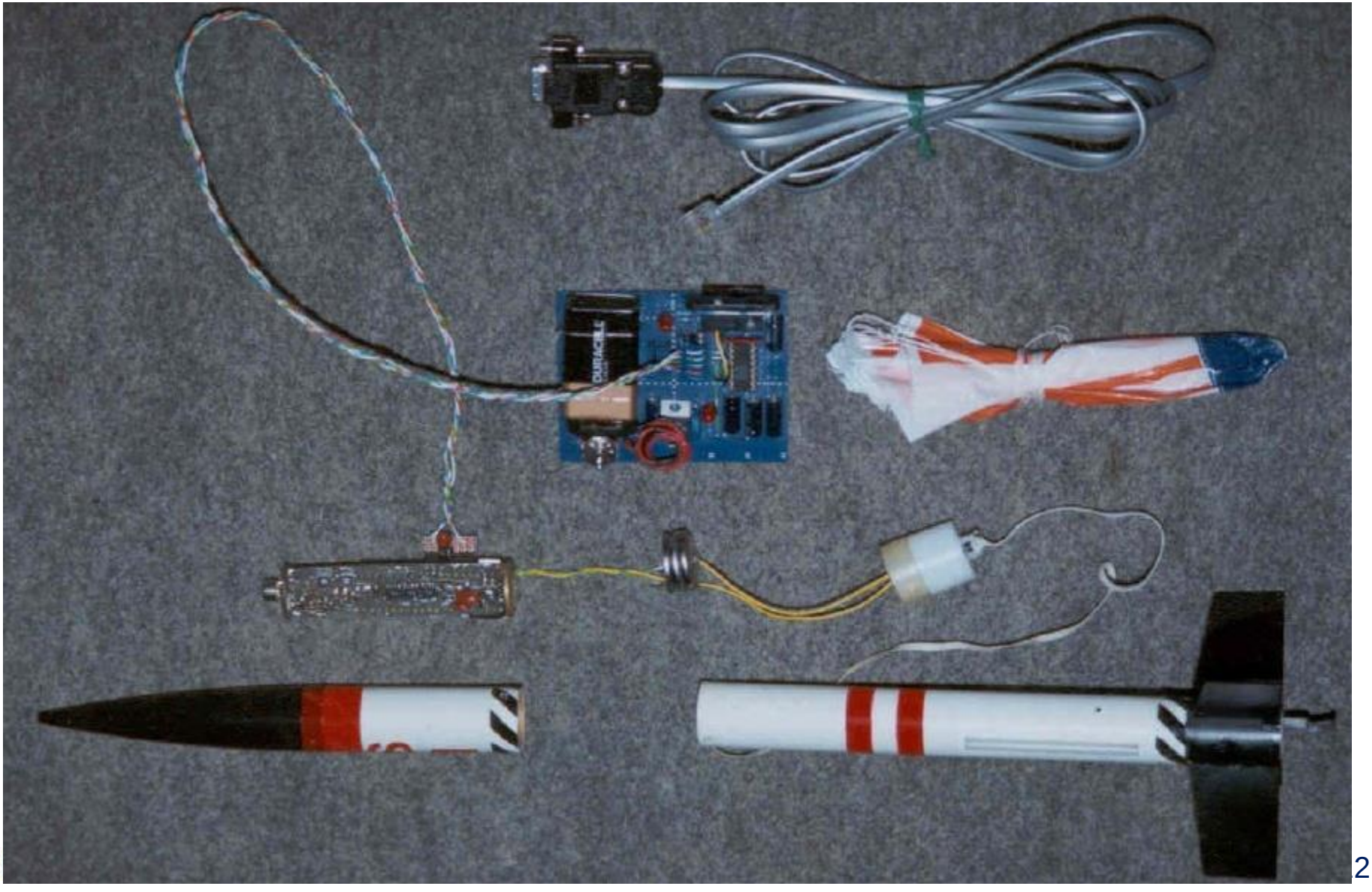
Sistemas embarcados



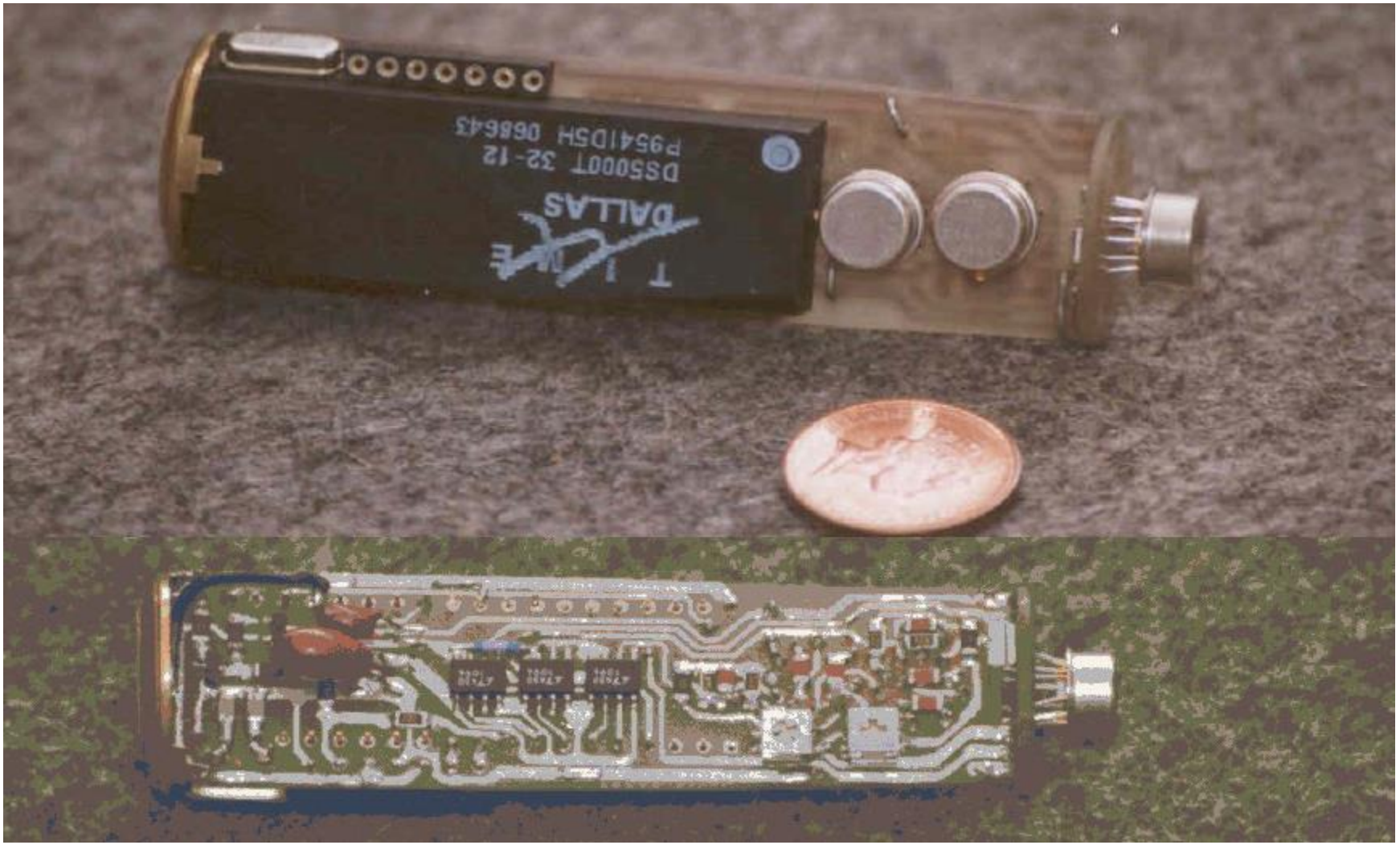
Sistemas embarcados



Sistemas embarcados



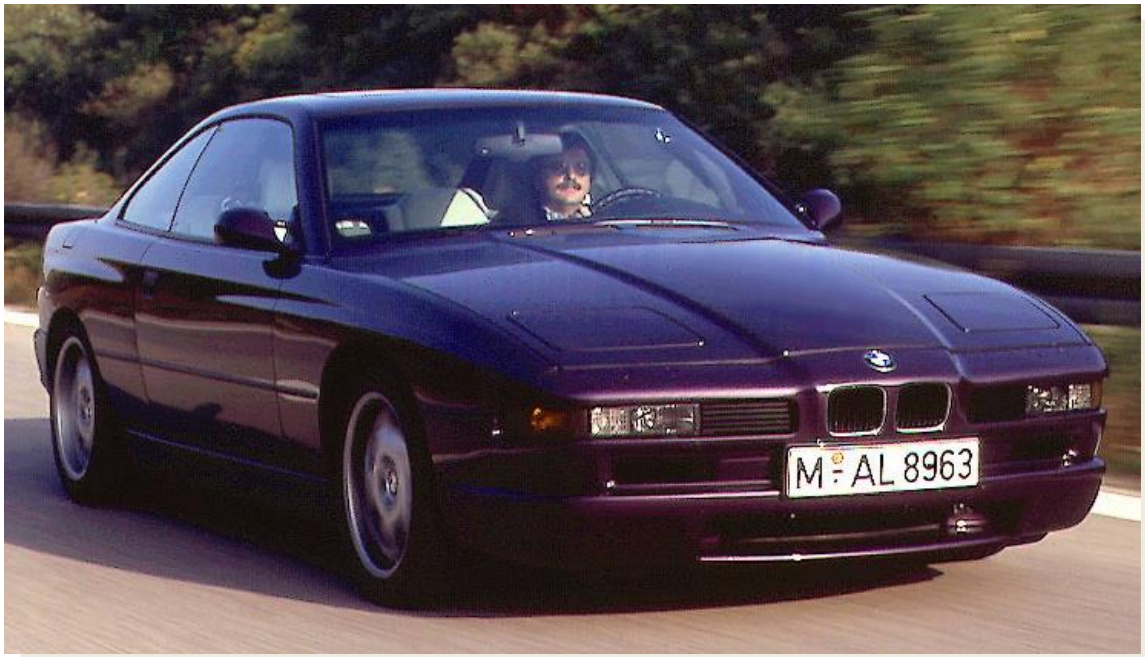
Sistemas embarcados



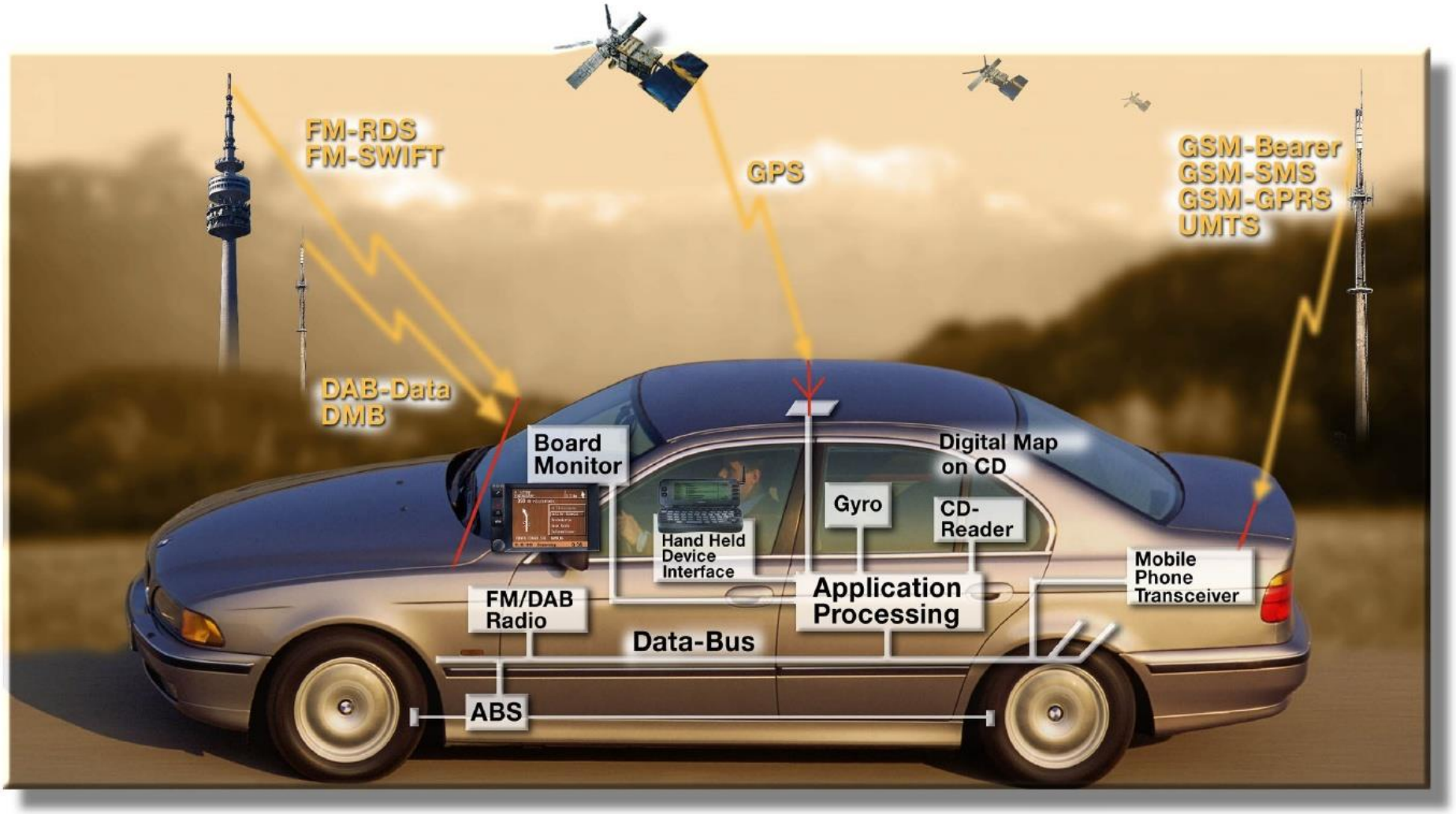
Sistemas embarcados

Sistemas embarcados

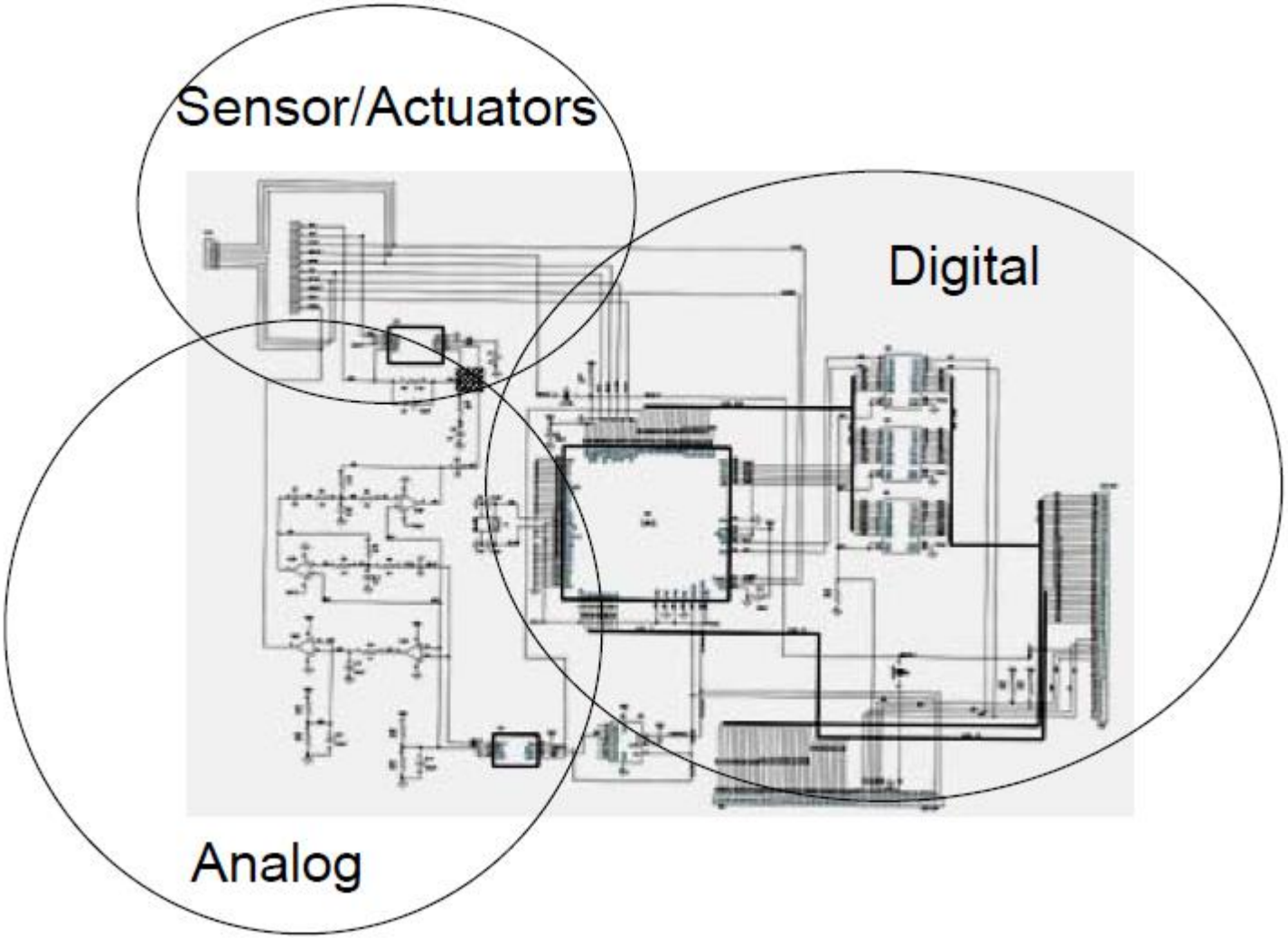
Sistemas embarcados



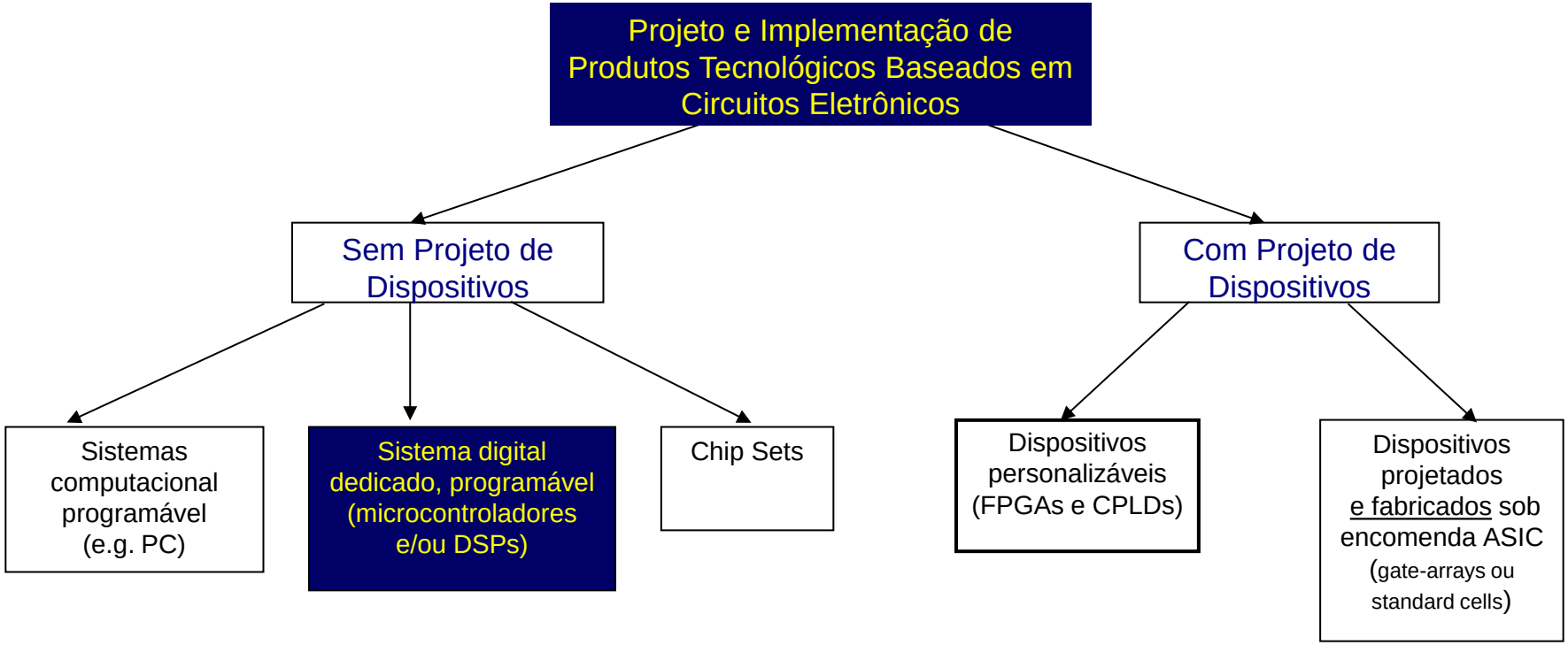
Sistemas embarcados



Sistemas embarcados



Sistemas embarcados



Aumento de desempenho (maior velocidade e menor potência dissipada), sigilo de projeto, custo de desenvolvimento

Diminuição da complexidade de projeto, flexibilidade para alterações

Sistemas embarcados

Escolhas de projeto

Desempenho

Tecnologia	Desempenho/ Custo	Tempo para obter sistema funcionando	Tempo para atingir alto desempenho	Tempo para alteração na funcionalidade do código
ASIC	Muito alto	Muito longo	Muito longo	Impossível
FPGA	Médio/Alto	Médio	Longo	Médio
ASIP/ DSP	Médio/Alto	Longo	Longo	Médio
Genérico	Baixo/Médio	Muito curto	Não atingível	Muito curto

Flexibilidade

Sistemas embarcados

Hardware dedicado

Software executando em hardware genérico

Implementação	Custo de projeto	Custo unitário	Upgrades, correções de bugs	Tamanho	Consumo	Velocidade
Lógica discreta	Baixo	Médio	Difícil	Grande	?	Muito rápido
ASIC	Alto $500K/ conjunto máscara	Muito baixo	Difícil	Minúsculo 1 die	Baixo	Rapidíssimo
Lógica programável – FPGA, PLD	Baixo	Médio	Fácil	Pequeno	Médio para alto	Muito rápido
Microprocessador + memória + periféricos	Baixo para médio	Médio	Fácil	Pequeno para médio	Médio	Moderado
Microcontrolador (int. memória e periféricos)	Baixo	Médio para baixo	Fácil	Pequeno	Médio	Lento a moderado
PC embarcado	Baixo	Alto	Fácil	Médio	Médio para alto	Moderado

Software embarcado

Software embarcado

Artigo: Embedded Software (páginas 55-95)

Autor: Edward A. Lee, eal@eecs.berkeley.edu

Livro Advances in Computers (ISBN: 978-0-12-012156-4)

Editor Marvin V. Zelkowitz

Academic Press, London, 2002

Embedded Software - Edward A. Lee

- Its principal role is not the transformation of data, but rather the **interaction with the physical world**.
- It executes on machines that are not, first and foremost, computers. They are cars, airplanes, telephones, audio equipment, robots, appliances, toys, security systems, pacemakers, heart monitors, weapons, television sets, printers, scanners, climate control systems, manufacturing systems, and so on.
- Software with a principal role of interacting with the physical world must, of necessity, acquire some properties of the physical world. It **takes time**. It **consumes power**. It **does not terminate** (unless it fails).

Embedded Software - Edward A. Lee

- Computer science has tended to view this physicality of embedded software as messy. Consequently, design of embedded software has not benefited from the richly developed abstractions of the twentieth century. Instead of using object modeling, polymorphic type systems, and automated memory management, engineers write assembly code for idiosyncratic digital signal processors (DSPs) that can do finite impulse response filtering in one (deterministic) instruction cycle per tap.
- They see Java programs stalling for one third of a second to perform garbage collection and update the user interface, and they envision airplanes falling out of the sky. The fact is that the best-of-class methods offered by computer scientists today are, for the most part, a poor match to the requirements of embedded systems.

Embedded Software - Edward A. Lee

- Embedded software designers face a serious challenge. The complexity of their applications (and consequent size of their programs) is growing rapidly.
- Their devices now often sit on a network, wireless or wired.
- Even some programmable DSPs now run a TCP/IP protocol stack.
- Meanwhile, reliability standards for embedded software remain very high, unlike general-purpose software.
- At a maximum, entirely new abstractions are needed that embrace physicality and deliver robustness.

Embedded Software - Edward A. Lee

- An arrogant view of embedded software is that it is just software on small computers.
- This view is naïve. **Timeliness**, **concurrency**, **liveness**, **reactivity**, and **heterogeneity** need to be an integral part of the programming abstractions.
- They are essential to the correctness of a program. It is not sufficient to realize the right mapping from input data to output data.
- Embedded software designers face a serious challenge. The complexity of their applications (and consequent size of their programs) is growing rapidly.

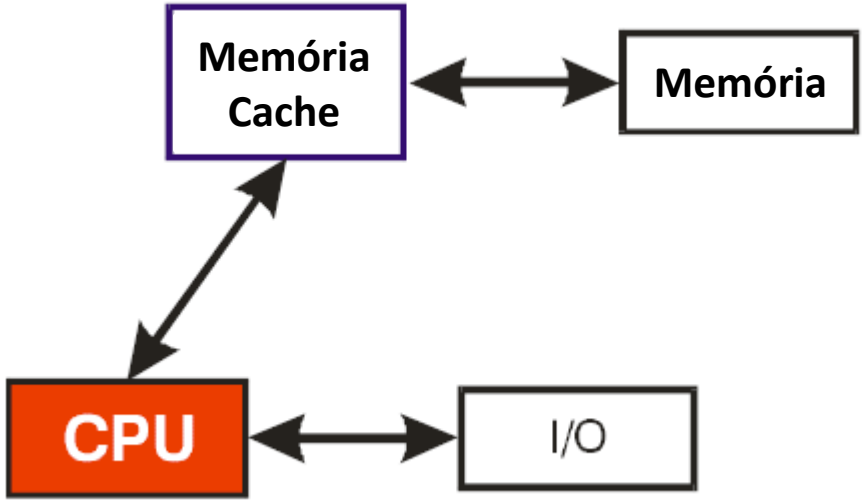
Componentes básicos e fluxo de desenvolvimento

Componentes básicos

Características de sistemas embarcados: visão do projetista na seleção da tecnologia e ferramentas de desenvolvimento

- Desenvolvimento simultâneo de hardware e software (*hardware/software codesign*)
- Variedade de microprocessadores/microcontroladores
- Variedade de sistemas operacionais, grande parte de tempo real (RTOS)
  - Muitas vezes sem serviços de SOs tais como ‘printf’
- Quantidade reduzida de recursos ao se comparar com aplicações desktop
- Necessidade de ferramentas especiais para desenvolvimento
- Grande dificuldade para depuração
- Hardware e software precisam ser extremamente robustos

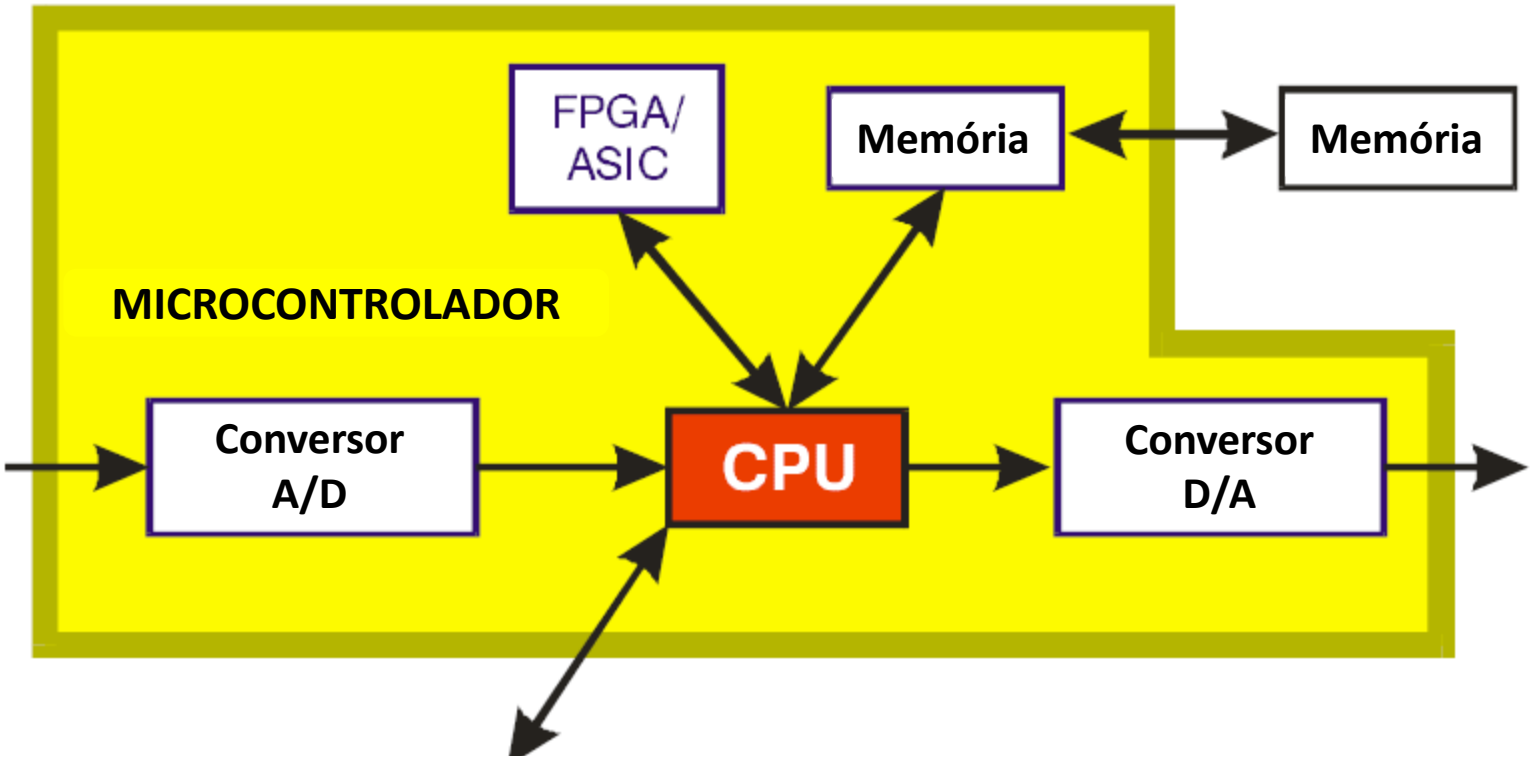
Componentes básicos



Componentes básicos de sistemas embarcados:

– CPU
– Memória de dados e programa
– Sistema de entrada/saída

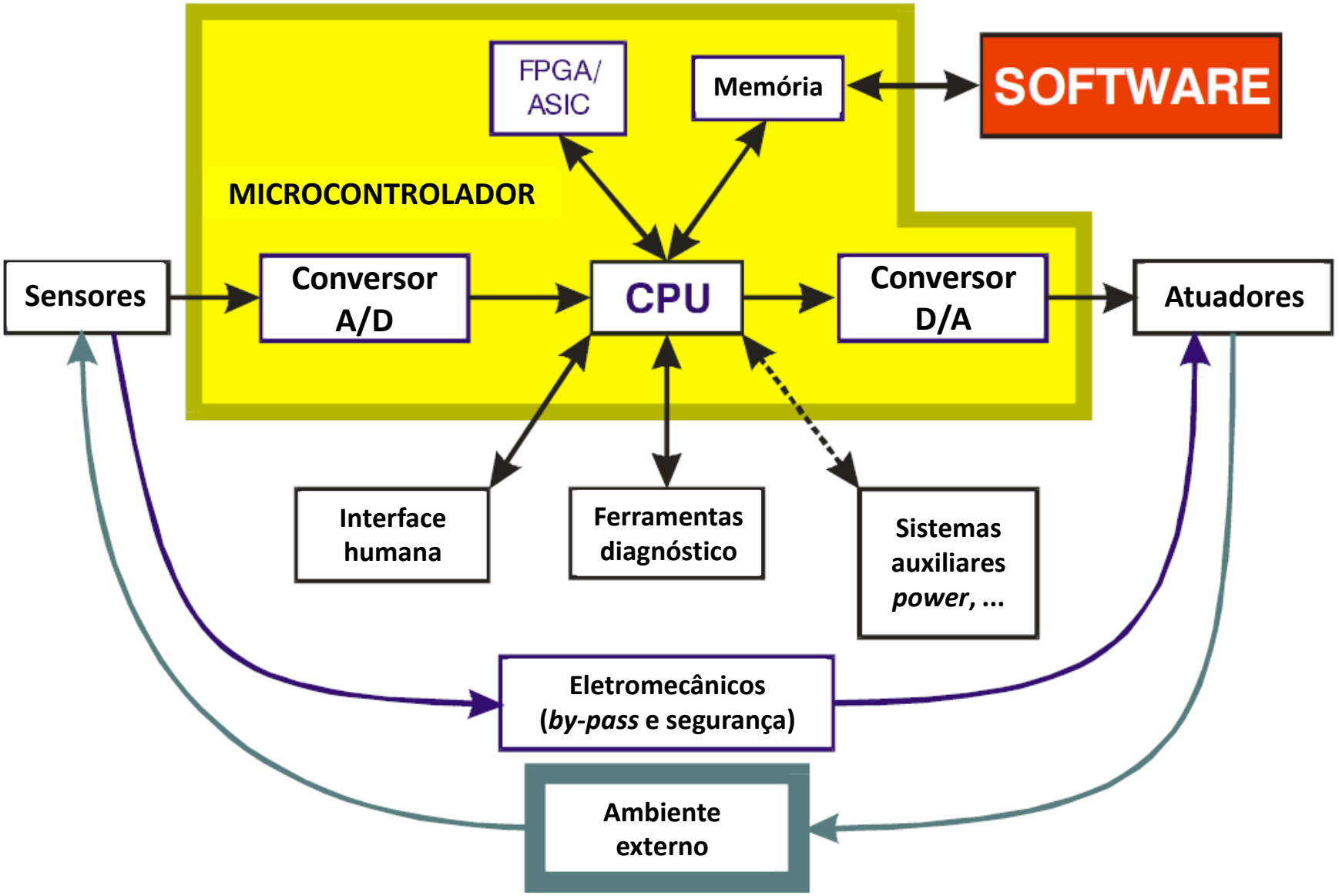
Componentes básicos



<u>Microcontroladores</u> são computadores em um único chip

– Os periféricos estão embarcados no mesmo chip da CPU
– Algumas características, tamanho e custo reduzidos, alto desempenho com baixo consumo de energia, uso eficiente de espaço no PCB, baixo clock, endereçamento bit-a-bit

Componentes básicos

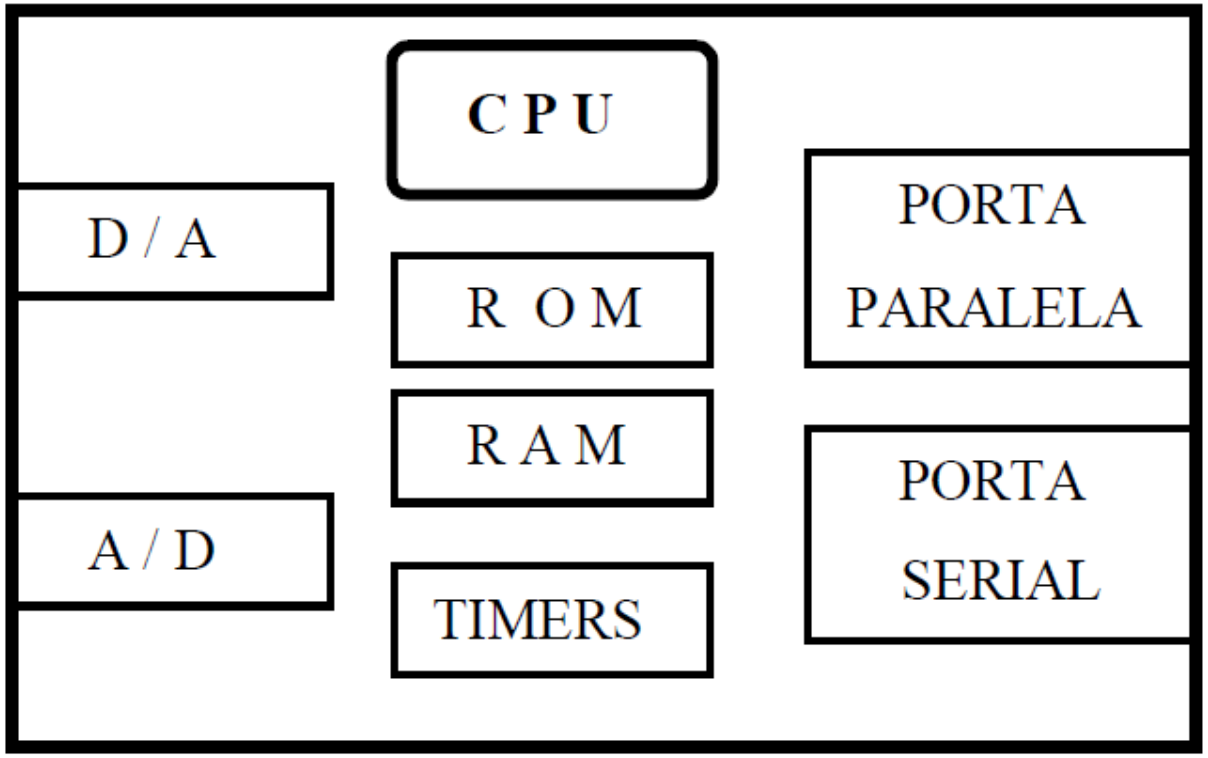


Componentes básicos

MCU – *Microcontroller Unit*

Composta por CPU e periféricos no mesmo encapsulamento

Componente central de um sistema embarcado típico

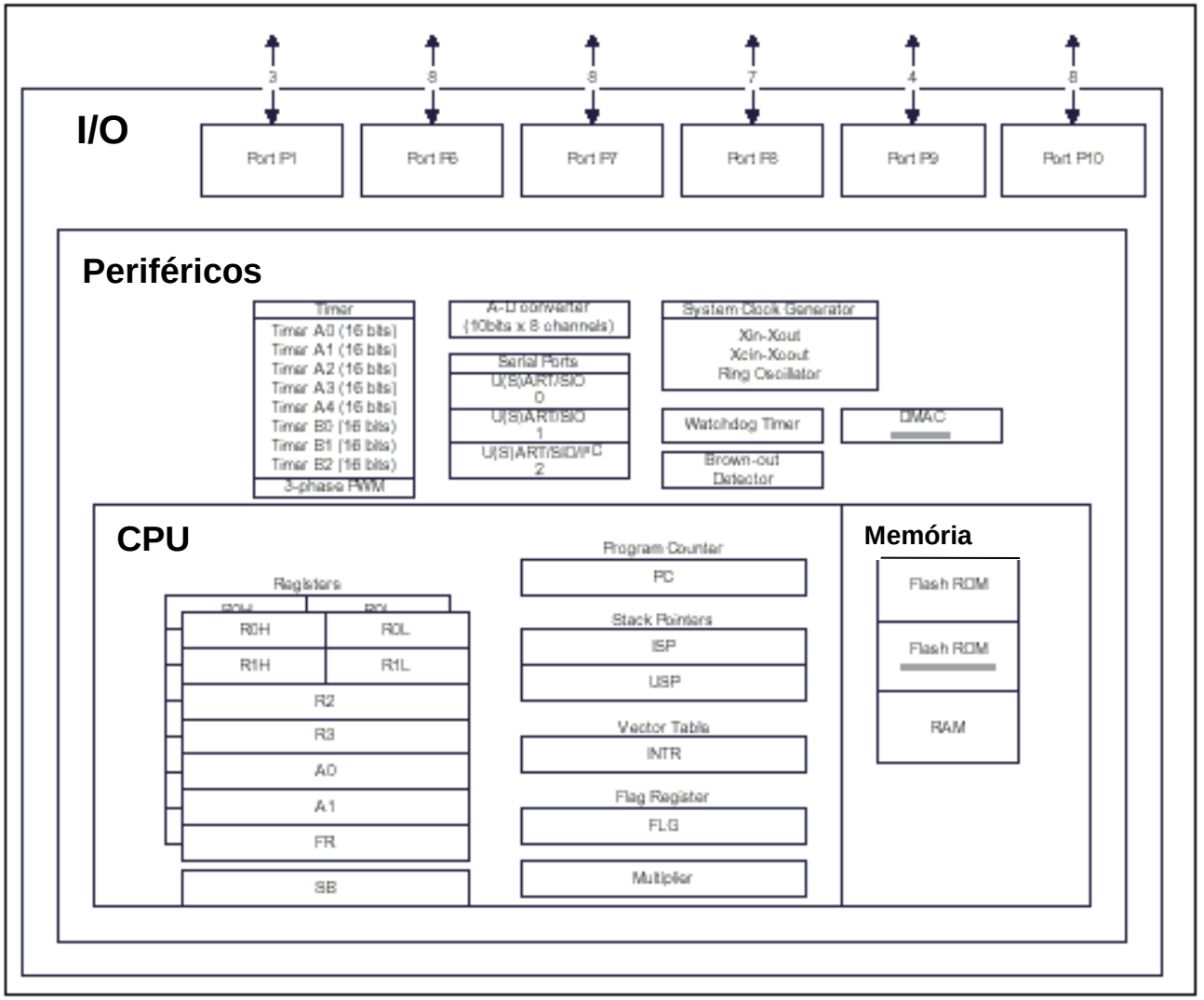


Componentes básicos

MCU – *Microcontroller Unit*

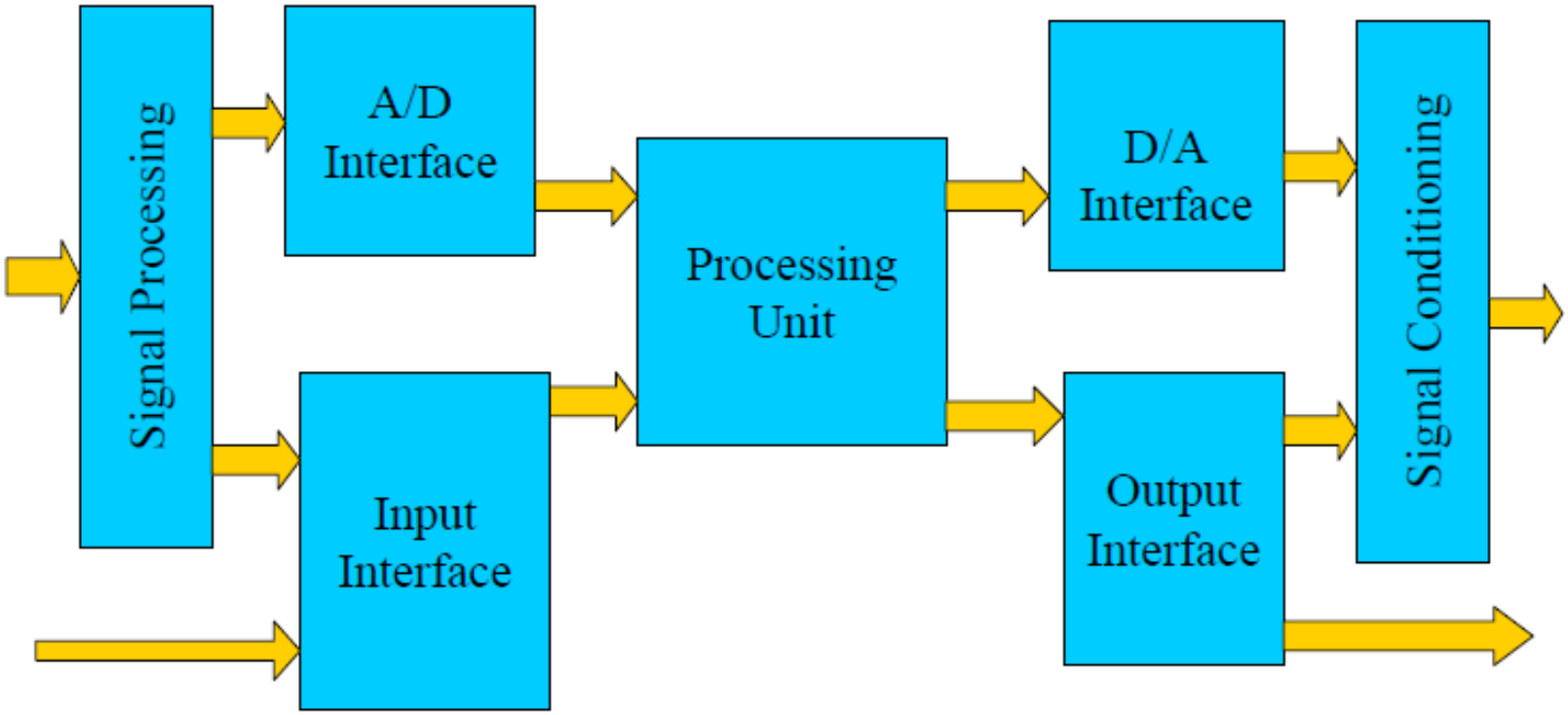
Composta por CPU e periféricos no mesmo encapsulamento

- Registradores
- RAM
- Flash
- EEPROM
- Portas digitais
- Portas Analógicas
- Timers
- Gerador de relógio
- DMA



Componentes básicos

Fluxo de dados



Componentes básicos

Diversidade de fabricantes e modelos de microcontroladores para sistemas embarcados:

- LINHA PIC (Microchip)
- LINHA AVR (Atmel)
- LINHA 8051 (Philips, Dallas, Intel, Cygnal, Texas, TDK, Siemens ...)
- Z8 Encore (Zilog)
- HC08 (Motorola)
- Renesas
- ARM (NXP)
- MSP430 (Texas)
- ...

Componentes básicos

Diversidade de fabricantes e modelos de microcontroladores para sistemas embarcados:

- LINHA PIC (Microchip)
- LINHA AVR (Atmel)
- LINHA 8051 (Philips, Dallas, Intel, Cygnal, Texas, TDK, Siemens ...)
- Z8 Encore (Zilog)
- HC08 (Motorola)
- Renesas
- ARM (NXP)
- MSP430 (Texas)
- ...

Escolha do dispositivo

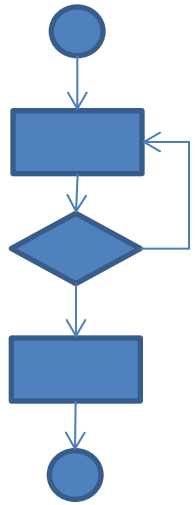
- Capacidade de processamento
  - 8 bits, 16 bits, 32 bits
  - Clock, 4MHz, 40Mhz, ...
- Periféricos necessários
- Capacidade de memória
  - Programa
  - Dados
- Outros fatores
  - Ferramentas disponíveis
  - Formato físico
  - Continuidade / Reaproveitamento de projeto

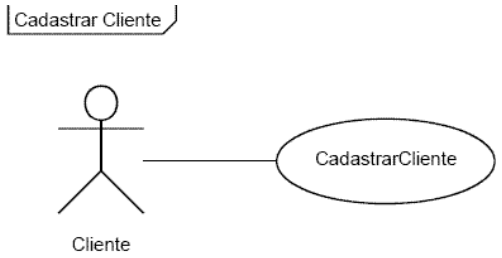
Fluxo de desenvolvimento para uma aplicação típica (e de baixa complexidade)

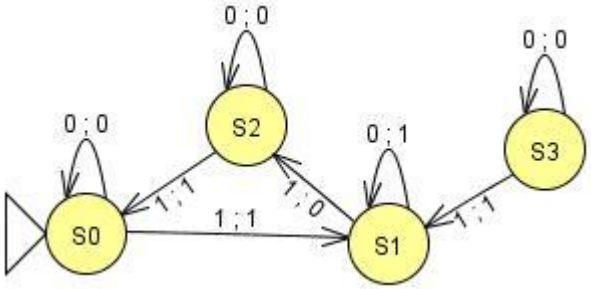
- **Reuniões com o cliente para levantamento de requisitos, funcionalidades, restrições, prazos, ...**

Fluxo de desenvolvimento para uma aplicação típica (e de baixa complexidade)

- Reuniões com o cliente para levantamento de requisitos, funcionalidades, restrições, prazos, ...
- **Uso de ferramentas para modelagem da solução proposta (ex. FSMs; fluxogramas; diagramas UML; entre outros) – auxilia o entendimento não apenas da equipe de software/hardware, mas também a interface com o cliente**







Fluxo de desenvolvimento para uma aplicação típica (e de baixa complexidade)

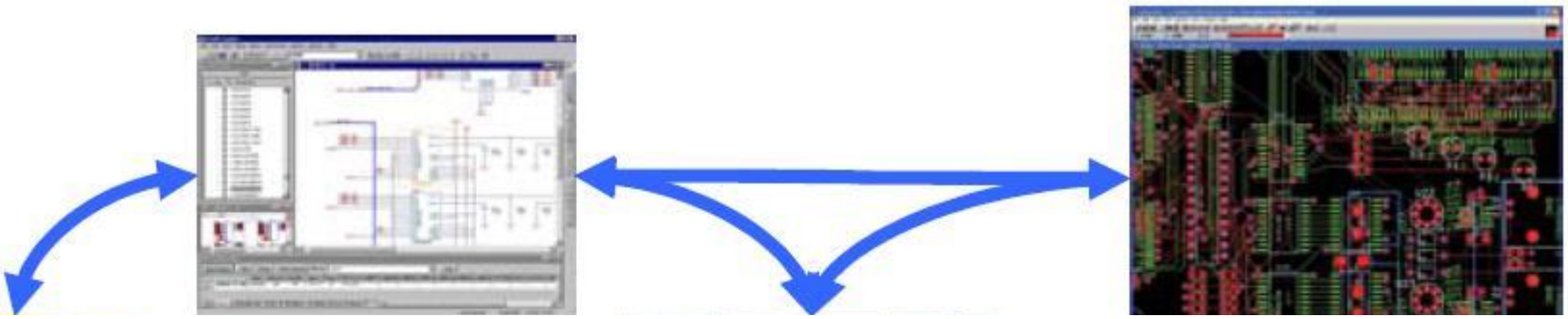
- Reuniões com o cliente para levantamento de requisitos, funcionalidades, restrições, prazos, ...
- Uso de ferramentas para modelagem da solução proposta (ex. FSMs; fluxogramas; diagramas UML; entre outros) – auxilia o entendimento não apenas da equipe de software/hardware, mas também a interface com o cliente
- **Se disponível, uso de simulador, cross-compiler e plataforma de prototipação para desenvolvimento do software e primeiros contatos com o projeto de hardware**

Requisitos
Especificações
Restrições

Desenvolvimento do software embarcado: Simulador, cross-compiler

Teste do software embarcado e idéias para projeto do hardware: plataforma de prototipação com processador alvo

Fluxo de desenvolvimento para uma aplicação típica (e de baixa complexidade)



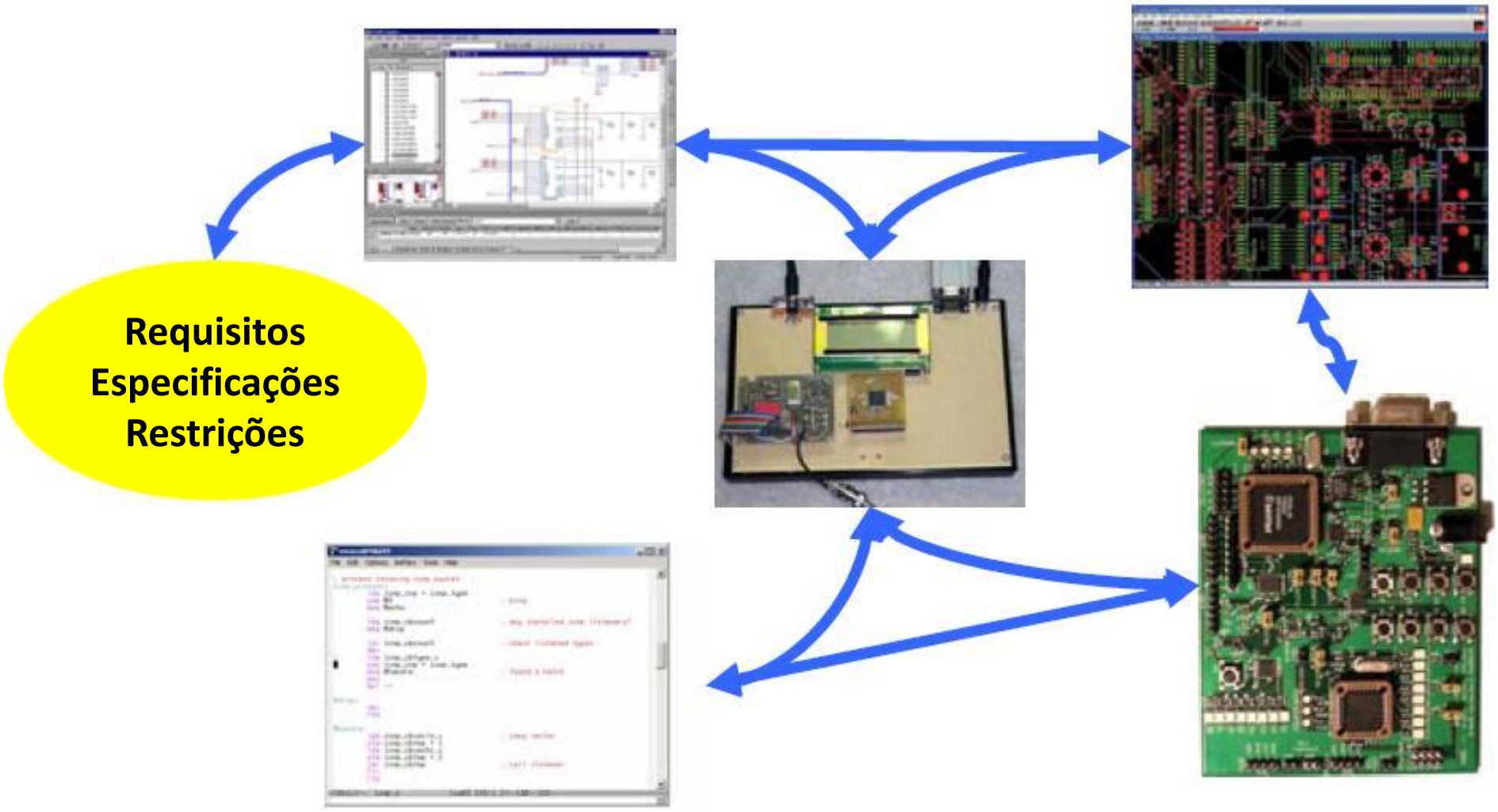
- Reuniões com o cliente para levantamento de requisitos, funcionalidades, restrições, prazos, ...
- Uso de ferramentas para modelagem da solução proposta (ex. FSMs; fluxogramas; diagramas UML; entre outros) – auxilia o entendimento não apenas da equipe de software/hardware, mas também a interface com o cliente
- Se disponível, uso de simulador, cross-compiler e plataforma para desenvolvimento do software e primeiros contatos com o projeto de hardware
- **Busca e compra de componentes (*procurement*)**
- **Uso de ferramentas de CAD (ex. Orcad) para projeto do hardware. Projeto do PCB, roteamento, layout, planta baixa. Uso de simuladores de hardware para validação do circuito (ex. Spice)**

Fluxo de desenvolvimento para uma aplicação típica (e de baixa complexidade)

Requisitos
Especificações
Restrições

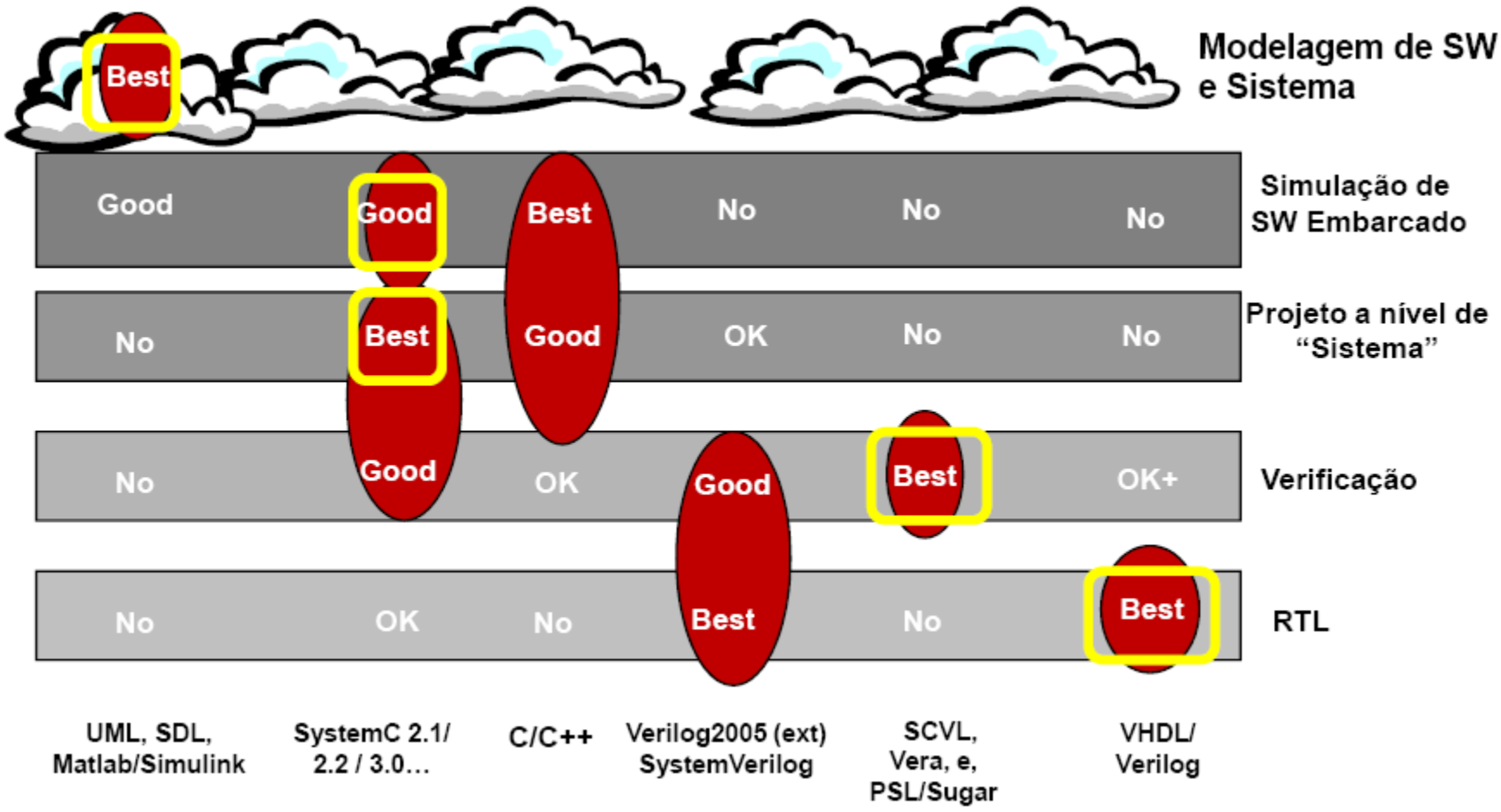
- **Para projetos simples, é interessante uma prototipagem inicial do circuito em um proto-board, de forma a corrigir bugs de SW/HW a partir dos requisitos iniciais. O desenvolvimento das placas finais e soldagem possui um custo mais elevado em relação ao protótipo em proto-board.**

Fluxo de desenvolvimento para uma aplicação típica (e de baixa complexidade)



Ferramentas de desenvolvimento

Ferramentas de desenvolvimento



Ferramentas de desenvolvimento

I. **Ferramentas de modelagem (FSM, Fluxograma, UML)**

II. **Ambiente de desenvolvimento (SDK, IDE, API)**

- ***Cross-compiler* (compilador cruzado), *linker*, *loader***
- **Simulador**

III. **Linguagem de programação**

IV. **Emulador**

V. **Analisador lógico**

VI. **Analisador de protocolos**

VII. **Osciloscópio**

VIII. **Gerador de formas de onda**

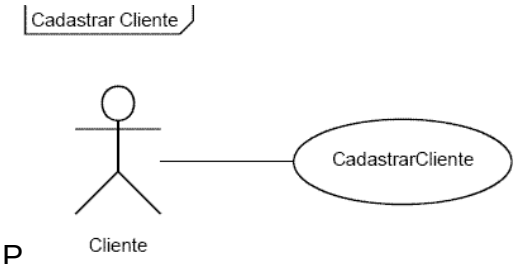
Software

Hardware

Modelagem

UML

- Diversas opções de ferramentas para diversas linguagens, ou apenas para modelagem independente de linguagem (ex. Jude, Dia, plug-ins para eclipse)
- Sistema pode ser modelado em diversos níveis de abstração através de diversos tipos de diagramas (ex. diagramas de classes e objetos visando programação orientada a objetos)
- O comportamento do sistema pode ser modelado precisamente utilizando-se diagramas como, por exemplo, diagrama de seqüência
- A utilização de diagramas UML facilita a troca de informações entre componentes das equipes (software, hardware, software/hardware), e também com o contratante do projeto.
- Uso de UML nas etapas de desenvolvimento de sistemas embarcados deverá continuar aumentando devido a crescente complexidade das aplicações

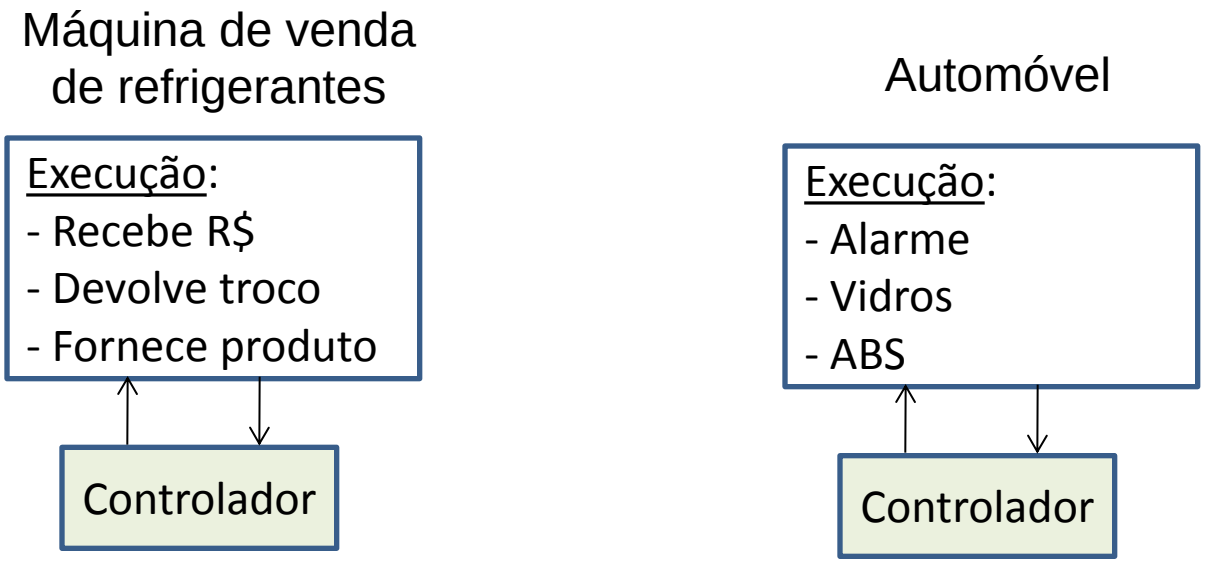


Name	Creator	Platform / OS	First public release	Latest stable version	Software license	Open source	Programming language used	Approach	Languages generated
Acceleo	Obeo	Java / Eclipse (cross-platform)	2006-03	2.5.1	EPL	Yes	Java	MDA, template	JEE, C#, Java, PHP, Python.
ArgoUML	Tigris.org	Java (cross-platform)	1998-04	0.28	BSD	Yes	Java		C++,C#,PHP4,PHP5
BoUML	Bruno Pagès	C++/Qt (cross-platform)	2005-02-26	4.15 2009-09-26	GPL	Yes	C++	MDA, template	Java, C++, PHP, Python, IDL.
Dia	Alexander Larsson/GNOME Office	GTK+ (cross-platform)	2004?	0.97	GPL	Yes		Java, C++, ADA (using dia2code)	
Eclipse UML2 Tools	Eclipse Foundation	Java (cross-platform)	Planning	1.1 Planned	GPL?	Yes?	Java		Java (or Eclipse project supported?)
Jink UML	Nether	Java (cross-platform)	2008-12-11	.745	MIT	Yes			
Modelio Free Edition (see Objecteering)	Modeliosoft	Windows	2009	1.0	?	No	Java, C++	full UML2 support; integrated BPMN support. XMI import; HTML and MS-Word document generation.	Java, C#, C++, XSD, WSDL
StarUML	Plastic Software	Windows	2005-11-01	5	GPL, modified	Yes	Delphi	Plug-in architecture: C++, Delphi, C#, VB,	
Visual Paradigm for UML	Visual Paradigm Int'l Ltd.	Java (cross-platform)	2002-06-20	7	Commercial with Free Community Edition	No	Java	Full UML, SysML, ERD and BPMN Support	Java, C#, C++, PHP, Ada, Action Script
Umbrello UML Modeller	Umbrello Team	Linux	2006-09-09	2.0.0	GPL	Yes	C++, KDE		C++, Java, Perl, PHP, Python... 16

Modelagem

FSM – *Finite State Machine*

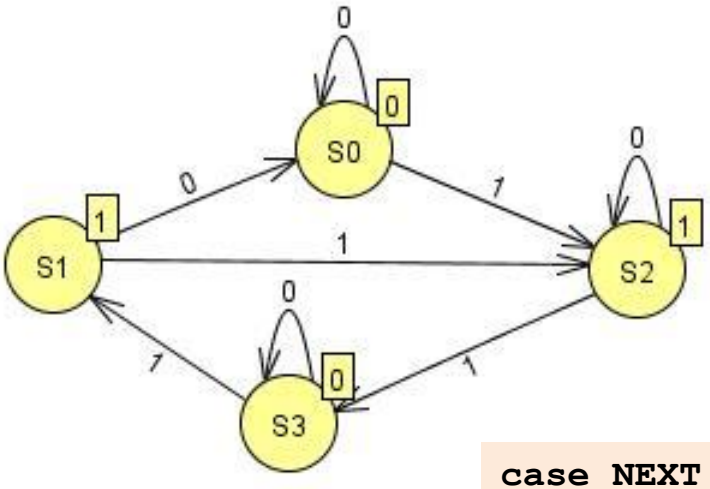
- Sistemas embarcados, normalmente, são compostos por um módulo de “controle” e um módulo para “execução das operações”.



Modelagem

O comportamento da sequência de atividades em aplicações embarcadas pode ser modelado por FSMs de diversas formas:

Diagramas de estados (grafos)



Tabelas de transição de estados

Estado Atual	Próximo Estado X=0	Próximo Estado X=1	Saída Atual (z)
S0	S0	S2	0
S1	S0	S2	1
S2	S2	S3	1
S3	S3	S1	0

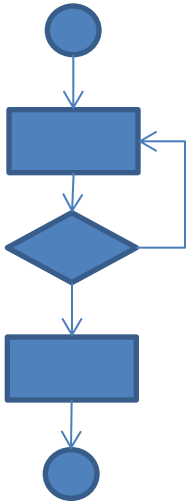
```
case NEXT_STATE is
   when S0_C =>
      if (x = 0)
         z = 0;
         NEXT_STATE <= S0_C;
      else
         z = 0;
         NEXT_STATE <= S2_C;
      end if;
   when S1_C =>
```

Linguagens de programação

Modelagem

Fluxograma

- Bastante útil para auxiliar na organização do fluxo de dados e controle de programas em geral para sistemas embarcados
- Indispensável no desenvolvimento de programas em assembly
- Diversas ferramentas disponíveis (MS-Visio, Dia, ...)



Linguagem natural, algoritmos, diagramas de blocos

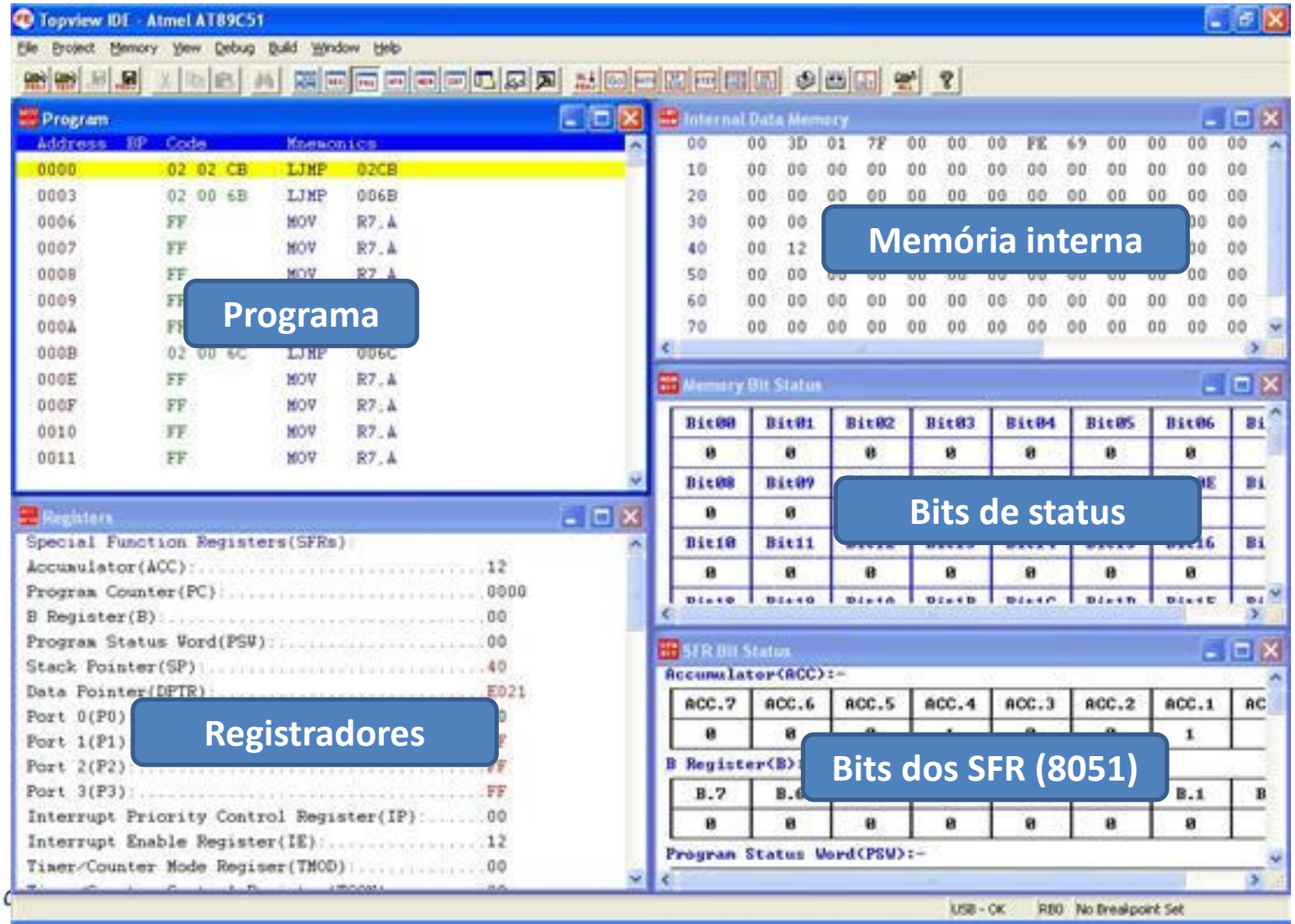
- O tipo de modelagem a ser utilizada depende da aplicação alvo, e do nível de abstração
- Descrições em linguagem natural ou em algoritmos são bastante úteis em complemento a outras abordagens de modelagens, ou até mesmo como única forma de modelagem no caso de sistemas com menor complexidade

Ambiente de desenvolvimento

- SDK (*Software Development Kit*) – conjunto de ferramentas de desenvolvimento
- SDKs podem ser compostas por apenas uma simples API (*Application Programming Interface*) para utilização em uma determinada linguagem de programação, ou podem possuir hardware sofisticados para interface com sistemas embarcados
- Ferramentas de SDKs, normalmente, são disponibilizadas em IDEs (Integrated Development Environment).
- IDEs incluem sistemas de ajuda, documentação, e facilidades para depuração.
- SDKs também podem incluir código exemplo, templates, documentação auxiliar, entre outros.

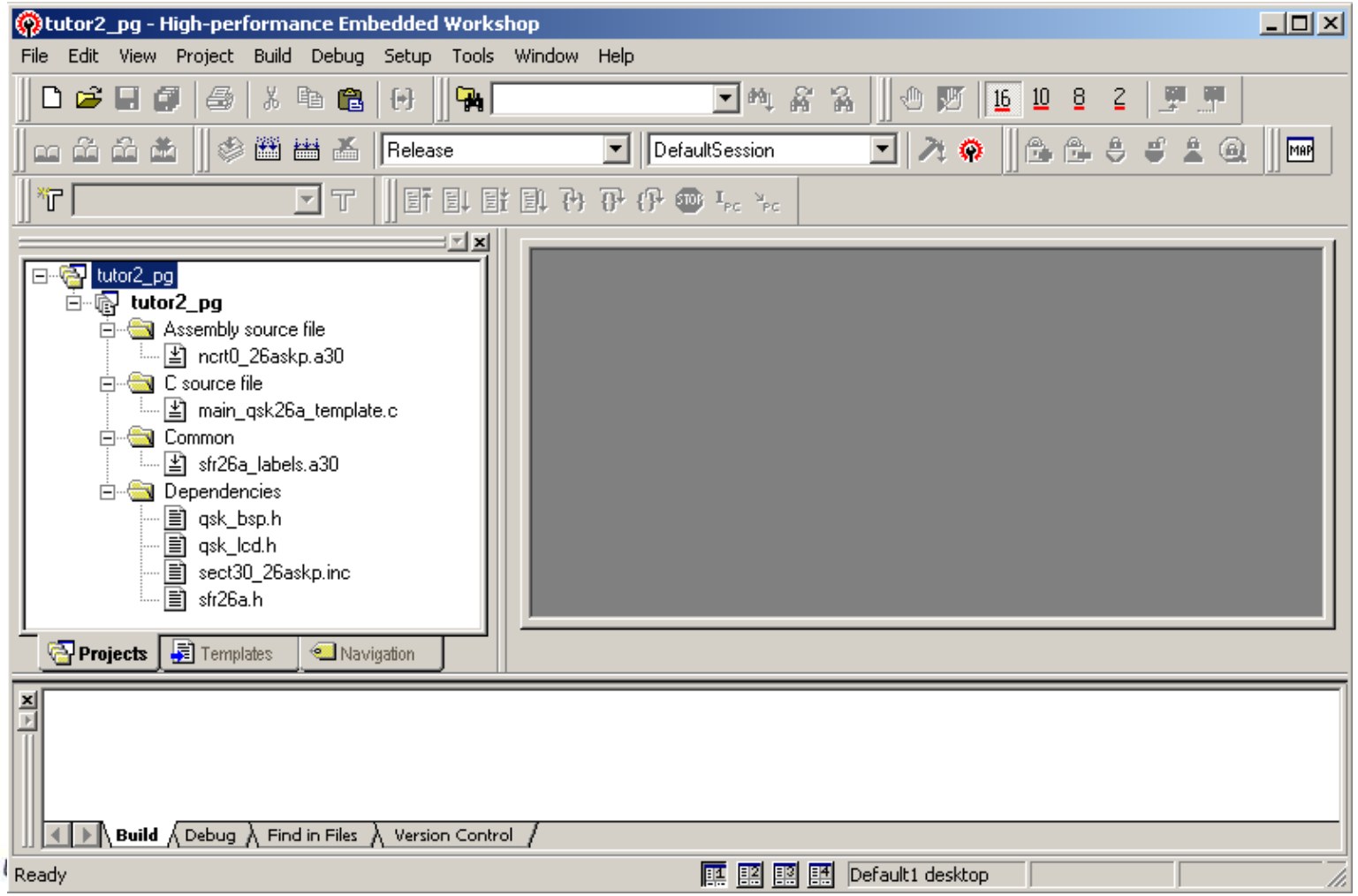
Ambiente de desenvolvimento

IDE típica



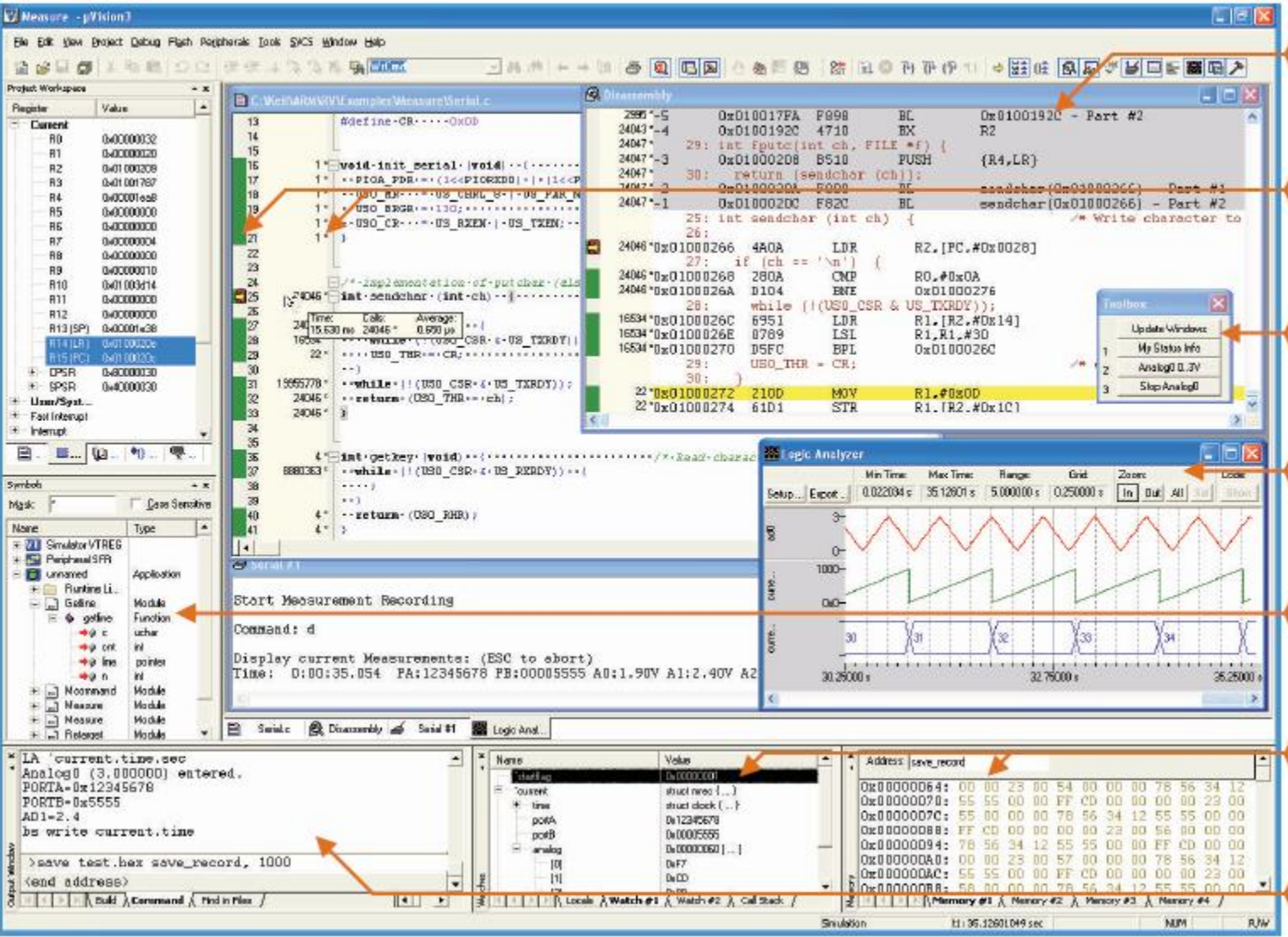
Ambiente de desenvolvimento

IDE da Renesas – SDK, ambiente de projeto, APIs, templates, simulador, facilidades para depuração de hardware, programação de microcontroladores, entre outros.



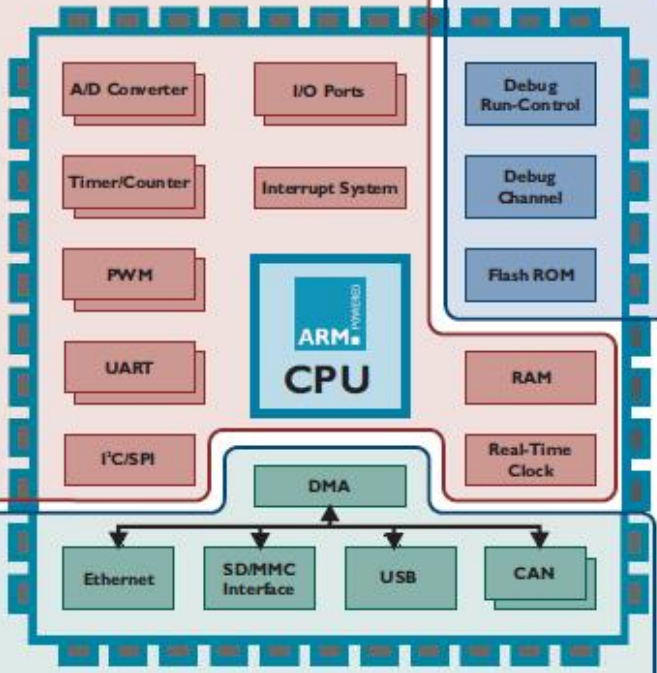
Ambiente de desenvolvimento

Keil – Empresa do grupo ARM. IDE para diversas arquiteturas (ARM, 8051, ...)



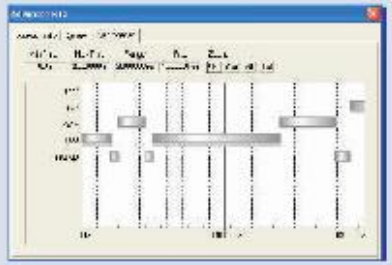
Microcontroller Development Kit (MDK)

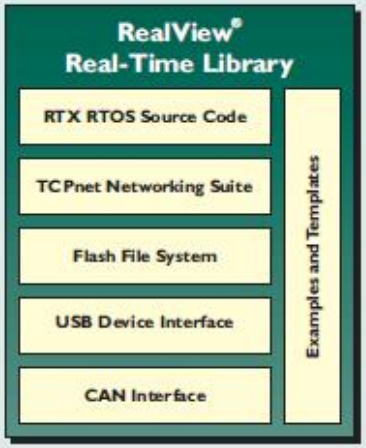
- Best-in-class ARM RealView® C/C++ Compiler.
- Genuine Keil µVision® IDE/Debugger/Simulator.
- Royalty-free RTX Real-Time Operating System.
- Easy device configuration with Device Database support for more than 260 ARM Powered devices.



ULINK2® Adapter

- JTAG & Serial Wire Interface.
- Target Debugging.
- Flash Programming.
- Real-Time Trace and on-the-fly debugging.





Real-Time Library (RL-ARM)

- RTX Real-Time OS with Source Code.
- TCP/IP Suite with Server Applications.
- File System for ROM and Memory Cards.
- Supports USB Standard Device Drivers.
- CAN Driver with RTOS Interface.

Evaluation Boards

Keil provides a wide range of evaluation boards for devices based on ARM7, ARM9 and Cortex-M3.

Ambiente de desenvolvimento

II

Ambientes de desenvolvimento, normalmente, disponibilizam um compilador cruzado (ex. gcc, sdcc, keil, ...) e facilidades para simulação.

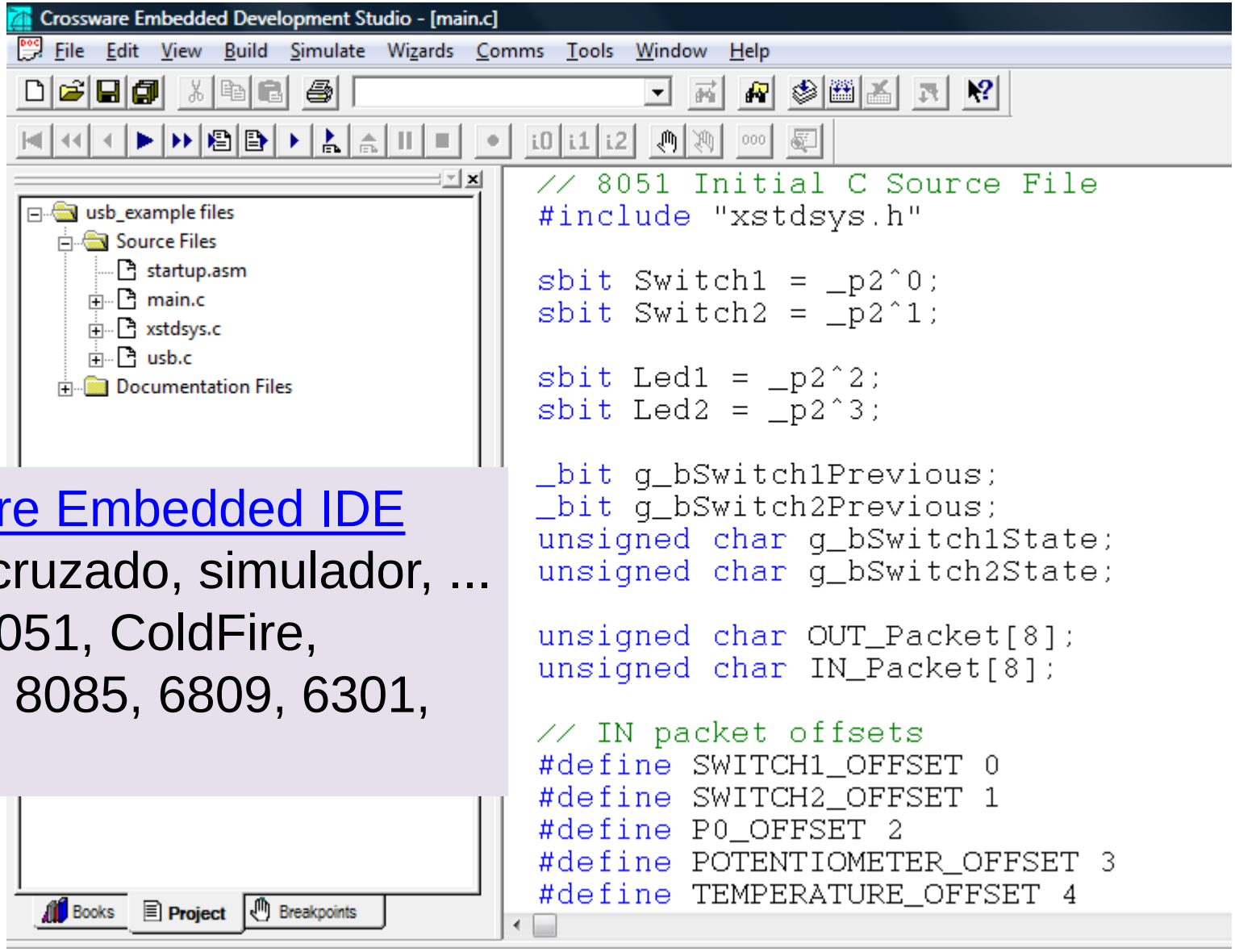
- **Compilador cruzado (*cross-compiler*)**
  - SDCC: Compilador para plataformas Linux x86, Windows e Mac OS.
  - Gera binários para 8051, DS390, Z80, HC08 e PIC

  http://sdcc.sourceforge.net.

Exemplo de utilização (linha de comando Windows):

```
C:\PIC\source\>sdcc --debug -mpic14 -p16f627 toggle_led.c
```

Ambiente de desenvolvimento

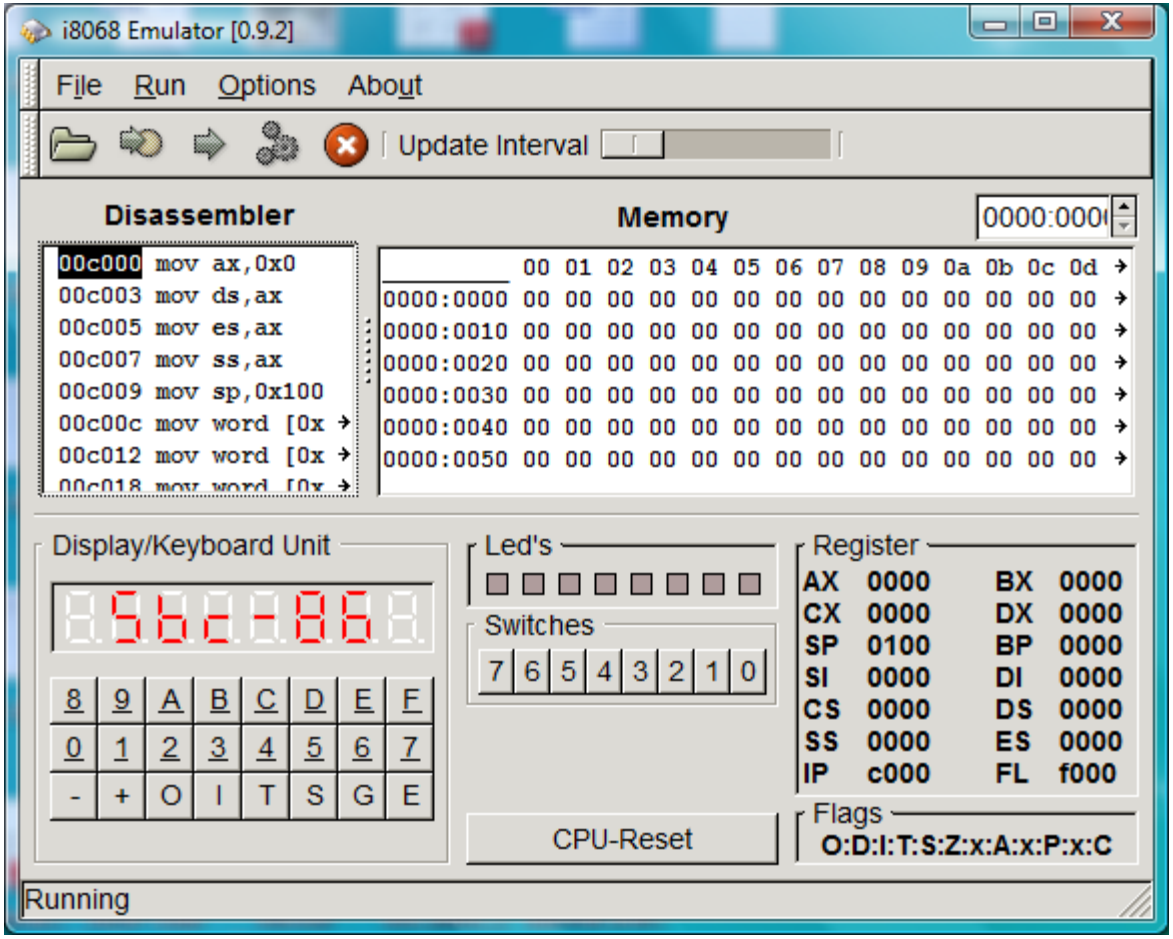


Crossware Embedded IDE

Compilador cruzado, simulador, ... para ARM, 8051, ColdFire, 68XXX, Z80, 8085, 6809, 6301, 68HC11

Ambiente de desenvolvimento

Simulador para o 8086

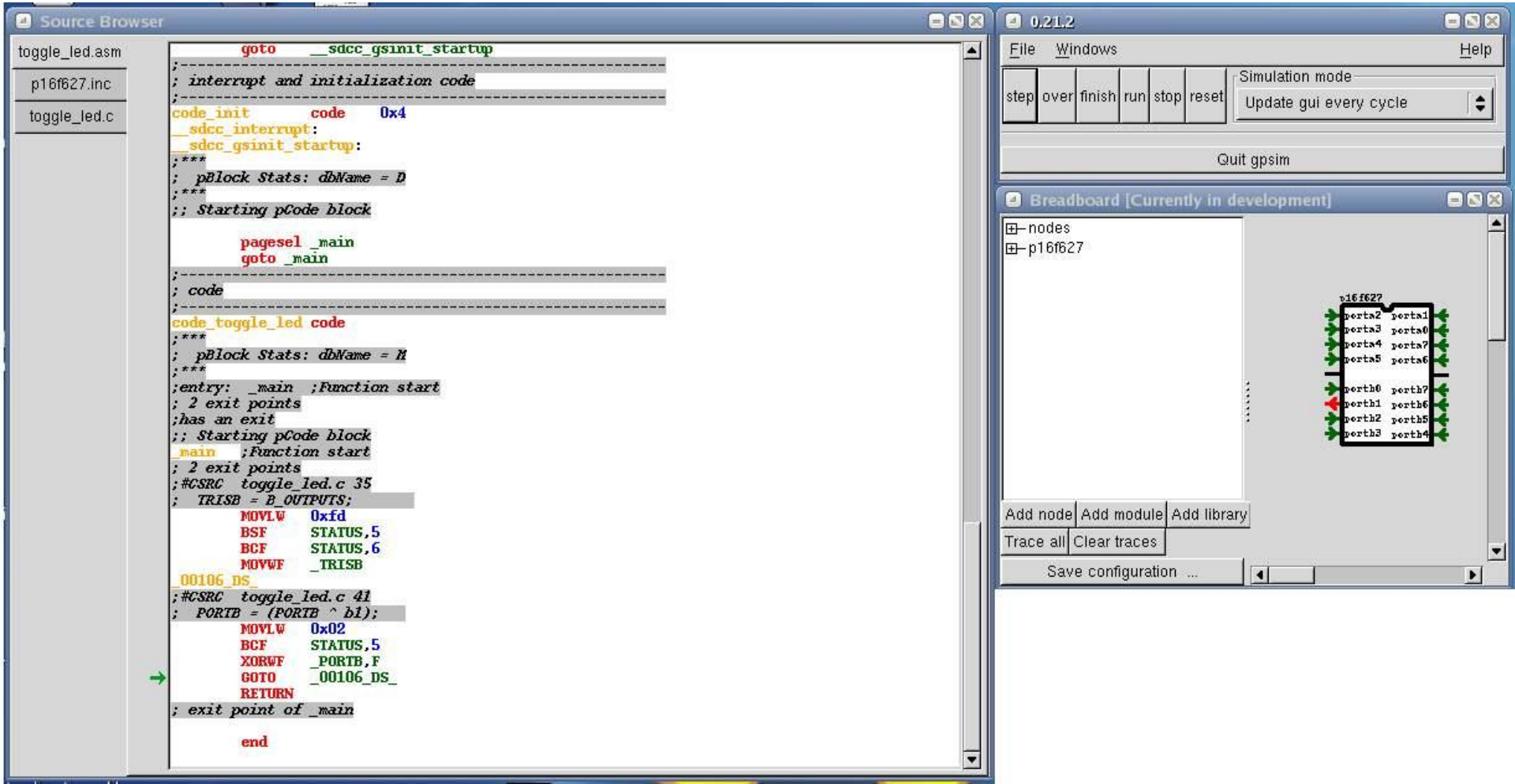


Ambiente de desenvolvimento

II

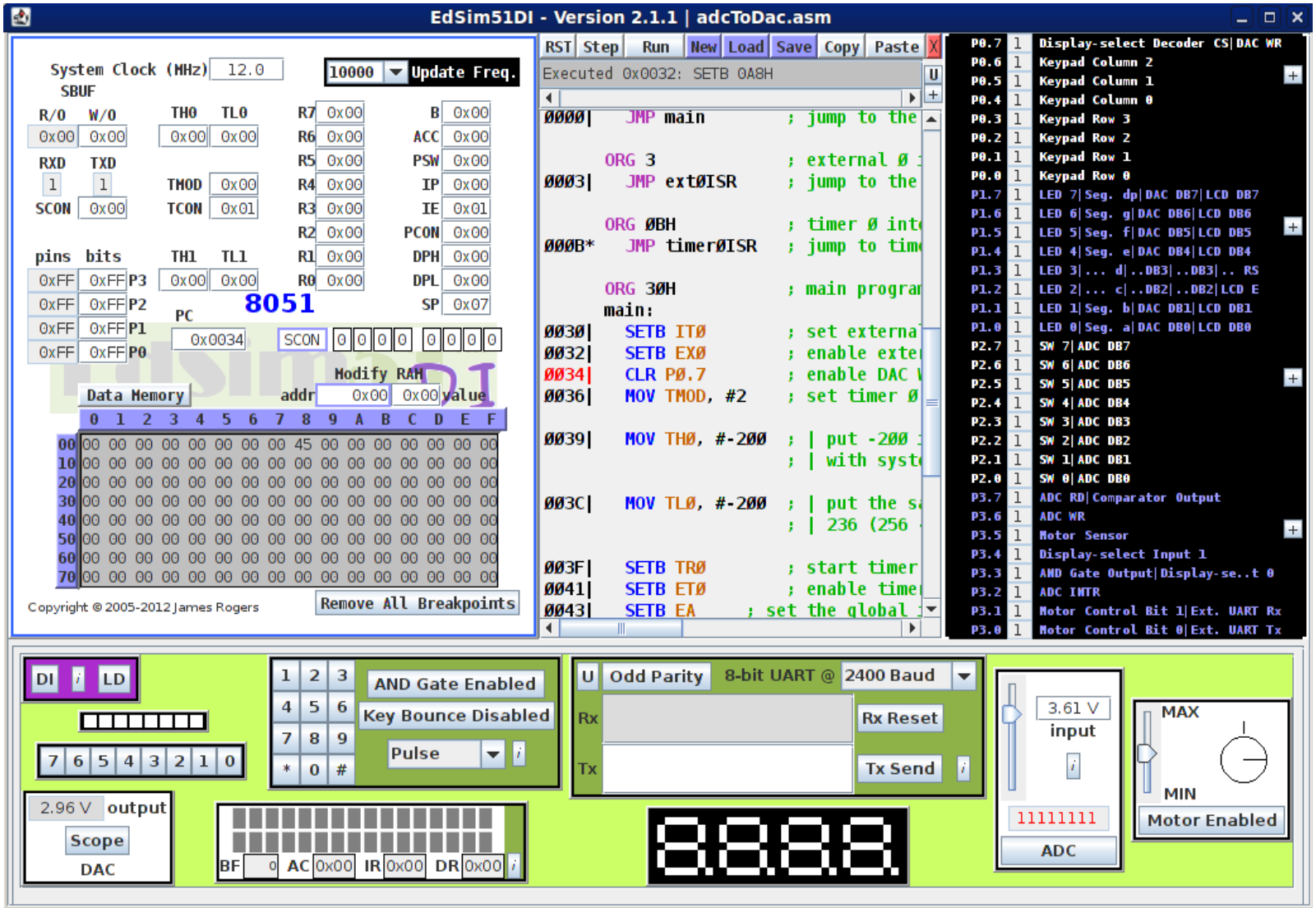
GPSim - Simulador para o PIC

```
gpsim -pp16f627 -s toggle_led.cod toggle_led.asm
```



Ambiente de desenvolvimento

EdSim51 - Simulador para o 8051

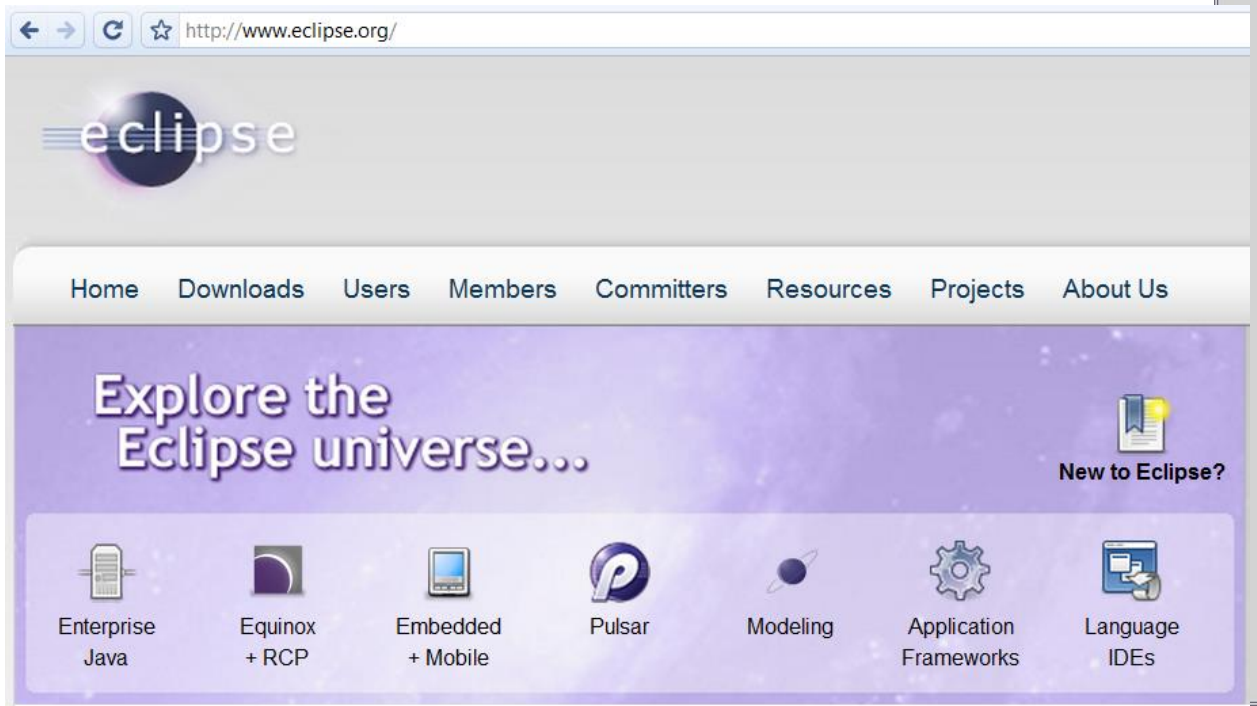


Ambiente de desenvolvimento

SDK Android do Google é composto por:

- Emulador para teste do software desenvolvido
- Plugin para IDE do Eclipse
- APIs para Java
- http://developer.android.com/sdk/

Conceitualmente, seria um "simulador"



Celulares com Android

Linguagens de programação

III

Assembly

- Baixo nível
- Controle a nível de quantidade de ciclos por instrução/rotina/programa
- Controle total
- Difícil manutenção

BASIC, Forth

- Interpretadas
- Fáceis de usar
- Lentas

Linguagem C

- Alto nível
- Abstrai detalhes da arquitetura
- Permite acesso baixo nível (a nível de bit)
- Assembly *in-line*
- Acesso direto a portas de I/O
- Possibilidade de definição de tamanho de palavra (int)
- Grande disponibilidade de ferramentas (compiladores, ...)

Linguagem C++

- Vantagens do C com orientação a objetos
- Carência de ferramentas

Programa Exemplo: Loop

```
/* pulses pin PORTB<3>
eight times */

pulse:
        movlw   0x08
        movwf   counter

pulse_lp0:
        bsf     PORTB, 3
        bcf     PORTB, 3
        decfsz counter, F
        goto    pulse_lp0
        return
```

Código Assembly

```
/* pulses pin PORTB<3>
 eight times */

void pulse()
{
   int i;
   for (i=0; i<8; i++){
        output_high(PIN_B3);
        output_low(PIN_B3);

   }
   return;
}
```

Código C

Ineficiência dos compiladores

```
/* pulses pin PORTB<3> eight
times */


0000: movlw  0x8
0001: movwf  0x20
0002: bsf    0x6,0x3
0003: bcf    0x6,0x3
0004: decfsz 0x20
0005: goto   002
```

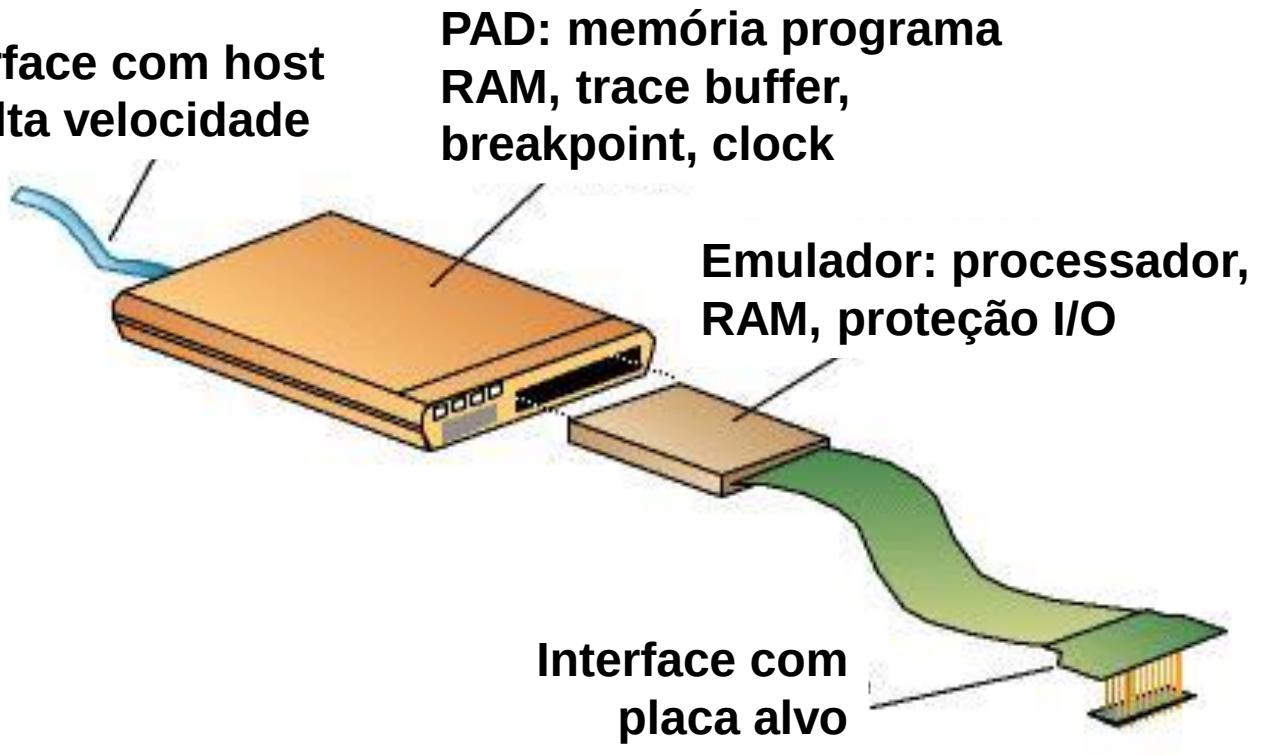
Código assembly
do desenvolvedor

```
/* pulses pin PORTB<3> eight times
   */
   0005:  CLRF   21
   0006:  MOVF   21,W
   0007:  SUBLW  07
   0008:  BTFSS  03,0
   0009:  GOTO   014
   000A:  BSF    03,5
   000B:  BCF    06,3
   000C:  BCF    03,5
   000D:  BSF    06,3
   000E:  BSF    03,5
   000F:  BCF    06,3
   0010:  BCF    03,5
   0011:  BCF    06,3
   0012:  INCF   21,F
   0013:  GOTO   006
```

Código assembly gerado
pelo compilador C

Emulador – *In-Circuit Emulator*

IV



Emuladores

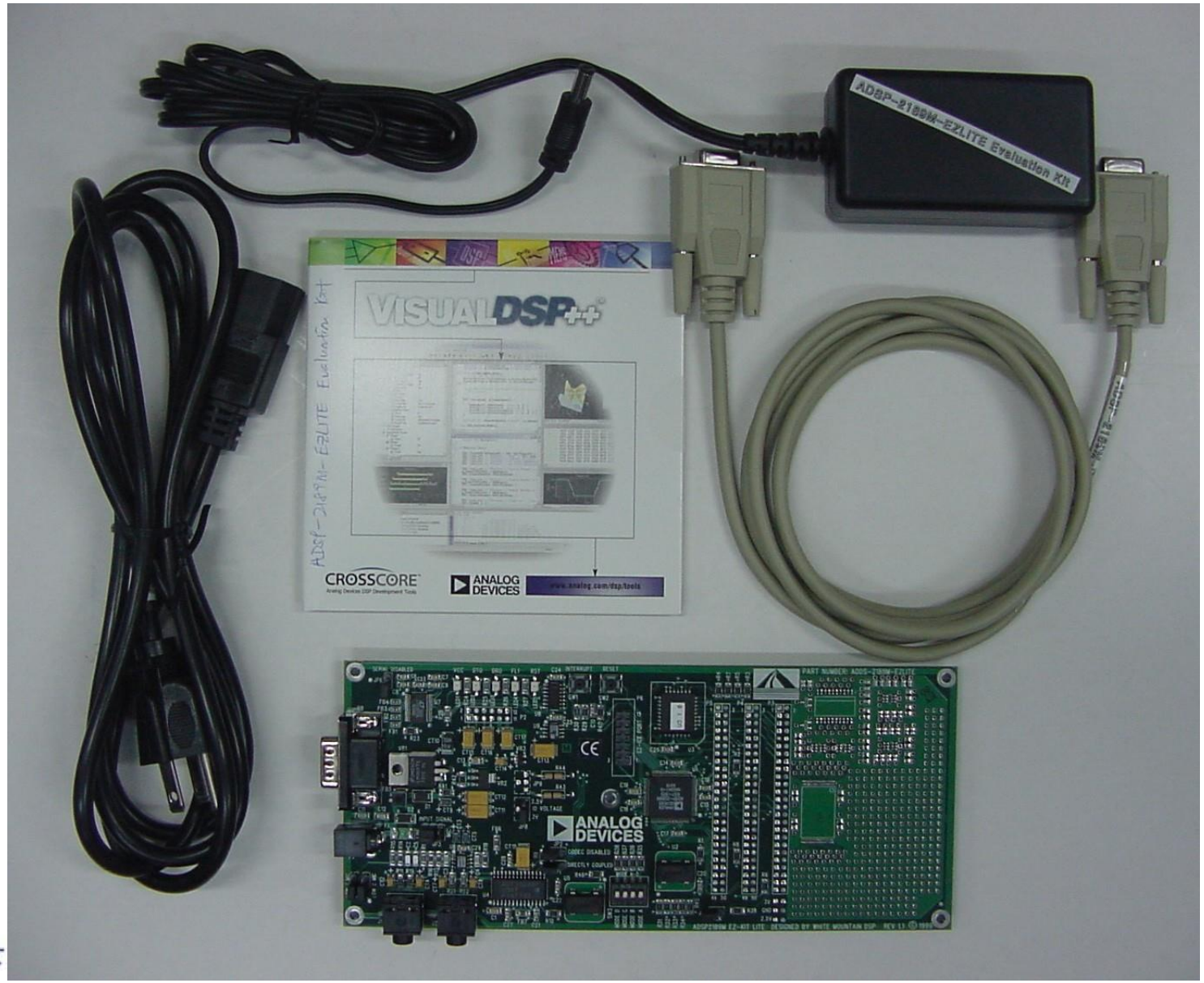
- Hardware contendo processador alvo
- Possibilita teste “real” do software, antes de concluído o projeto da placa
- Placa alvo é testada, sem o processador, utilizando pads do emulador no socket destino
- Ferramenta com alto grau de controlabilidade e observabilidade
- Depuração em tempo real

Emulador – *In-Circuit Emulator*

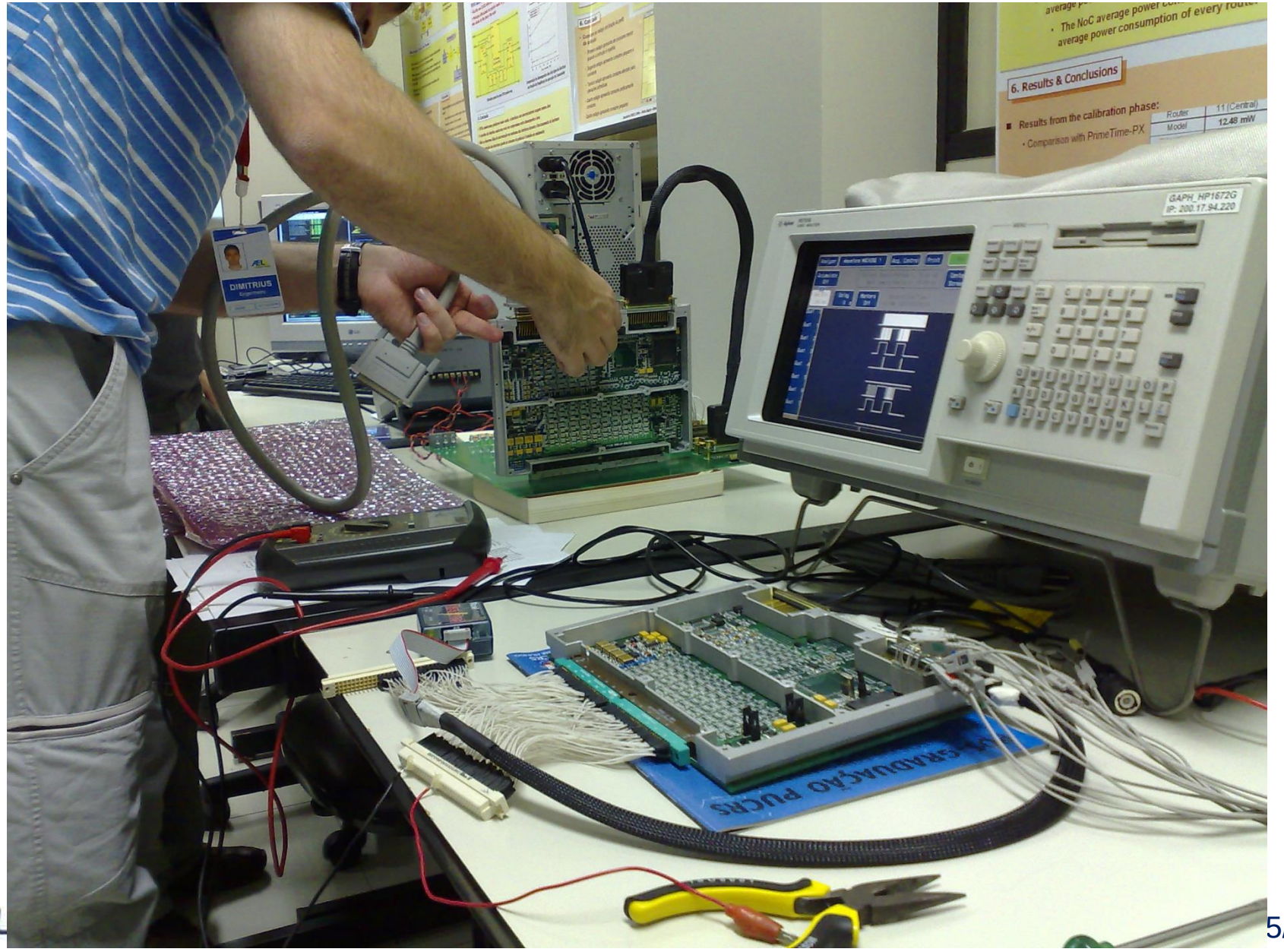
IV

Emulador – *In-Circuit Emulator*

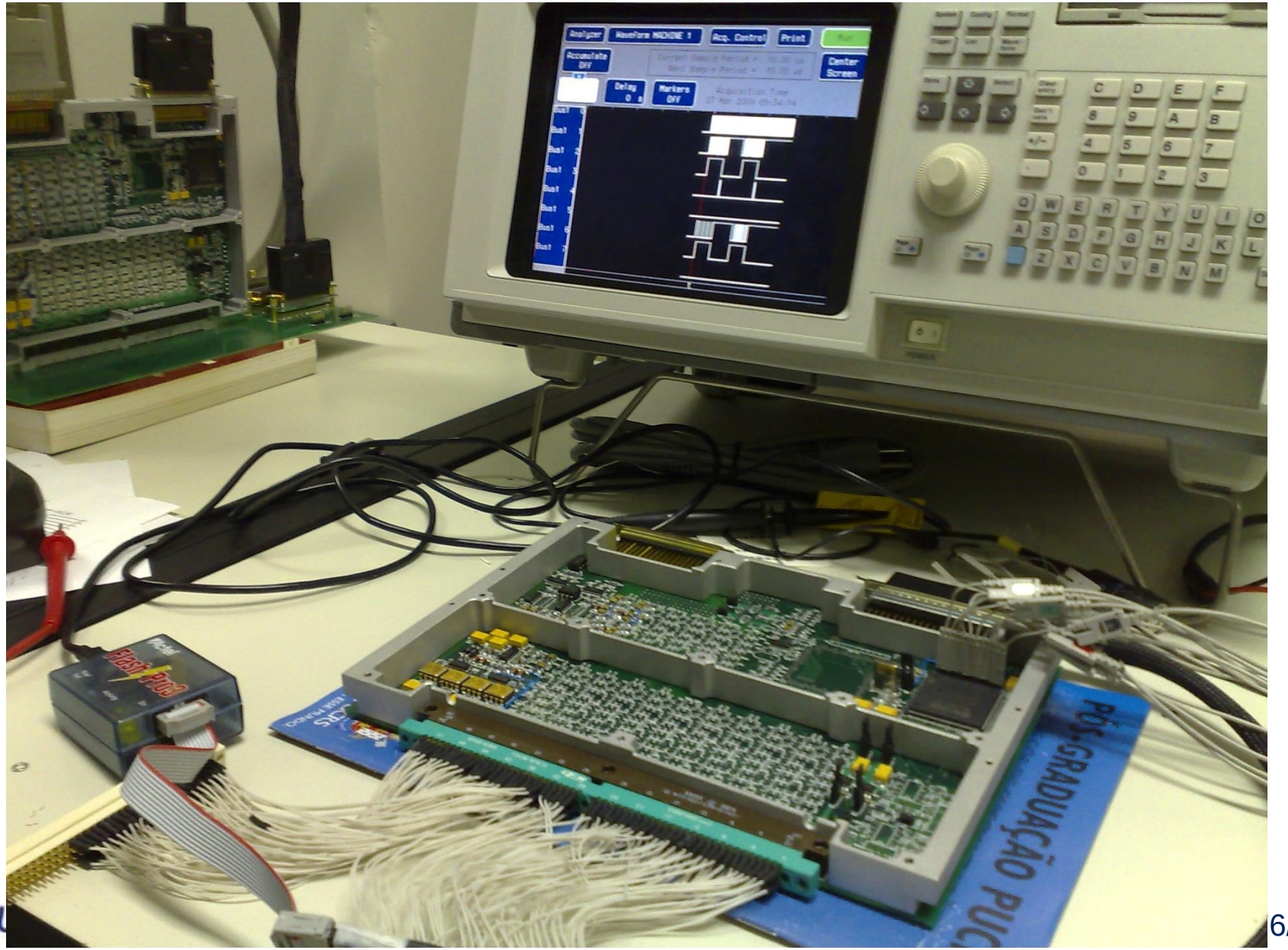
IV



Analisador Lógico

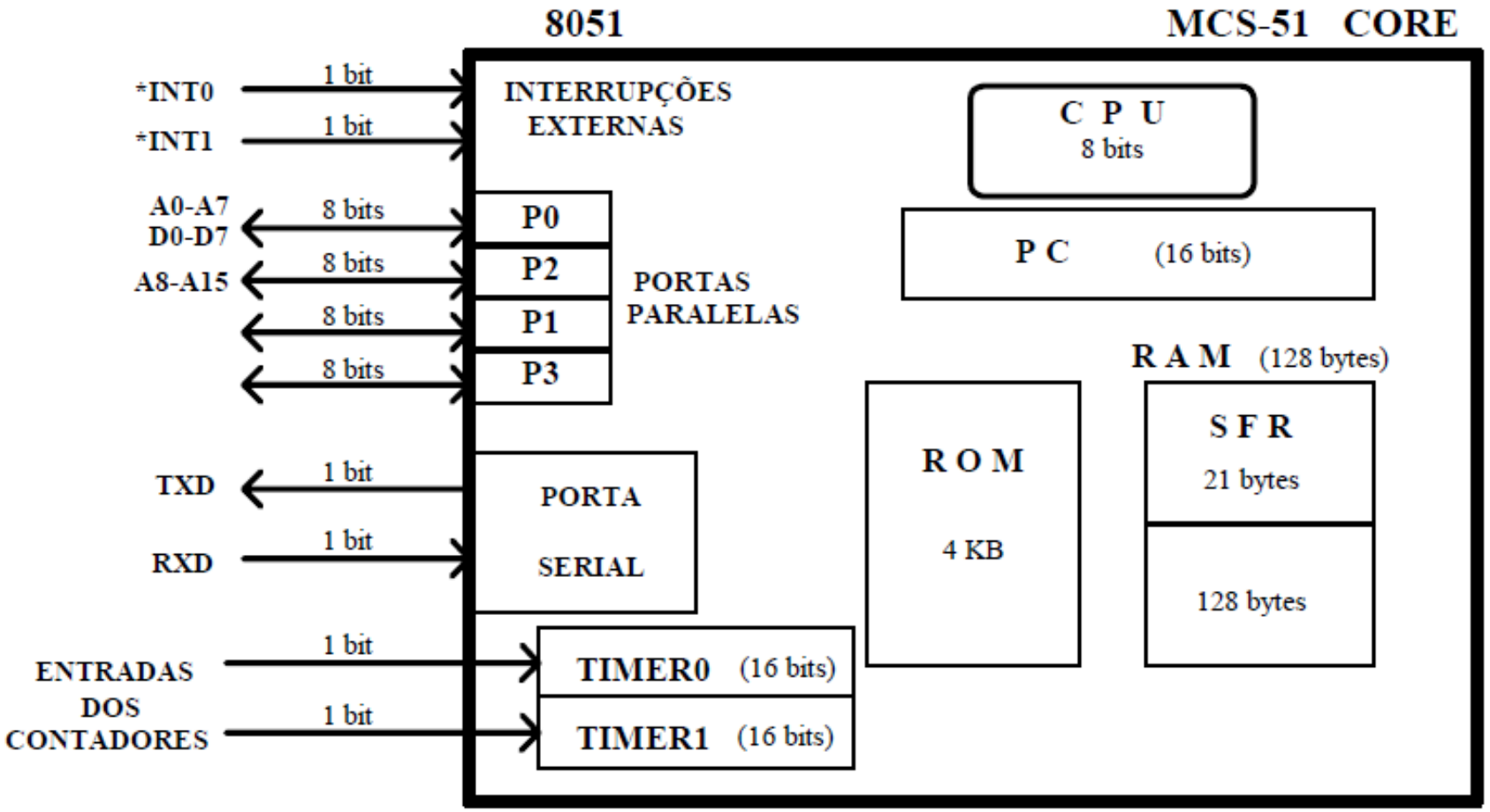


Analisador Lógico

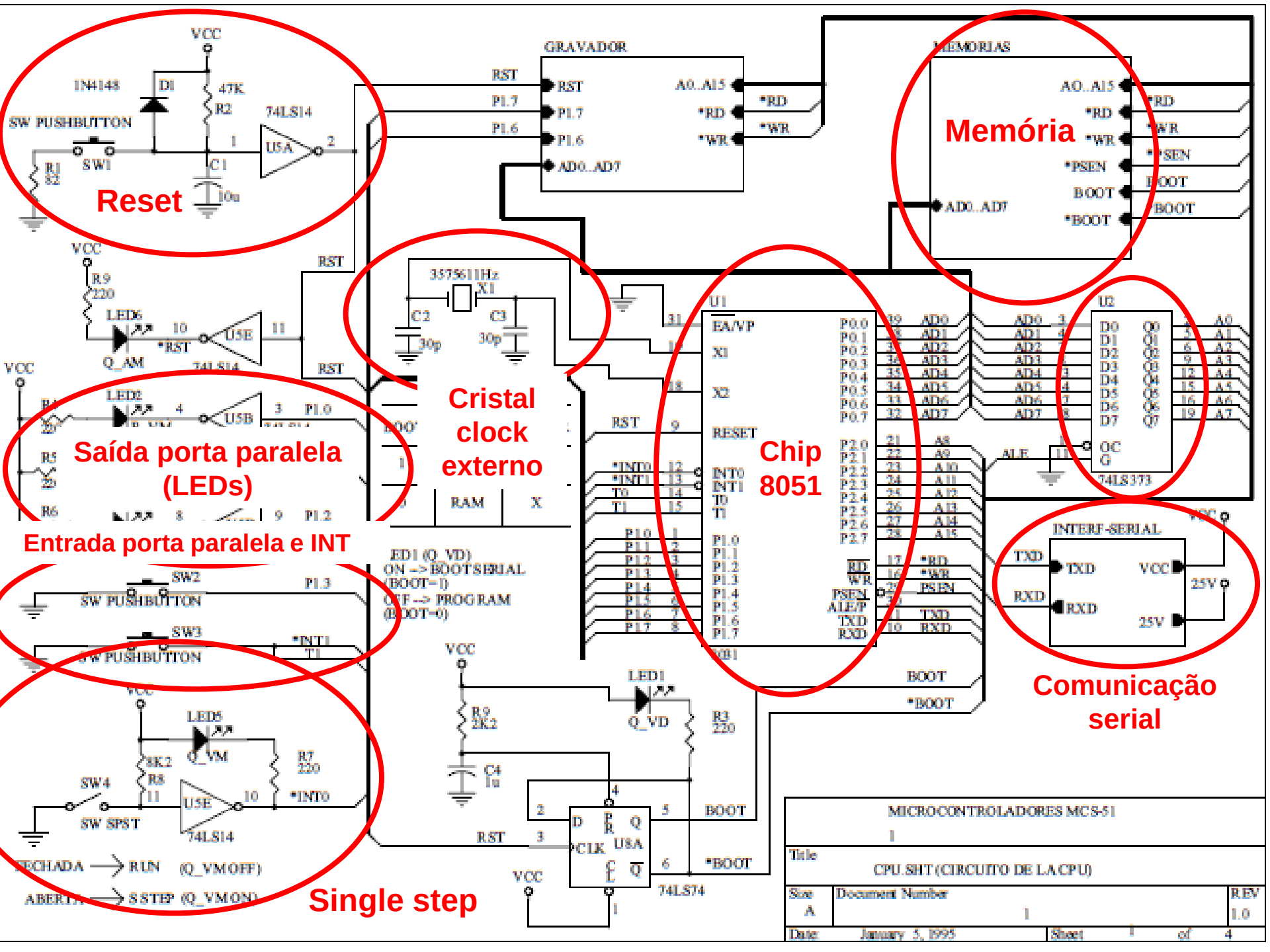


Plataforma 8051

8051



- 5 Interrupções (2 externas, 2 dos timers/counters e 1 da porta serial)


Reset
Saída porta paralela (LEDs)
Entrada porta paralela e INT
Cristal clock externo
Chip 8051
Memória
Comunicação serial
Single step
GRAVADOR
MEMORIAS
INTERF-SERIAL
MICROCONTROLADORES MCS-51
CPU.SHT (CIRCUITO DE LA CPU)
Size A
Document Number
REV 1.0
Date: January 5, 1995
Sheet 1 of 4

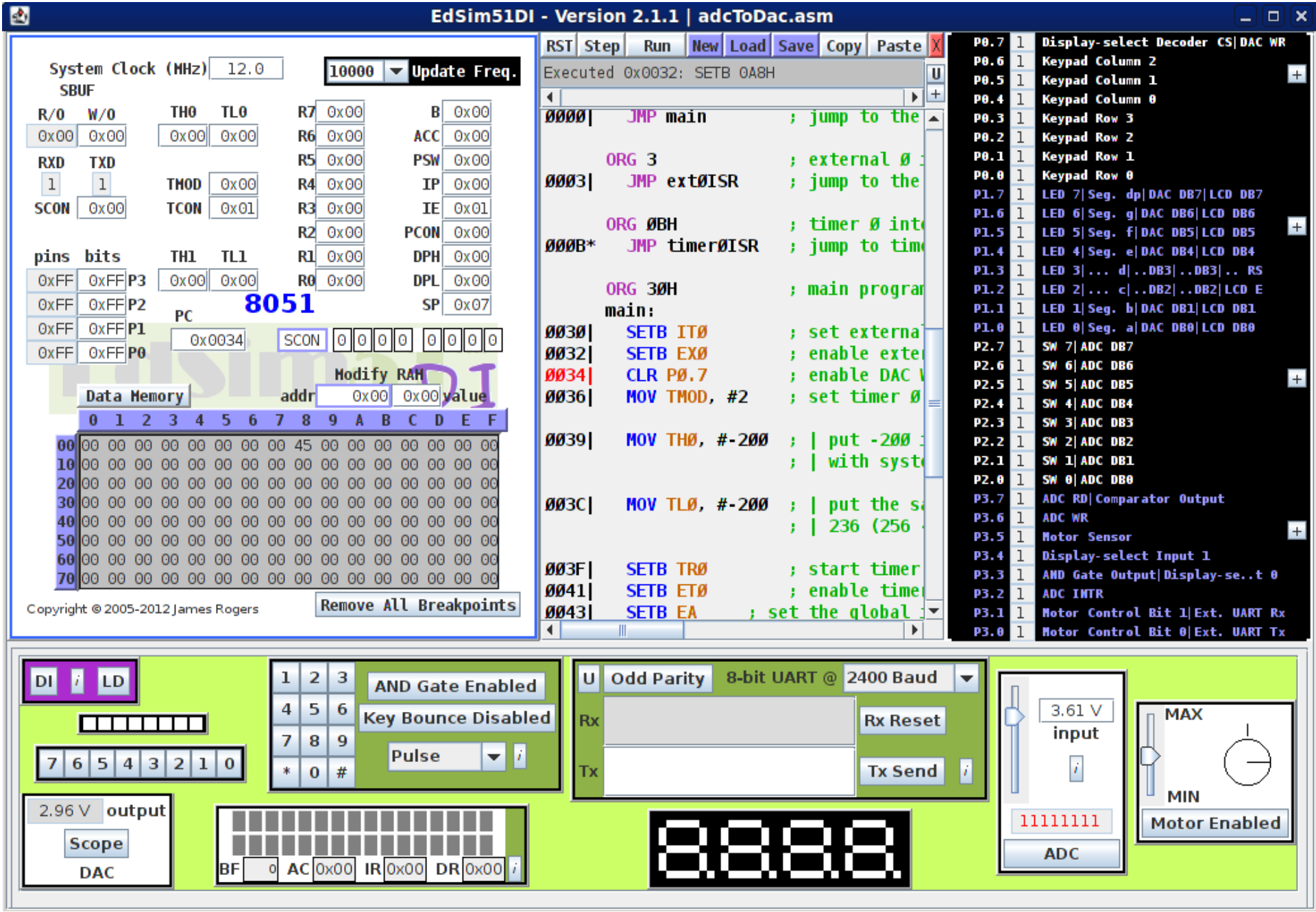
Ferramentas para 8051

- **IDE Keil**
- **Compilador cruzado sdcc**
- **Simuladores**
- **Emuladores**

Bascom

www.mcselec.com

http://www.edsim51.com/



Ferramentas para 8051

Emulador para 8051

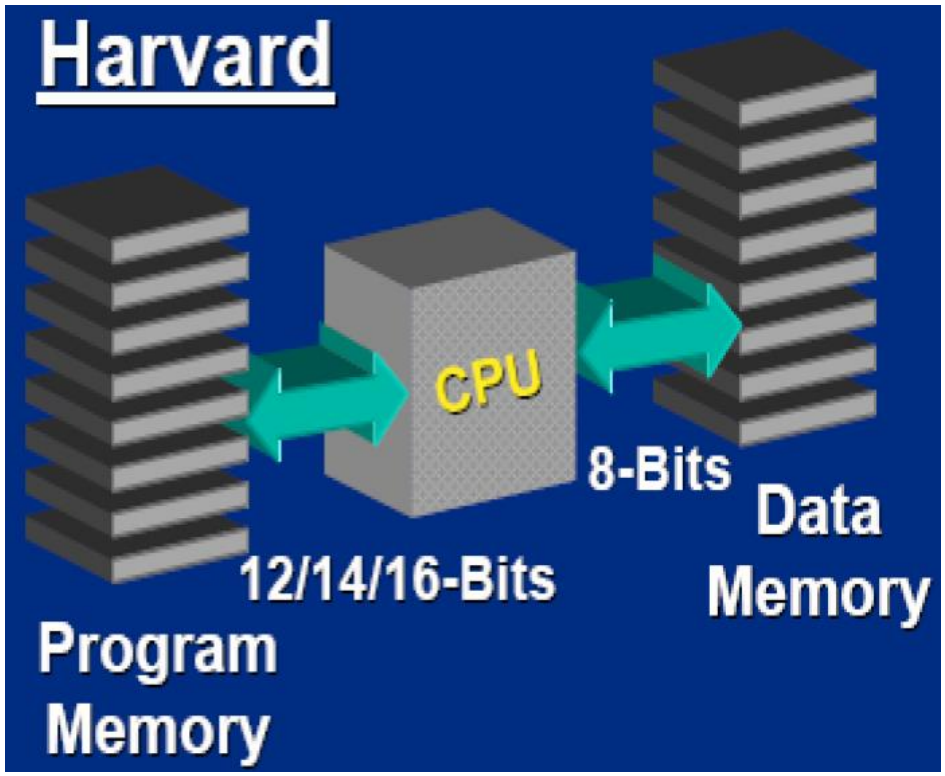
Facilidades: 8051 da Atmel com memória flash embarcada. Operações de tempo real até 24MHz. Clock built in ou outro clock conectado a placa em emulação.
Frequências: 4 MHz, 4,608 MHz, 8 MHz, 9,216 MHz, 10 MHz, 12 MHz, 16 MHz, 18,432MHz, 20 MHz e 24MHz.
Até 60 KB de memória de programa.
Até 256 Bytes de memória de dados interna. Dispositivos DIP de 20 e 40 pinos.
Conexão ao host via USB. IDE para Windows XP.

Dispositivos:
AT89C1051, AT89C1051U, AT89C2051, AT89C4051, AT89C51, AT89C51RC, AT89S51, AT89C52, AT89S52, AT89C55, AT89C55WD, AT89S53, AT89S8252, AT89S8253

Plataforma PIC

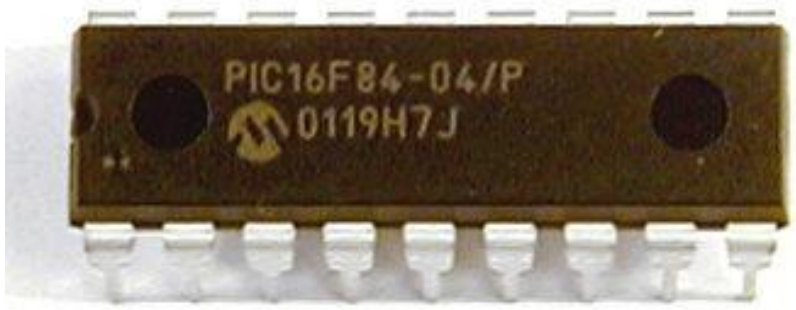
PIC

- **Fabricante Microchip**
- **RISC**
- **Série 16 possui 35 instruções**
- **Arquitetura Harvard**
- **Barramentos separados para memória de dados e memória de programa.**



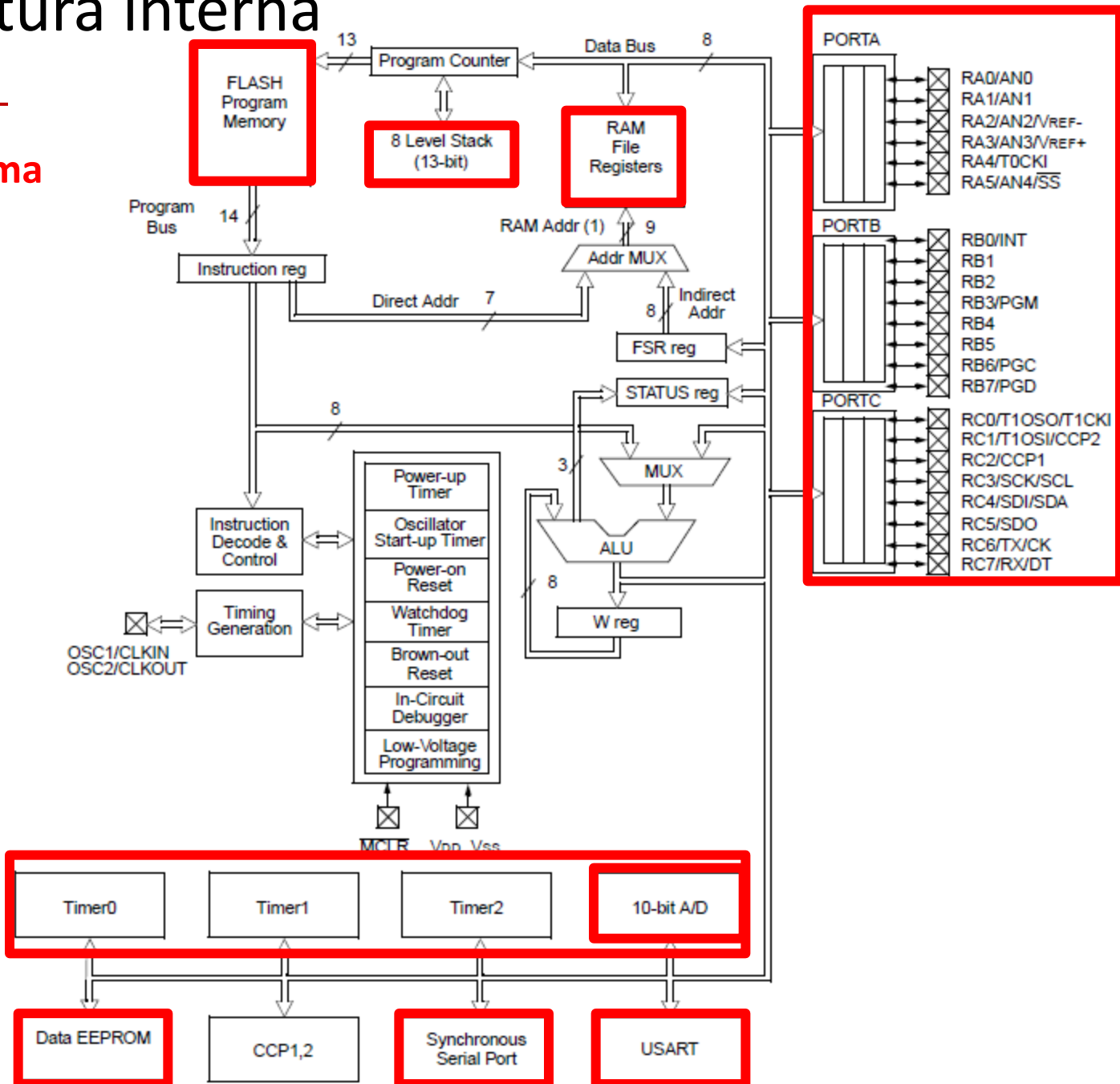
PIC16F88

- 8 bit
- Memória: 68 bytes RAM/68 bytes EEPROM
- 18 Pinos: 13 pinos de I/O



PIC – arquitetura interna

- Memória de programa
- Pilha para chamada de sub-rotinas
- Portas (I/O)
- Memória de dados
- Timers
- Serial síncrona
- Serial assíncrona
- Conversor A/D



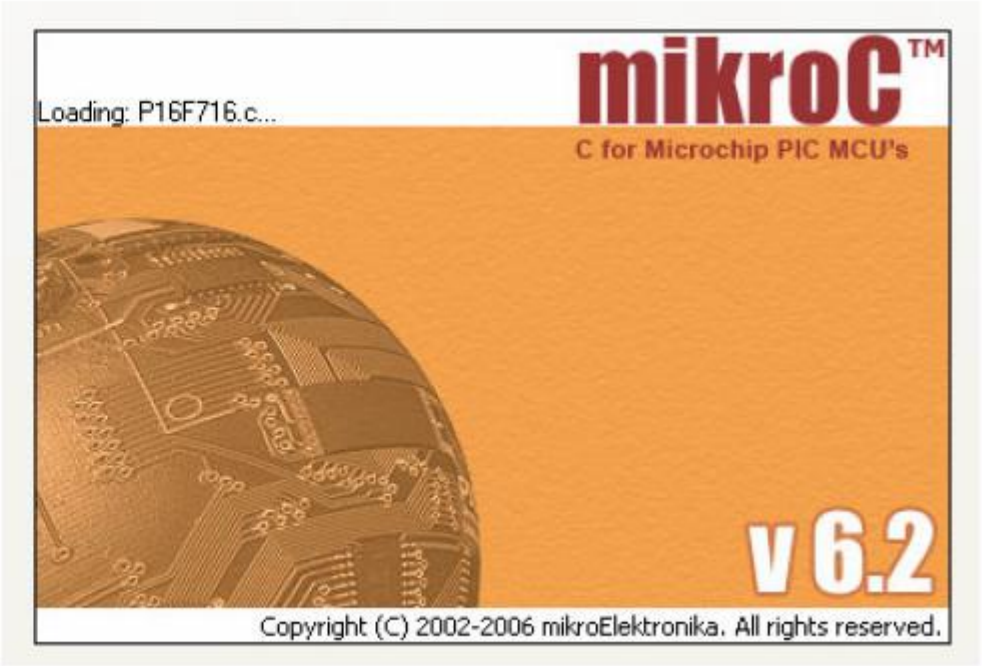
PIC

		PIC12CXXX	PIC14000	PIC16C5X	PIC16C6X	PIC16CXXX	PIC16F62X	PIC16C7X	PIC16C7XX	PIC16C8X	PIC16F8XX
Software Tools	MPLAB® Integrated Development Environment	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	MPLAB® C17 Compiler										
	MPLAB® C18 Compiler										
	MPASM/MPLINK	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Emulators	MPLAB®-ICE	✓	✓	✓	✓	✓	✓**	✓	✓	✓	✓
	PICMASTER/PICMASTER-CE	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	
	ICEPIC™ Low-Cost In-Circuit Emulator	✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓	
Debugger	MPLAB®-ICD In-Circuit Debugger				✓*			✓*			✓
Programmers	PICSTART®Plus Low-Cost Universal Dev. Kit	✓	✓	✓	✓	✓	✓**	✓	✓	✓	✓
	PRO MATE® II Universal Programmer	✓	✓	✓	✓	✓	✓**	✓	✓	✓	✓
Demo Boards and Eval Kits	SIMICE	✓		✓							
	PICDEM-1			✓		✓		✓†		✓	
	PICDEM-2				✓†			✓†			
	PICDEM-3										
	PICDEM-14A		✓								
	PICDEM-17										
	KEELOQ® Evaluation Kit										
	KEELOQ Transponder Kit										
	microID™ Programmer's Kit										
	125 kHz microID Developer's Kit										
	125 kHz Anticollision microID Developer's Kit										
	13.56 MHz Anticollision microID Developer's Kit										
	MCP2510 CAN Developer's Kit										

PIC – Ferramentas

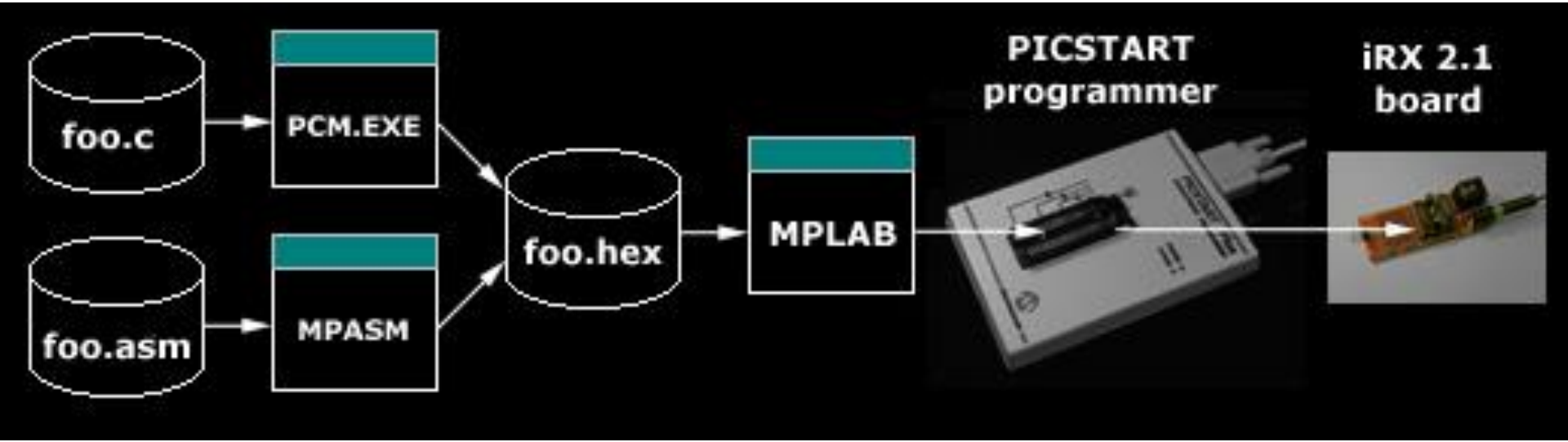
mikro C

www.mikroe.com



PIC: etapas de desenvolvimento

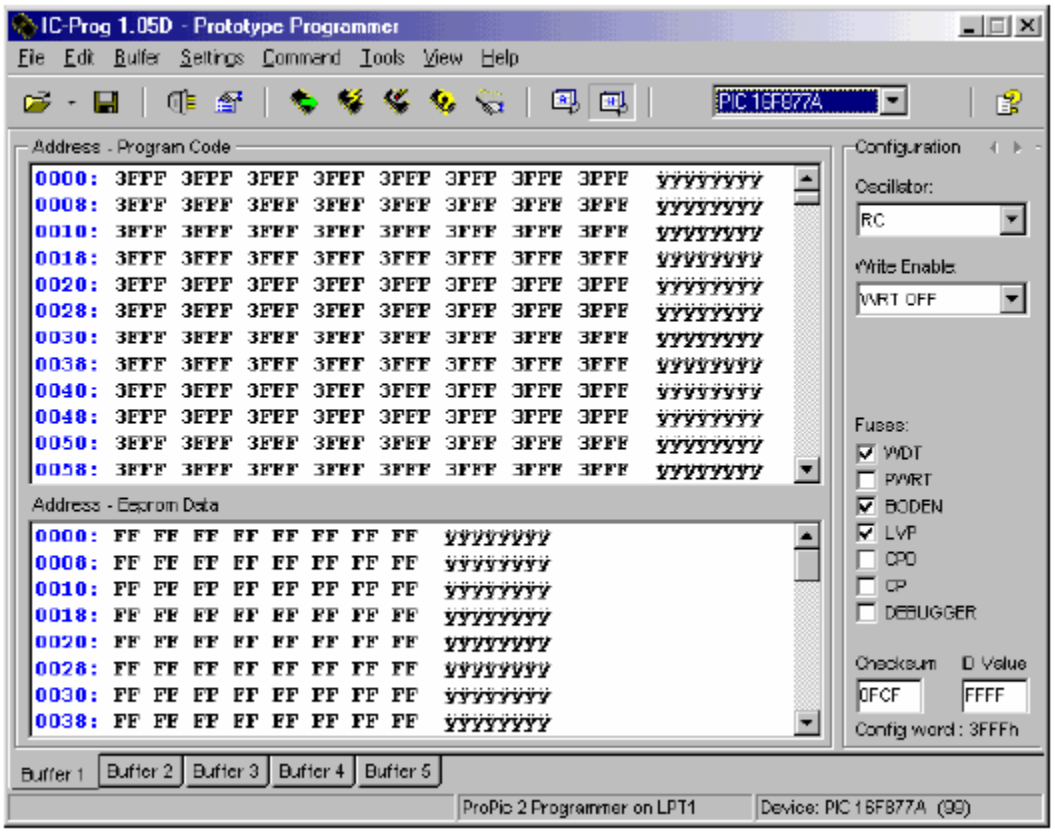
1. Escrever o programa
   - MPLAB
   - C ou Assembly
2. Compilar o programa
   - CCS PCM
3. Programa para gravação
   - Arquivo .HEX
   - Usar PICSTART e MPLAB
4. Colocar PIC no gravador de EPROM
   - Observar pinagem
5. Alimentação da placa
   - Fonte/bateria de 9V
6. Depurar o programa
   - Raramente funciona na primeira tentativa
7. Repetir a partir do passo 1



Gravação de PIC e 8051

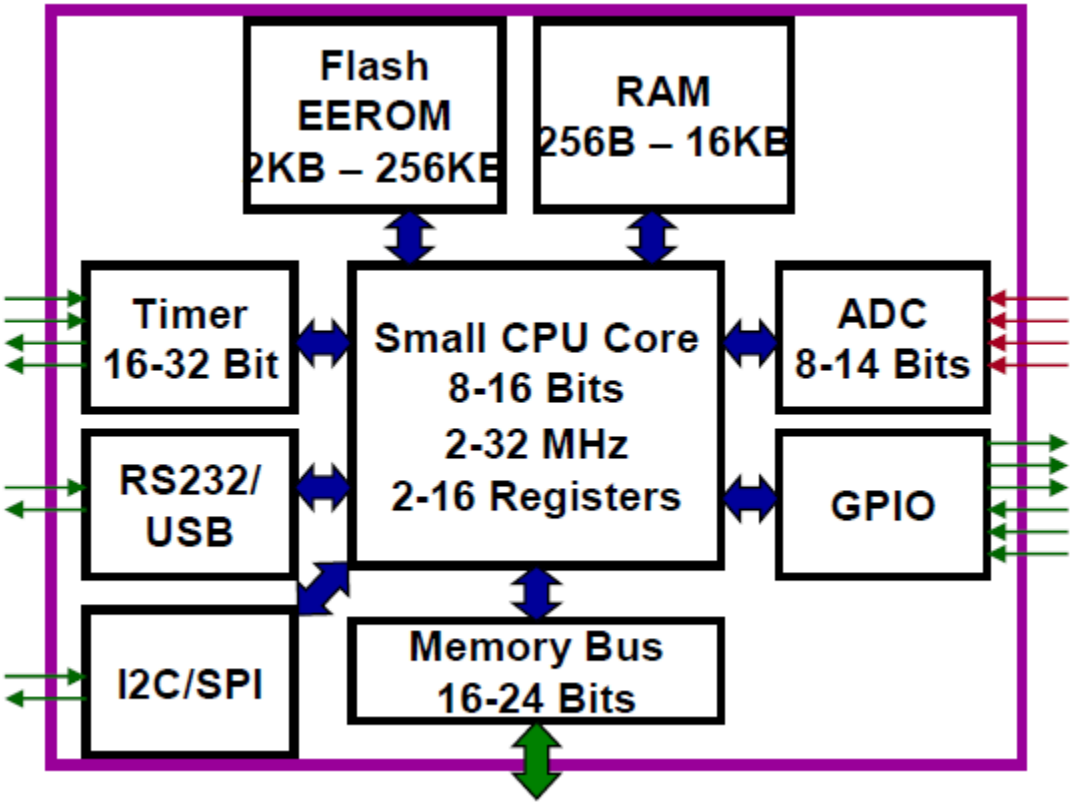
IcProg

www.icprog.com



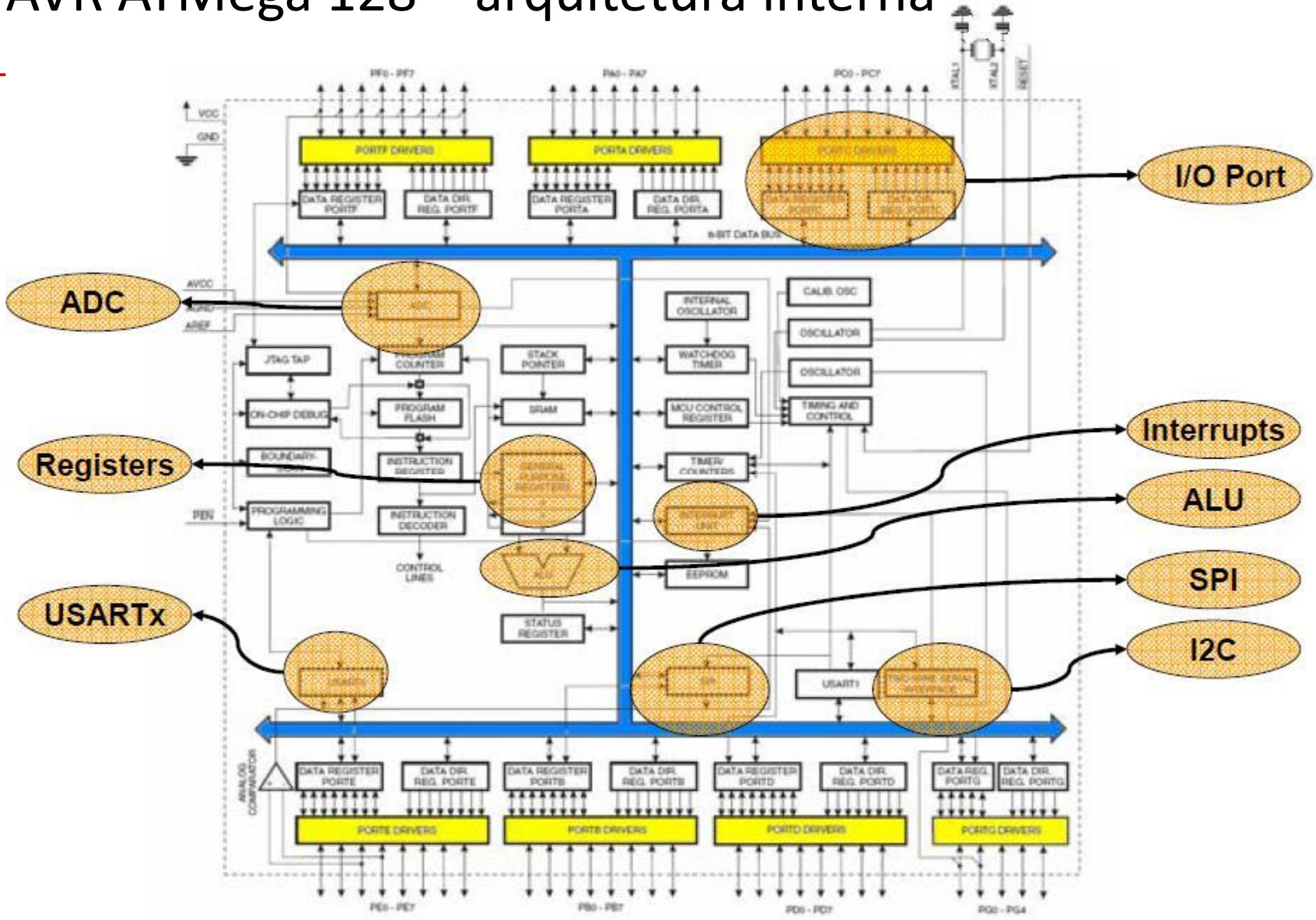
Plataforma AVR

AVR – arquitetura interna



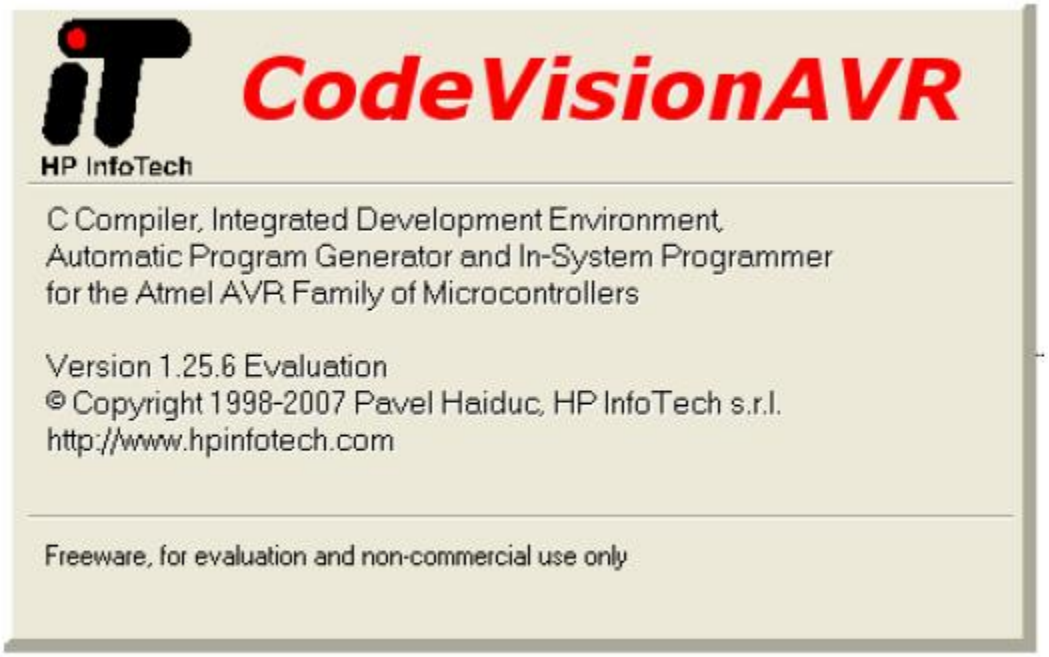
- **Core RISC com ~100 instruções**
- **Velocidades de clock modestas (4-16 MHz)**
- **Barramento de 8 bits e 32 registradores de uso geral de 8 bits**
- **Flash programável *in-circuit* (~1000 ciclos)**
- **Pequena quantidade de EEPROM e SRAM**
- **Diversos periféricos embarcados *(UART, SPI, ADC, PWM, WDT)***

AVR ATMega 128 – arquitetura interna



AVR – IDE

www. hpinfotech.com



AVR vs. PIC

PIC

- **Disponibilidade em encapsulamento DIP para uso direto em placas de prototipação**
- **Valores na ordem de US$1 a US$9**
- **Desvantagem: Custo das ferramentas – Compilador ~US$200; Debug ~US$150.**

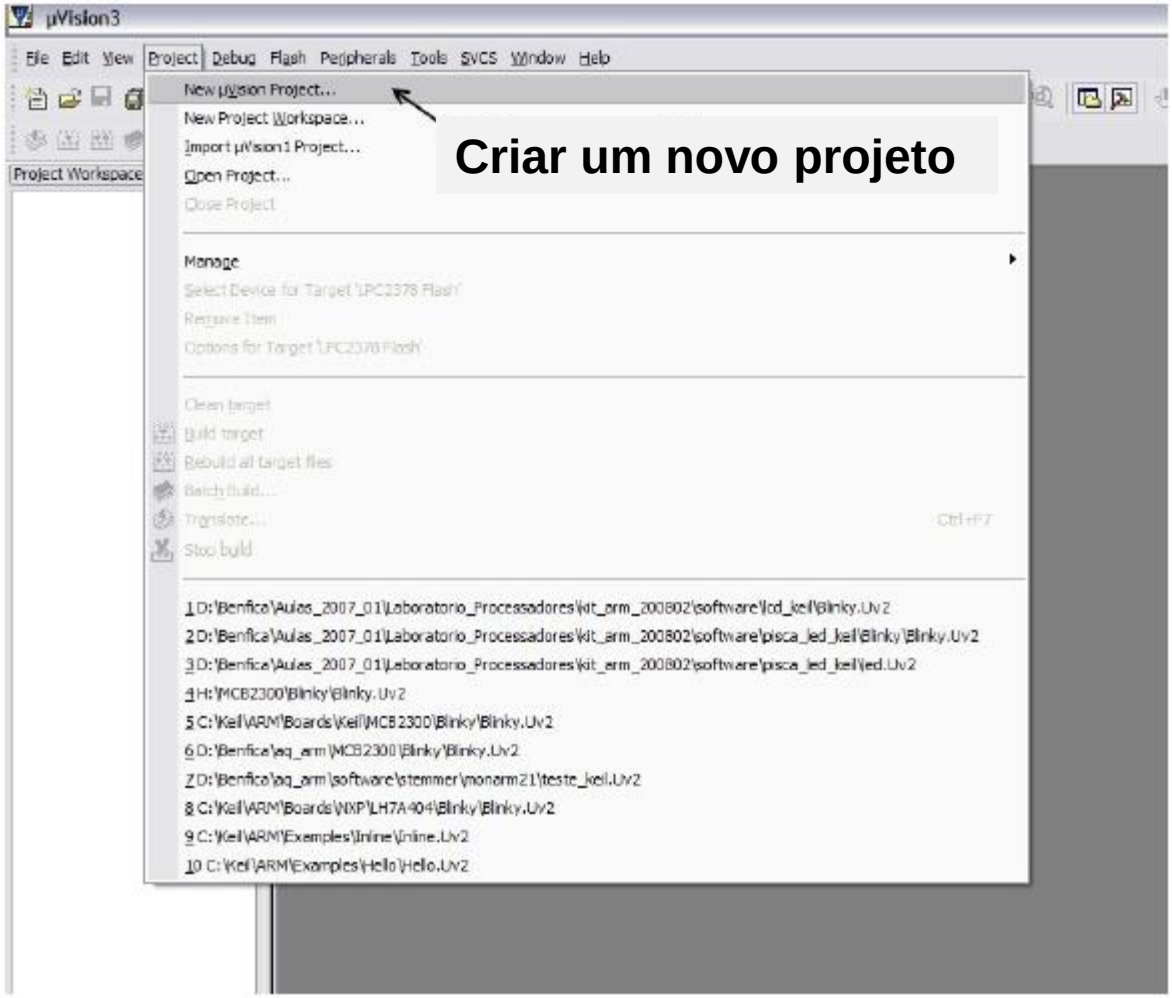
AVR

- **Ferramentas gratuitas (gcc)**
- **IDE disponível para Windows, Mac e Linux, incluindo debug**
- **AVR-Dragon da Atmel custa em torno de US$50 e pode ser utilizado para programação e depuração**
- **Desvantagem: poucas famílias de dispositivos disponíveis (pouca variedade) ao se comparar com o PIC**

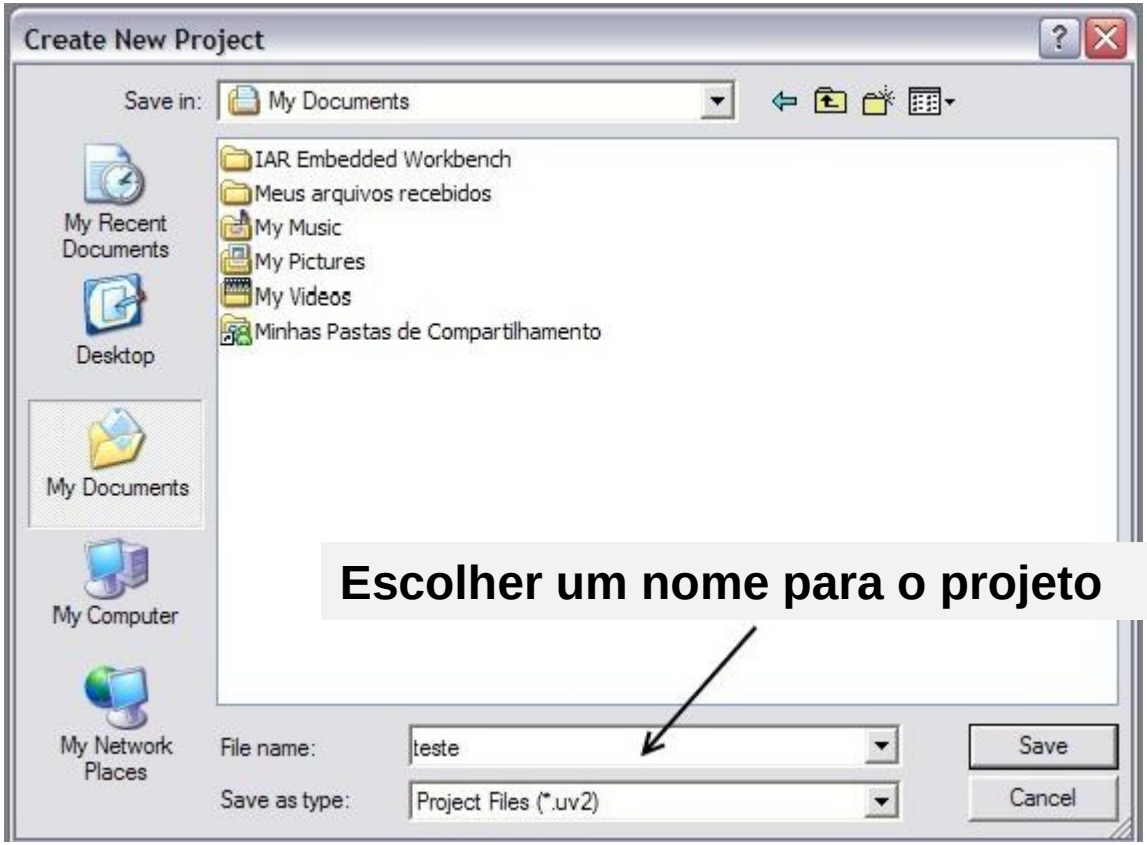
Tutorial Keil

Tutorial: criação de projeto e geração de binário para ARM
“Criação de novo projeto”

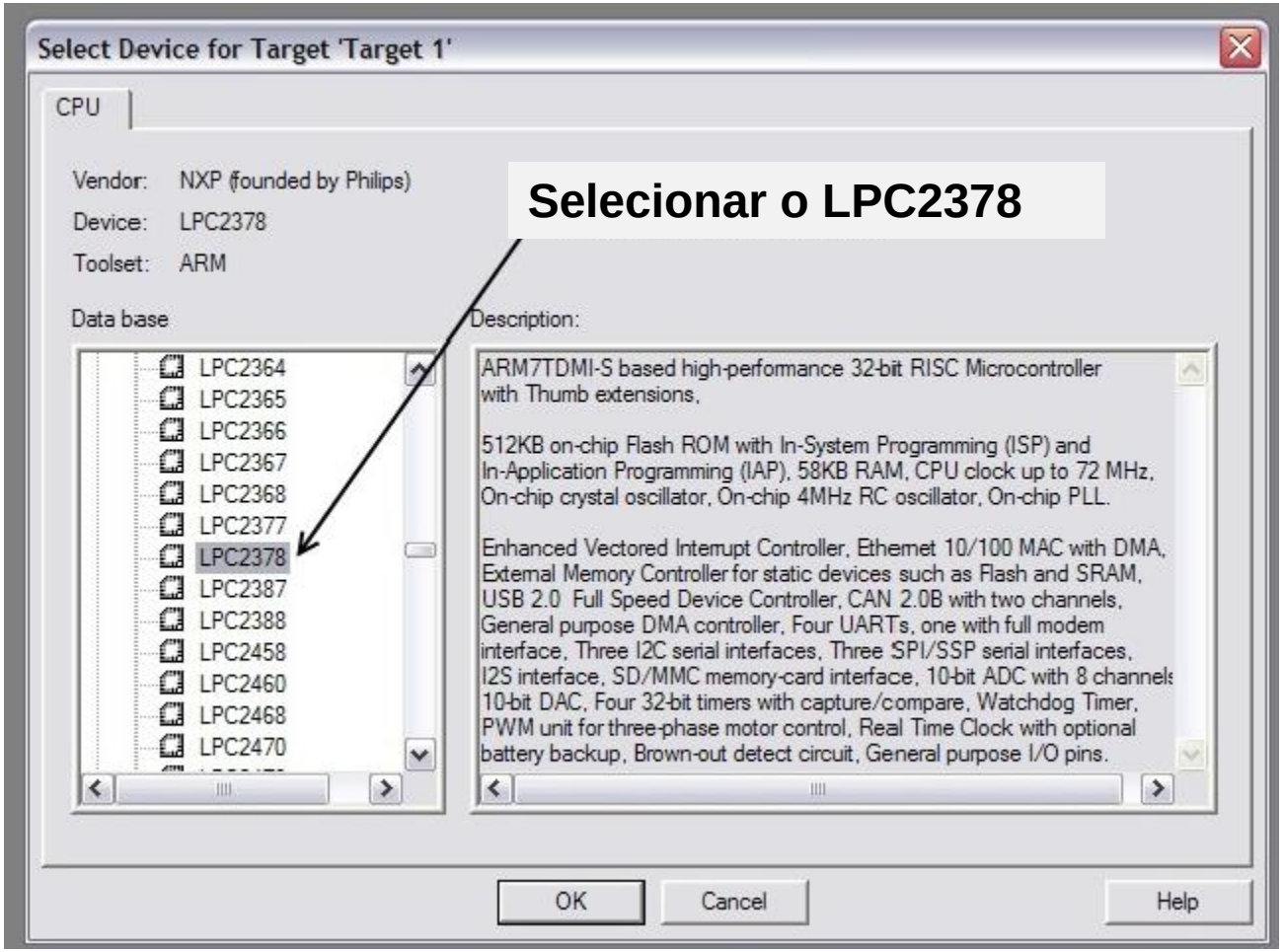
Keil – IDE para diversas arquiteturas (ARM, 8051, PIC, ...)



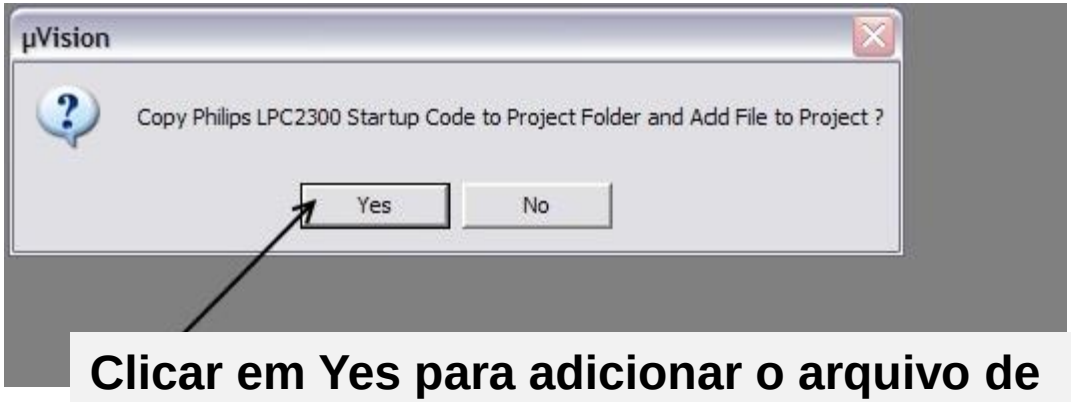
Tutorial: criação de projeto e geração de binário para ARM
“Escolha do diretório”



Tutorial: criação de projeto e geração de binário para ARM
“Escolha do device ARM7”

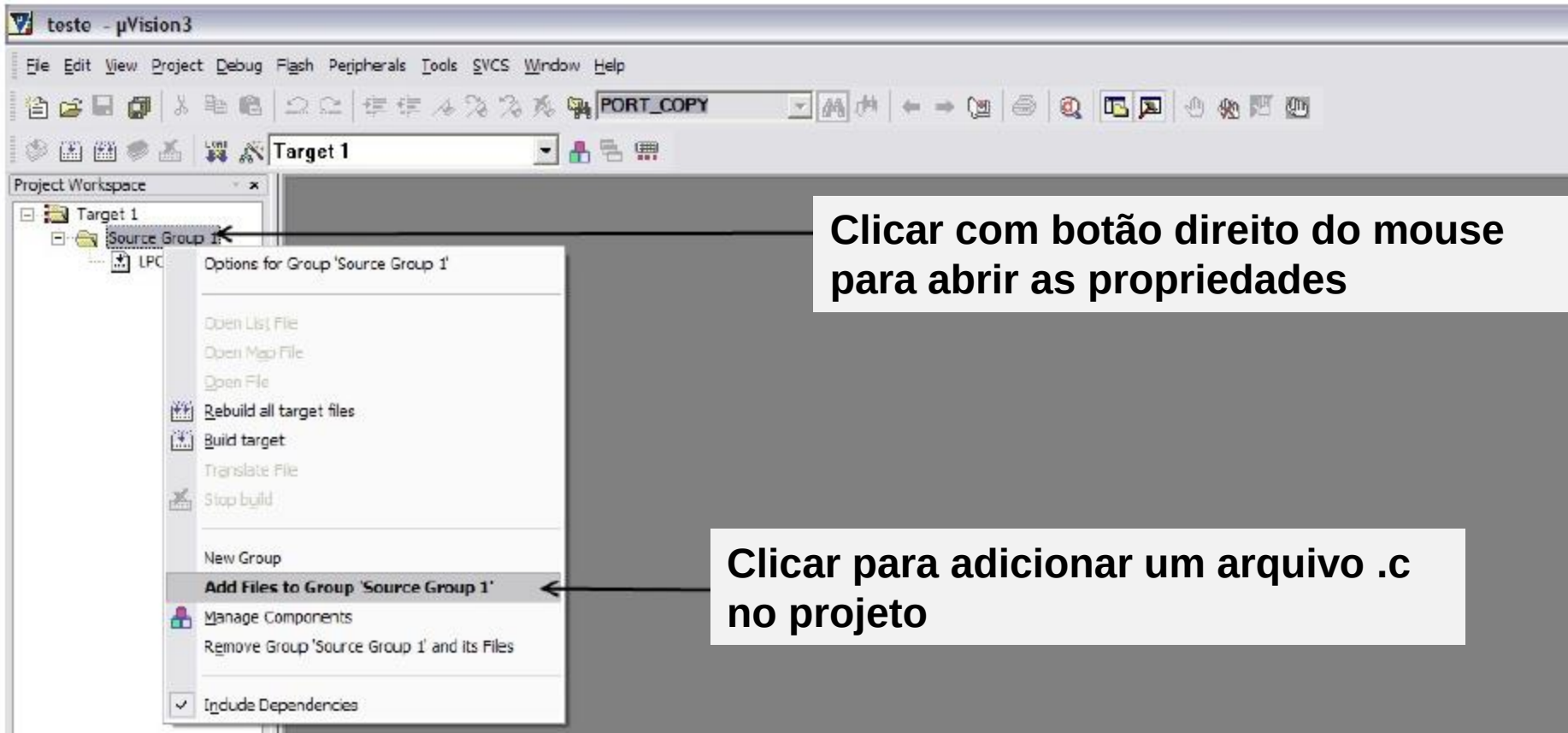


Tutorial: criação de projeto e geração de binário para ARM “Adicionar inicialização”

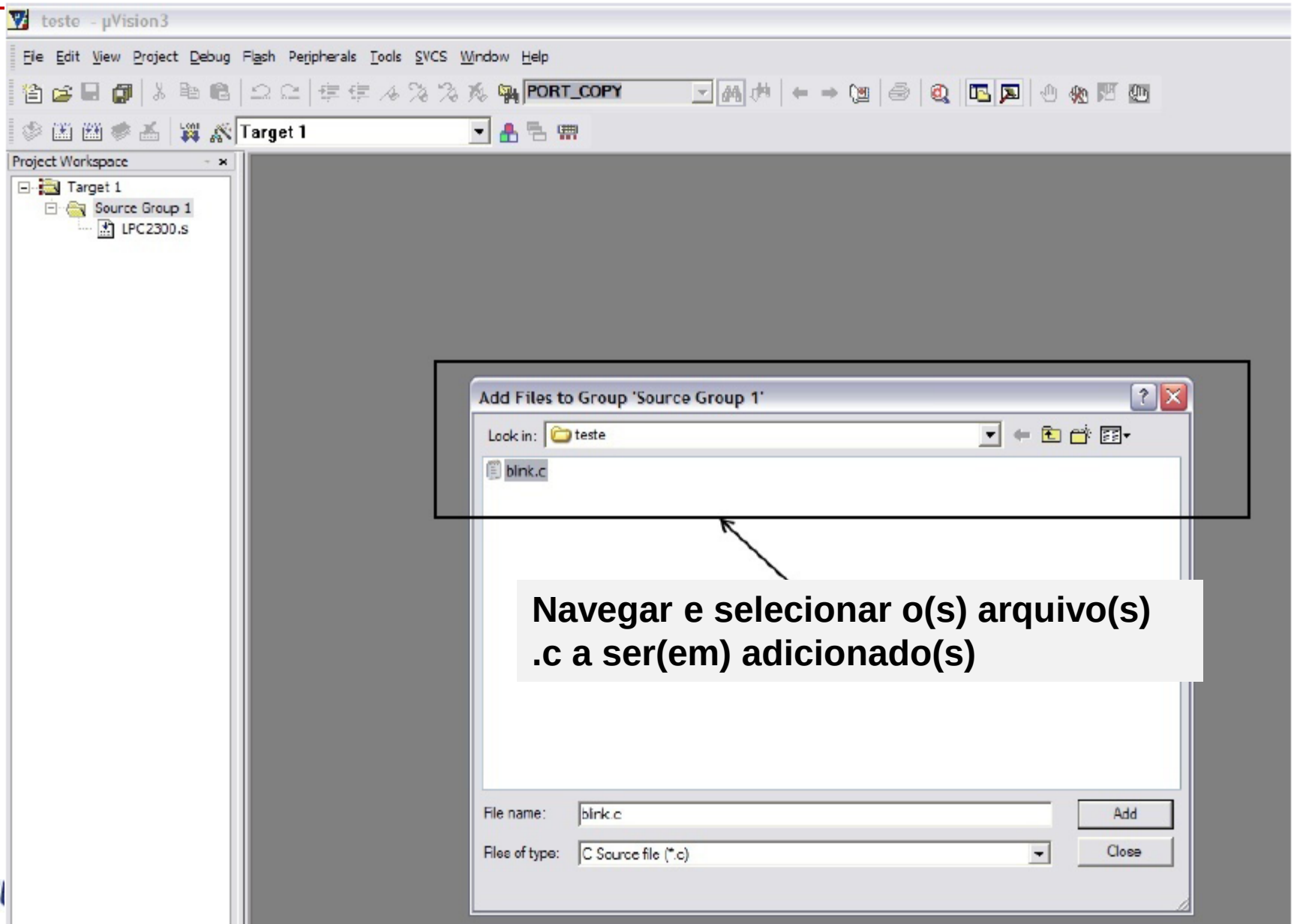


Clicar em Yes para adicionar o arquivo de inicialização do LPC2378

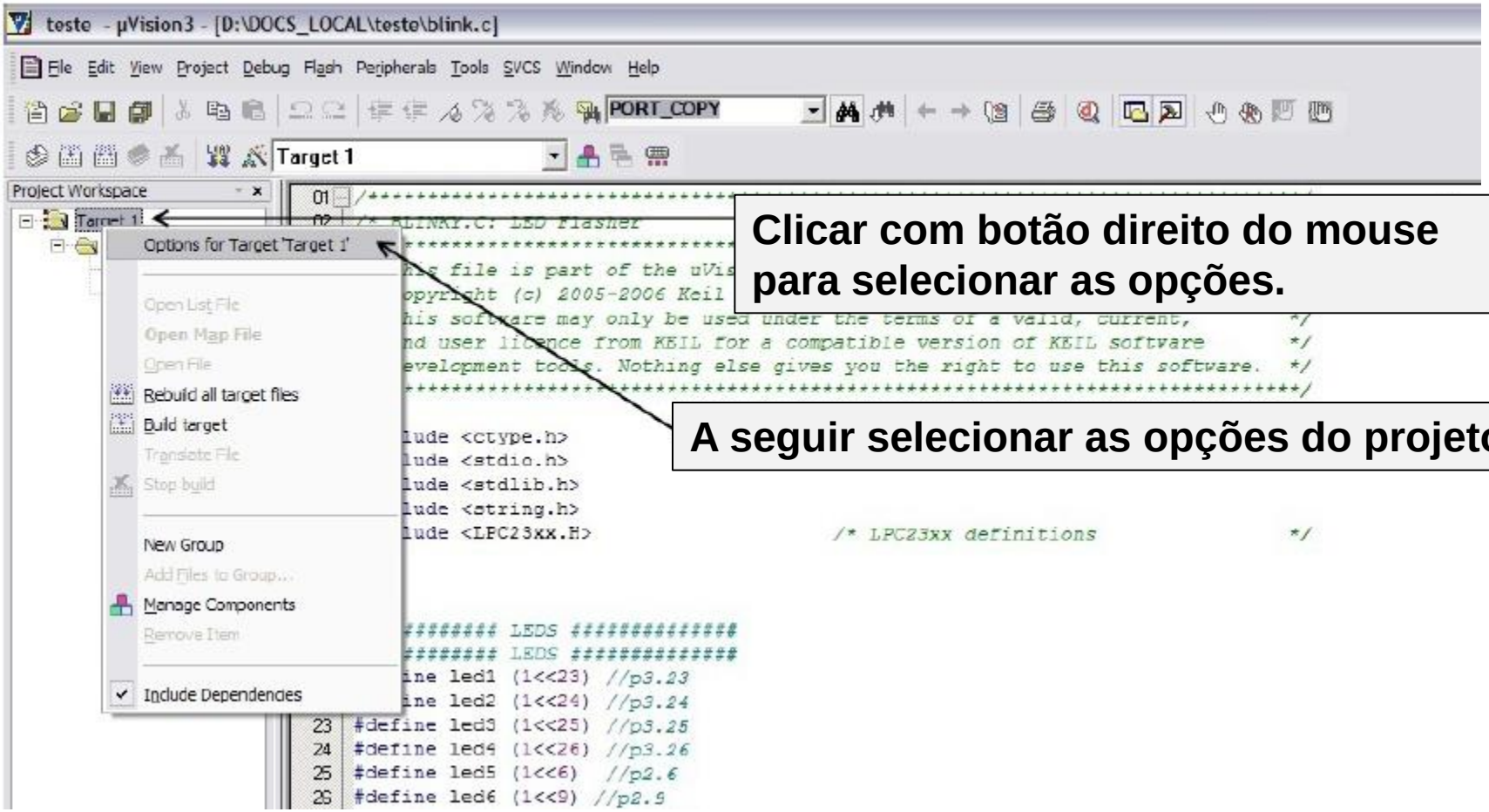
Tutorial: criação de projeto e geração de binário para ARM
“Criar um novo arquivo”



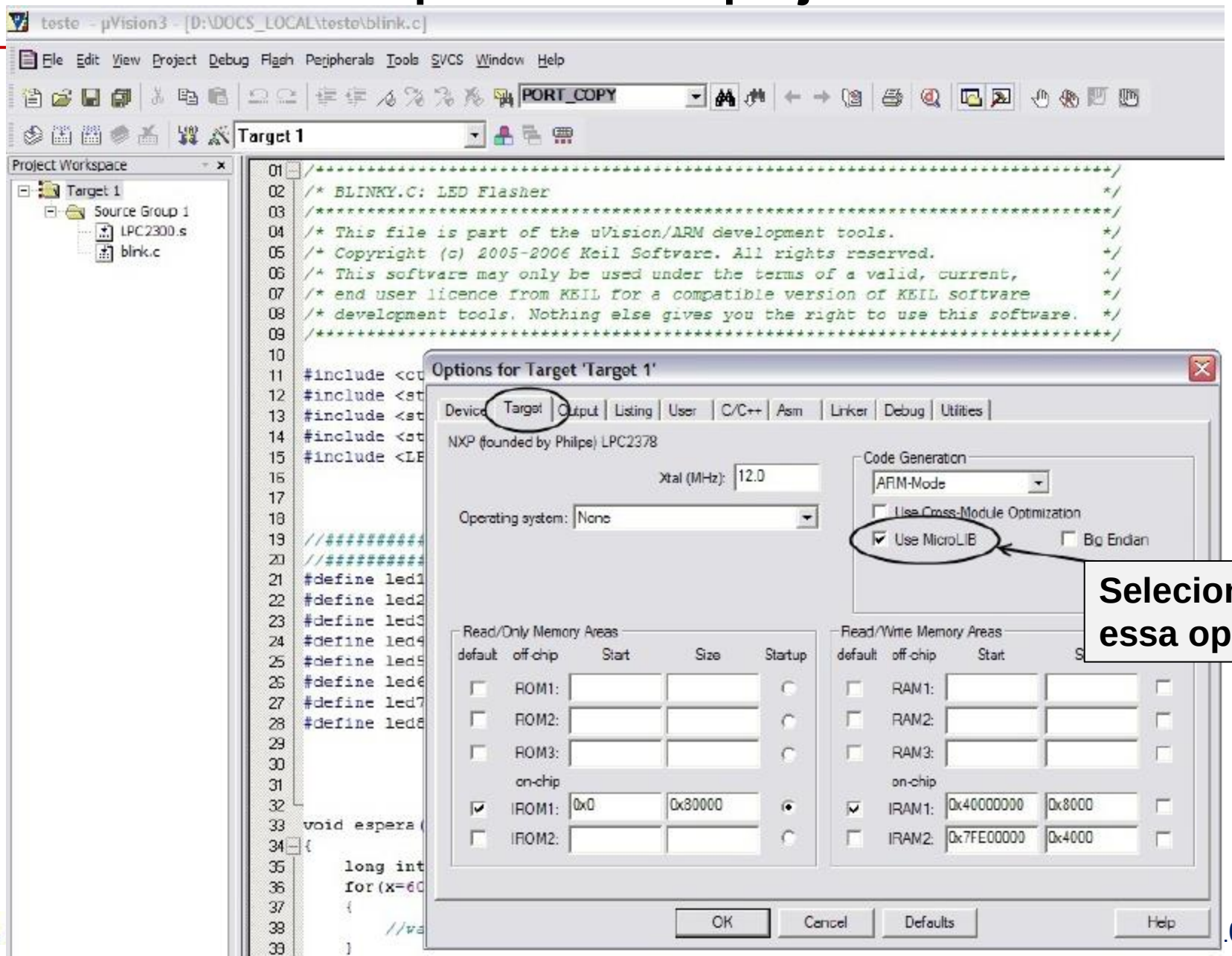
Tutorial: criação de projeto e geração de binário para ARM
“Selecionar arquivo”



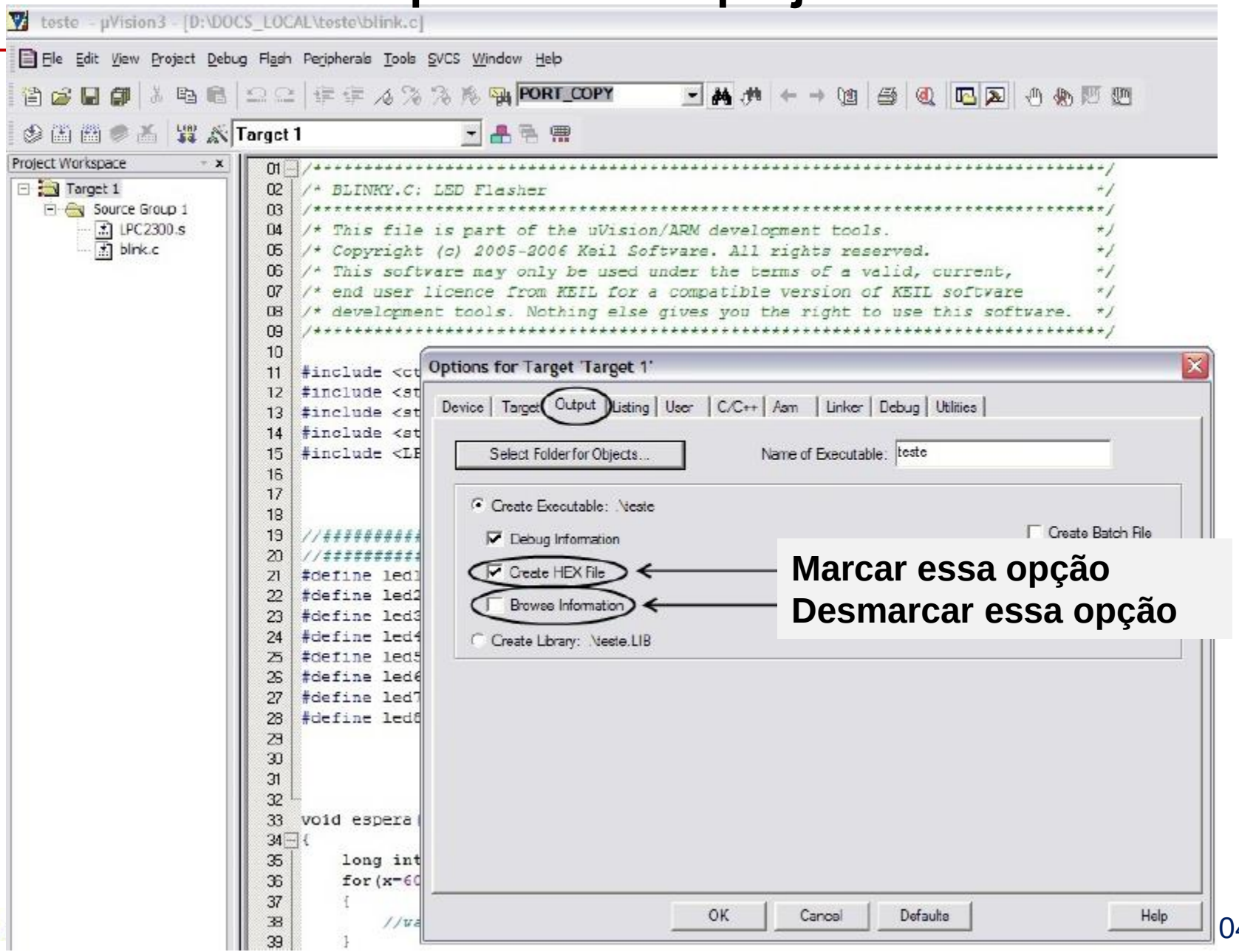
Tutorial: criação de projeto e geração de binário para ARM
“Propriedades do projeto”



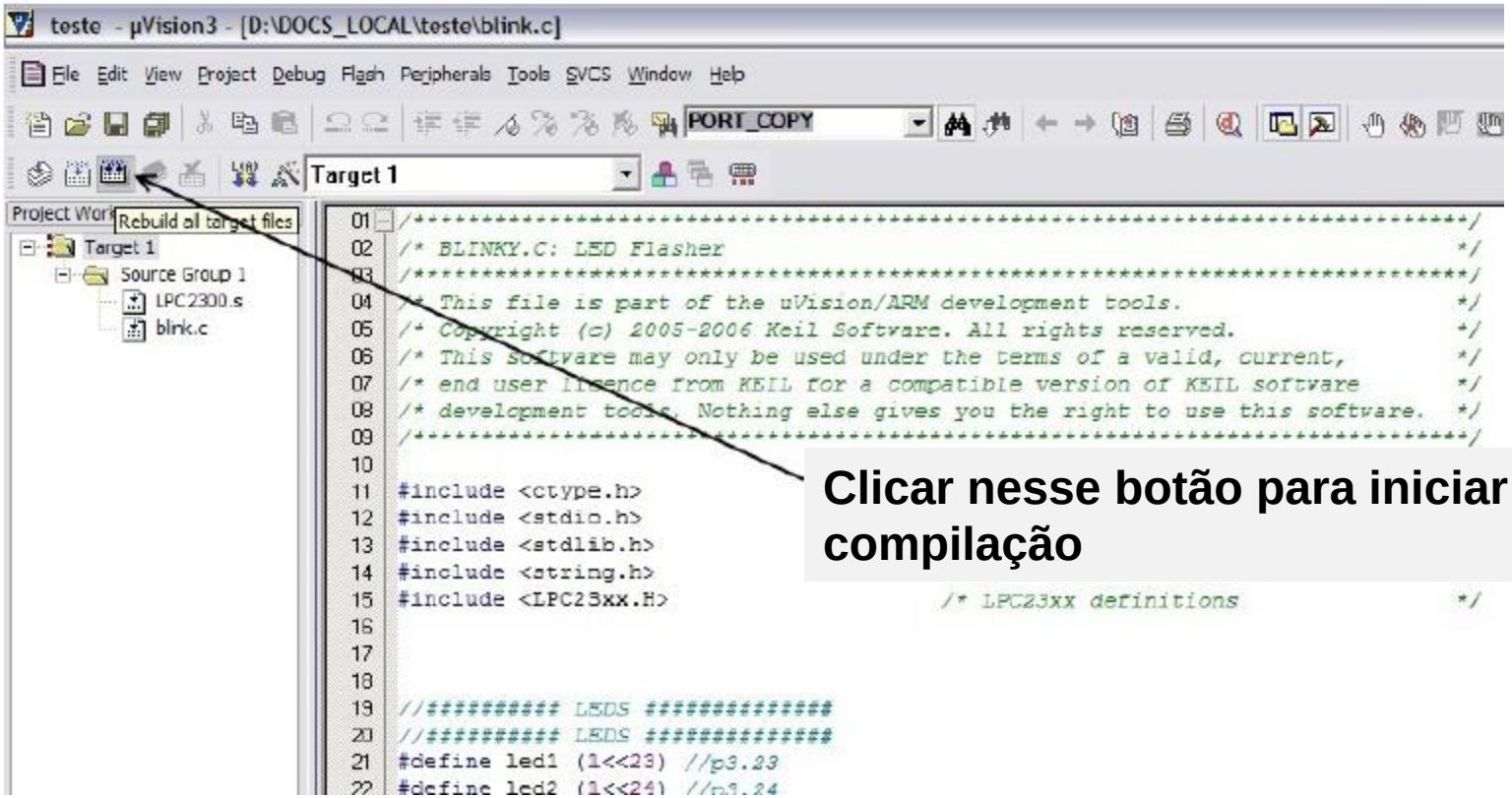
Tutorial: criação de projeto e geração de binário para ARM
“Propriedades do projeto”



Tutorial: criação de projeto e geração de binário para ARM
“Propriedades do projeto”

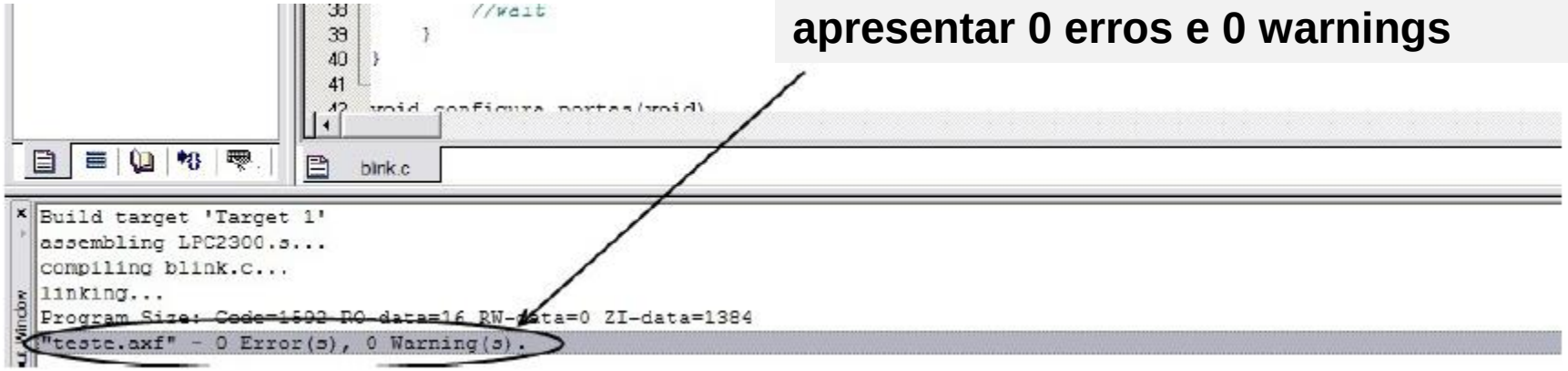


Tutorial: criação de projeto e geração de binário para ARM "Compilação – geração do código objeto"



Tutorial: criação de projeto e geração de binário para ARM
“Resultado da compilação”

Se o programa estiver ok, deverá apresentar 0 erros e 0 warnings



Estudo de caso

Estudo de caso: Controlador de uma máquina de venda de refrigerantes – Prof. Ney Calazans

Projetar o circuito de controle para gerência das operações de uma máquina de venda de refrigerantes.

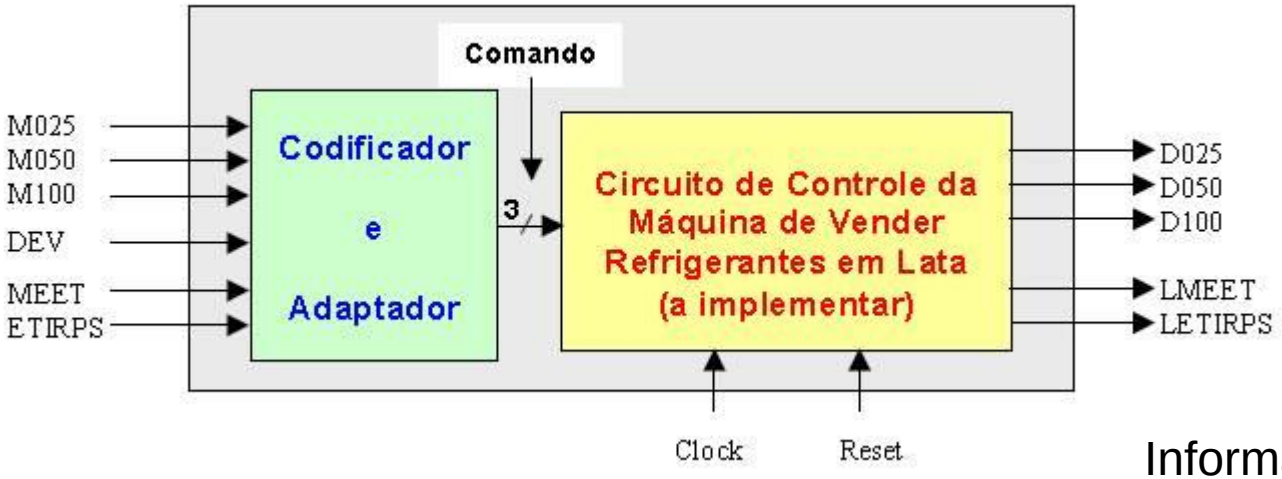
Especificação:

A máquina fornece dois tipos de refrigerantes, denominados MEET e ETIRPS. Estes estão disponíveis para escolha pelo usuário a partir de duas teclas no painel com o nome dos refrigerantes. Ambos refrigerantes custam R$1,50 e existe na máquina uma fenda para inserir moedas com um sistema eletromecânico capaz de reconhecer moedas de R$1,00, R$0,50 e R$0,25, e capaz de devolver automaticamente qualquer outro tipo de moeda ou objeto não reconhecido. Além disso, durante a compra, o usuário pode desistir da transação e apertar a tecla DEV que devolve as moedas inseridas até o momento. Somente após acumular um crédito mínimo de R$1,50 o usuário pode obter um refrigerante. A devolução de excesso de moedas é automática sempre que o valor inserido antes de retirar um refrigerante ultrapassar R$1,50. Uma terceira simplificadora consiste em ignorar a composição exata das moedas inseridas na máquina, atendo-se apenas ao montante total inserido.

Link para a especificação completa.

Estudo de caso: Controlador de uma máquina de venda de refrigerantes – Prof. Ney Calazans

Solução: Diagrama de blocos



Informações fornecidas pelos sensores

Informações enviadas para os atuadores (eletro-mecânicos

Estudo de caso: Controlador de uma máquina de venda de refrigerantes – Prof. Ney Calazans

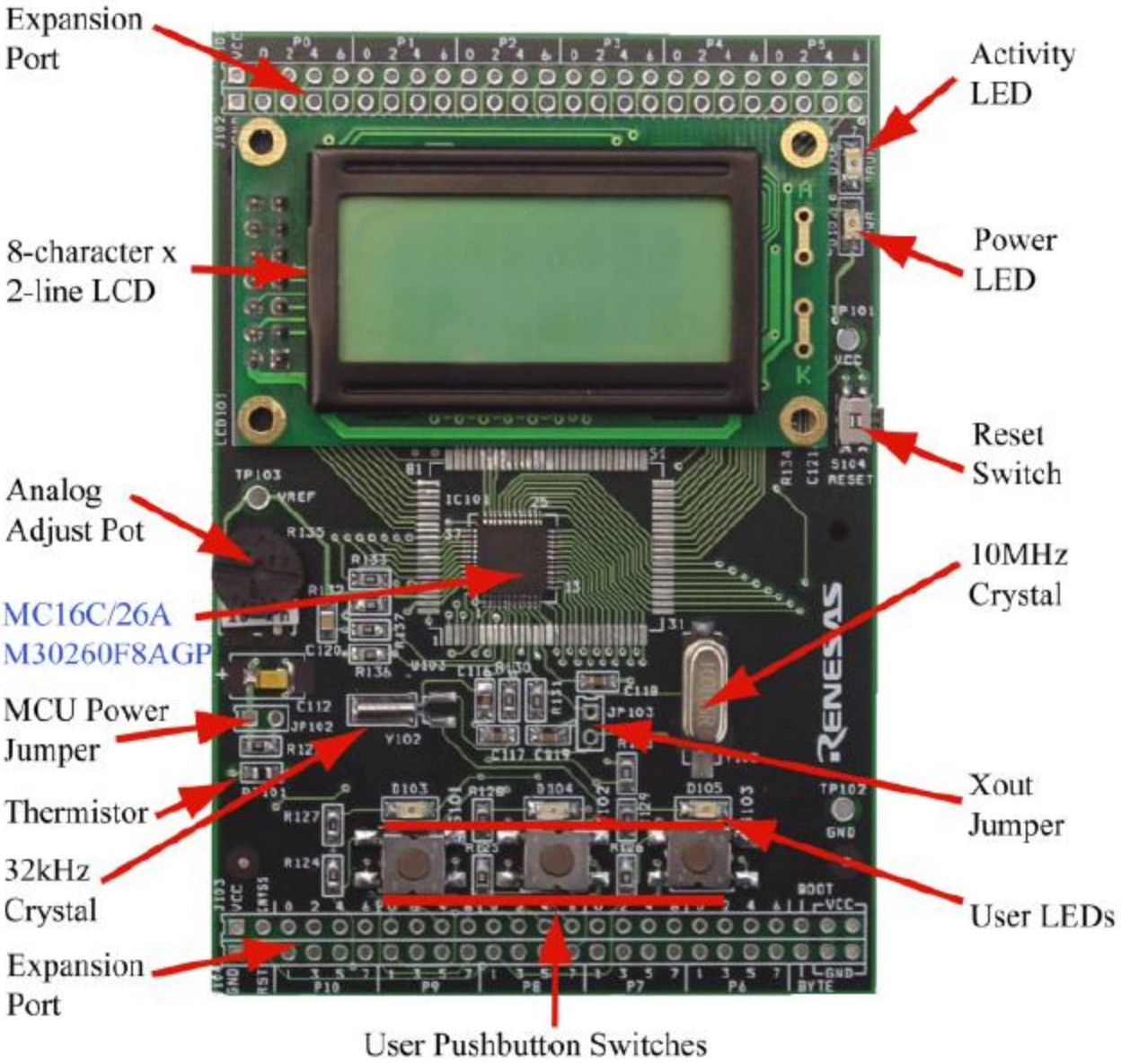
Solução: Tabela de estados

Estado Atual	Comando de Entrada						
	Nada	M025	M050	M100	DEV	MEET	ETIRPS
S000		S025			S000	S000	
S025		S050			S000, D025		
S050						S050	
S075							
S100	S100			S150, D050			
S125							
S150							

Estudo de caso: Controlador de uma máquina de venda de refrigerantes

Programa prototipado na plataforma da Renesas

- **Renesas foi criada por divisões da Mitsubishi e Hitachi**
- **Utilizado microcontrolador da família M16C/26**
- **M16C/26 – MCU de 16 bits com CPU da série M16C/60**
- **Kit QSK26A conectado via USB (usado também como fonte)**
- **Manual de hardware M16C_Hardware_Manual_Rev0.9.pdf**



Aplicação com smart-card I²C e código de barras