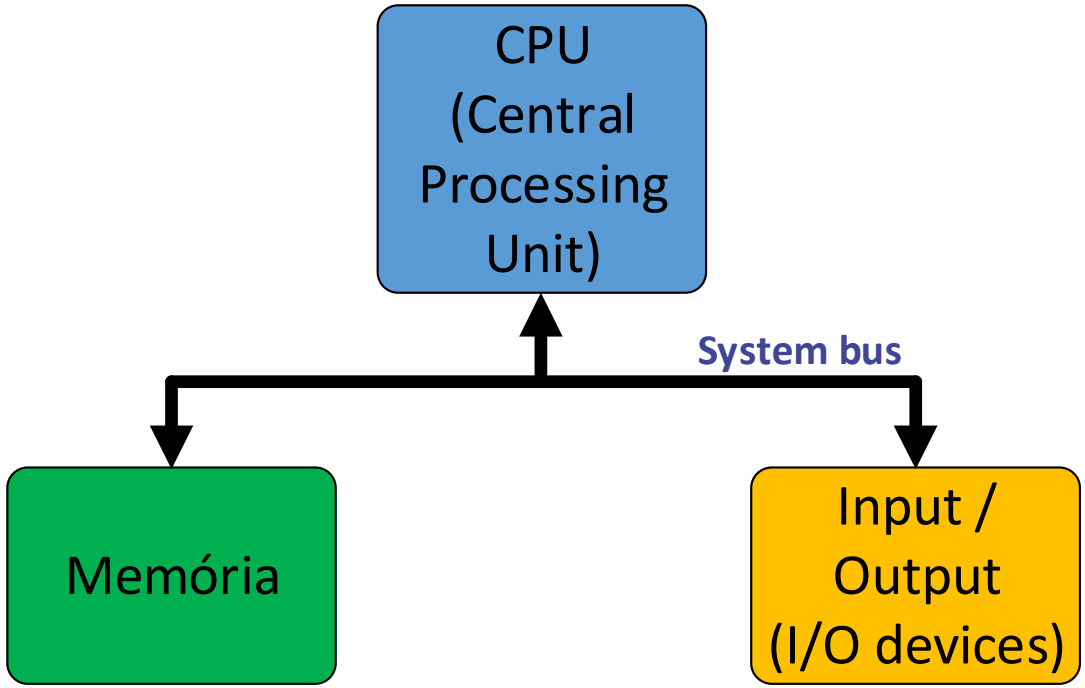
Aula prática 1

- Conceitos básicos de Arquitetura de Computadores.
- Programação em linguagem *assembly*: estrutura de um programa e instruções básicas do MIPS.
- Apresentação do MARS

Bernardo Cunha, José Luís Azevedo

Computador: the *big picture*



- **CPU** (ou microprocessador) – executa sequencialmente instruções
- **Memória** – armazena o programa (conjunto de instruções) e dados
- **I/O devices** – comunicação com o exterior
- **System Bus** – interliga os subsistemas

Visão simplificada do CPU

- O CPU é um sistema digital complexo. Numa visão simplificada, podemos descrevê-lo como contendo três blocos fundamentais:
  - **ALU** (Unidade Aritmética e Lógica)
  - **Registos**
  - **Unidade de controlo**
- **ALU** – realiza as operações aritméticas e lógicas mais comuns (por exemplo, adição, multiplicação, divisão, AND, OR, NOR, XOR)
- **Registos** – elementos de armazenamento (memória) localizados dentro do CPU
  - Usados para diversos fins
  - Um registo armazena uma única unidade de informação (ex. se o registo for de 8 bits pode armazenar 1 byte)
- **Unidade de controlo** - responsável pela coordenação dos vários blocos do CPU, durante a execução de uma instrução

Visão simplificada do CPU – Registos

- Na perspetiva do utilizador, os registos mais importantes são:
  - **Program Counter (PC)**
  - **Registos de utilização geral**, para armazenamento de dados (geralmente em número muito reduzido: por exemplo 32)
- **Program Counter**
  - Usado para guardar o endereço da memória onde se situa a próxima instrução a ser executada
  - No CPU, após a leitura do código de uma instrução, o valor do PC é atualizado para apontar para a instrução seguinte
- Os **registos de utilização geral** são, habitualmente, referenciados por nomes (e.g., no MIPS: $0, $1,…,$31)

Níveis de Representação

High-level language
program (in C)

```
unsigned char toUpper(unsigned char c)
{
    if(c >= 'a' && c <= 'z')
        return (c - 0x20);
    else
        return c;
}
```

Compiler

Assembly language
program (for MIPS)

```
toUpper:    addiu $5,$4,-97
            sltiu $1,$5,26
            or    $2,$4,$0
            beq   $1,$0,else
            addiu $2,$4,-32
else:       jr    $31
```

Assembler

Binary machine language
program (for MIPS)

```
00100100100001001111111110011111   (0x2485ff9f)
00101100101000010000000000011010   (0x2ca1001a)
00000000100000000001000000100101   (0x00801025)
00010000001000000000000000000001   (0x10200001)
00100100100001011111111111100000   (0x2482ffe0)
00000011111000000000000000001000   (0x03e00008)
```

Assembly

- Linguagem básica de programação de microprocessadores, legível por humanos
- Conjunto de instruções que realizam operações simples
  - Somar o conteúdo de 2 registos
  - Subtrair o conteúdo de dois registos
  - Inicializar um registo com um valor
  - Transferir um valor de um registo interno para a memória
- Exemplos:

```
add $1,$5,$7          # $1 = $5 + $7
sub $3,$4,$2          # $3 = $4 - $2
ori $6,$0,0x1234      # $6 = $0 | 0x1234
                      # $6 = 0x1234
```

Código máquina

- Sequência de bits que codifica cada uma das instruções *assembly*
- Exemplos:

Instrução *assembly*	**Código máquina**
`add $1,$5,$7`	`0x00A70820`
`sub $3,$4,$2`	`0x00821822`
`ori $6,$0,0x1234`	`0x34061234`

- É gerado
  - Por um **compilador**, quando o programa é escrito numa linguagem de alto nível (por exemplo C)
  - Por um ***assembler*** quando o programa é escrito em linguagem ***assembly***

O MIPS

- É um **microprocessador de 32 bits**, isto é:
  - cada **registo interno** armazena uma *word* de **32 bits**
  - a **ALU** opera sobre quantidades de **32 bits**
- Tem **32 registos** internos de uso geral, com a designação nativa em *assembly* **$0**, **$1**, **$2**, …, **$31**
- Estes registos são normalmente referenciados nos programas por um nome lógico (facilita a aplicação de uma convenção de utilização, a ver mais tarde)
  - **$a0**, **$a1**, **$a2**, **$a3**
  - **$t0**, **$t1**, **$t2**, …, **$t9**
  - **$s0**, **$s1**, **$s2**, …, **$s7**
  - **$v0**, **$v1**
  - **$ra**
- O registo **$0** é um caso particular, uma vez que não permite armazenamento e, quando lido, **retorna sempre o valor 0**

Exemplos de algumas instruções do MIPS

- Operações **aritméticas**

```
add  Rdst,Rsrc1,Rsrc2   # Rdst = Rsrc1 + Rsrc2
```

  - Ex: add $t0,$a0,$t1

```
sub  Rdst,Rsrc1,Rsrc2   # Rdst = Rsrc1 - Rsrc2
```

  - Ex: sub $a1,$s0,$t2

```
addi Rdst,Rsrc1,Imm     # Rdst = Rsrc1 + Imm
```

  - Ex: addi $t5,$a3,0x13F4

- Operações **lógicas *bitwise***

```
and Rdst,Rsrc1,Rsrc2    # Rdst = Rsrc1 & Rsrc2
or  Rdst,Rsrc1,Rsrc2    # Rdst = Rsrc1 | Rsrc2
ori Rdst,Rsrc1,Imm      # Rdst = Rsrc1 | Imm
```

  - Ex: ori $v0,$0,0x12 # $v0 = 0x12 (zero é o
    # elemento neutro do OR)

(Rdst – registo destino; Rsrc – Registo fonte)

Anatomia de um programa *Assembly*

```
        .data
        …                                   } Dados
        …
        .text
        .globl main
# label # Instrução       # comentário
main:   ori $t0,$0,3      # $t0 = 3          } Instruções
        ori $t2,$0,8      # $t2 = 8
        add $t1,$t0,$t0   # $t1 = $t0 + $t0
        add $t1,$t1,$t2   # $t1 = $t1 + $t2
        jr  $ra           # fim do programa
```

`.text`, `.data` -> ordens para o Assembler (diretivas)

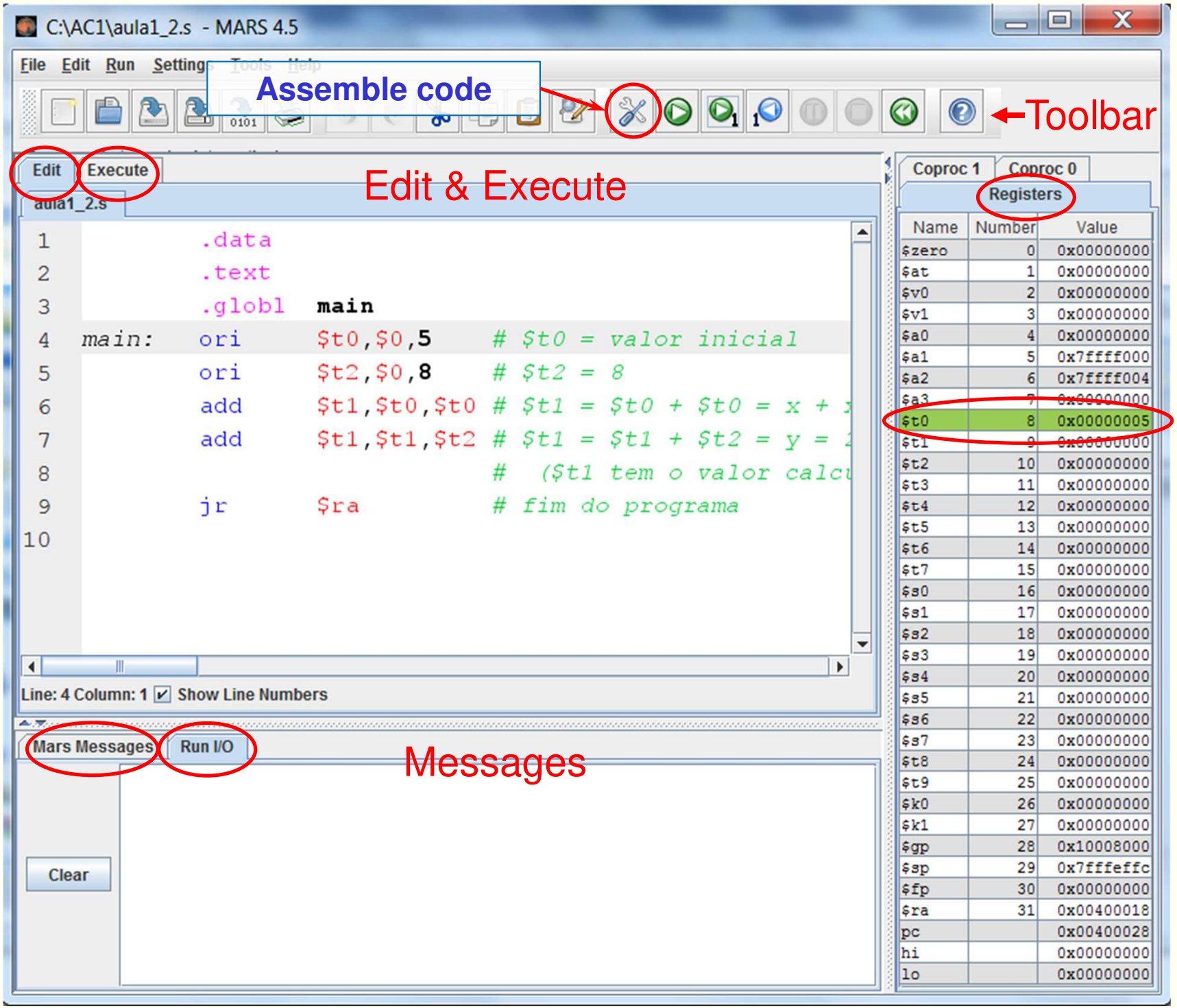
`nome:` -> label (nome dado a um endereço, e.g., main, str1,…)

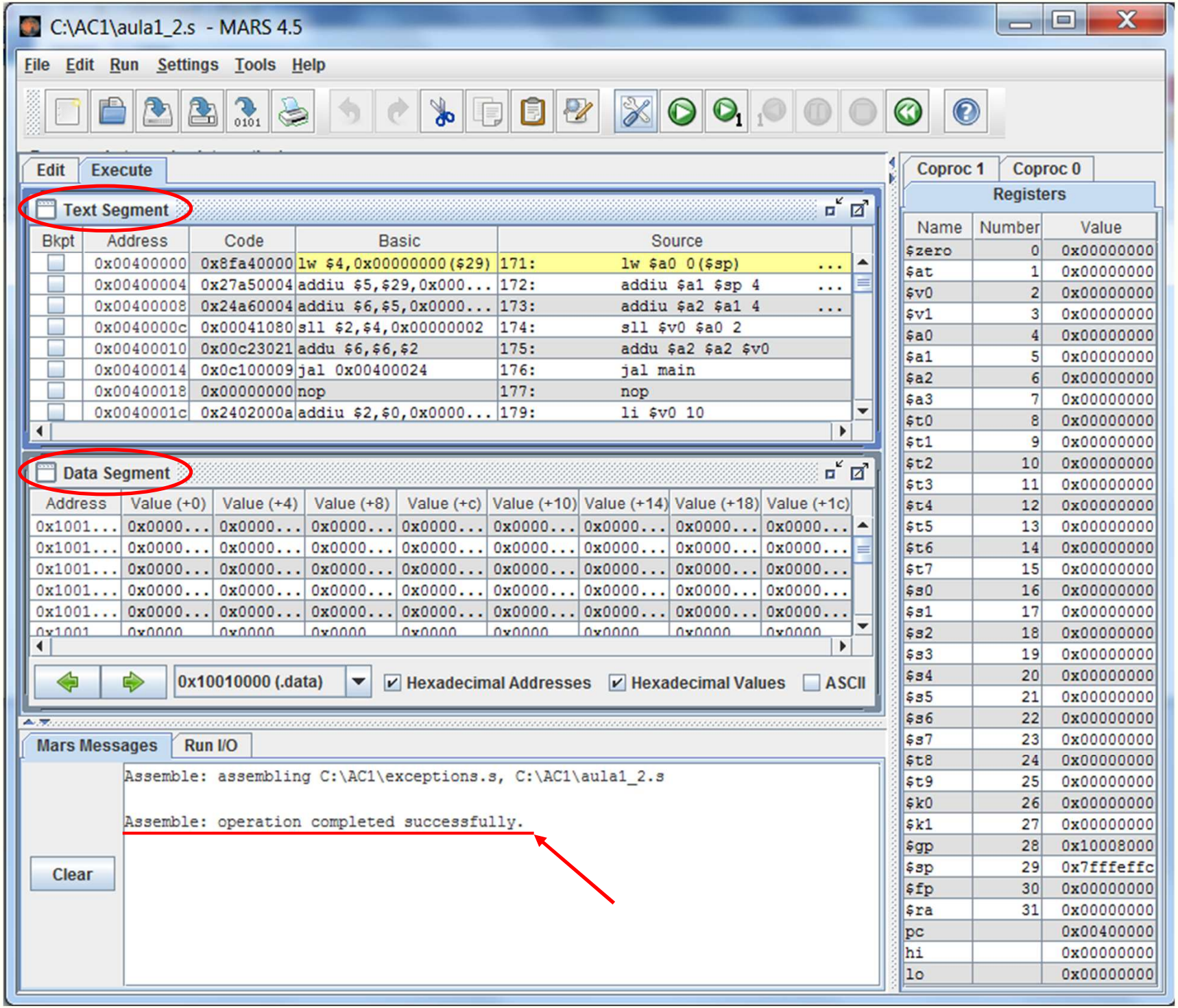
`ori` -> mnemónica de uma instrução

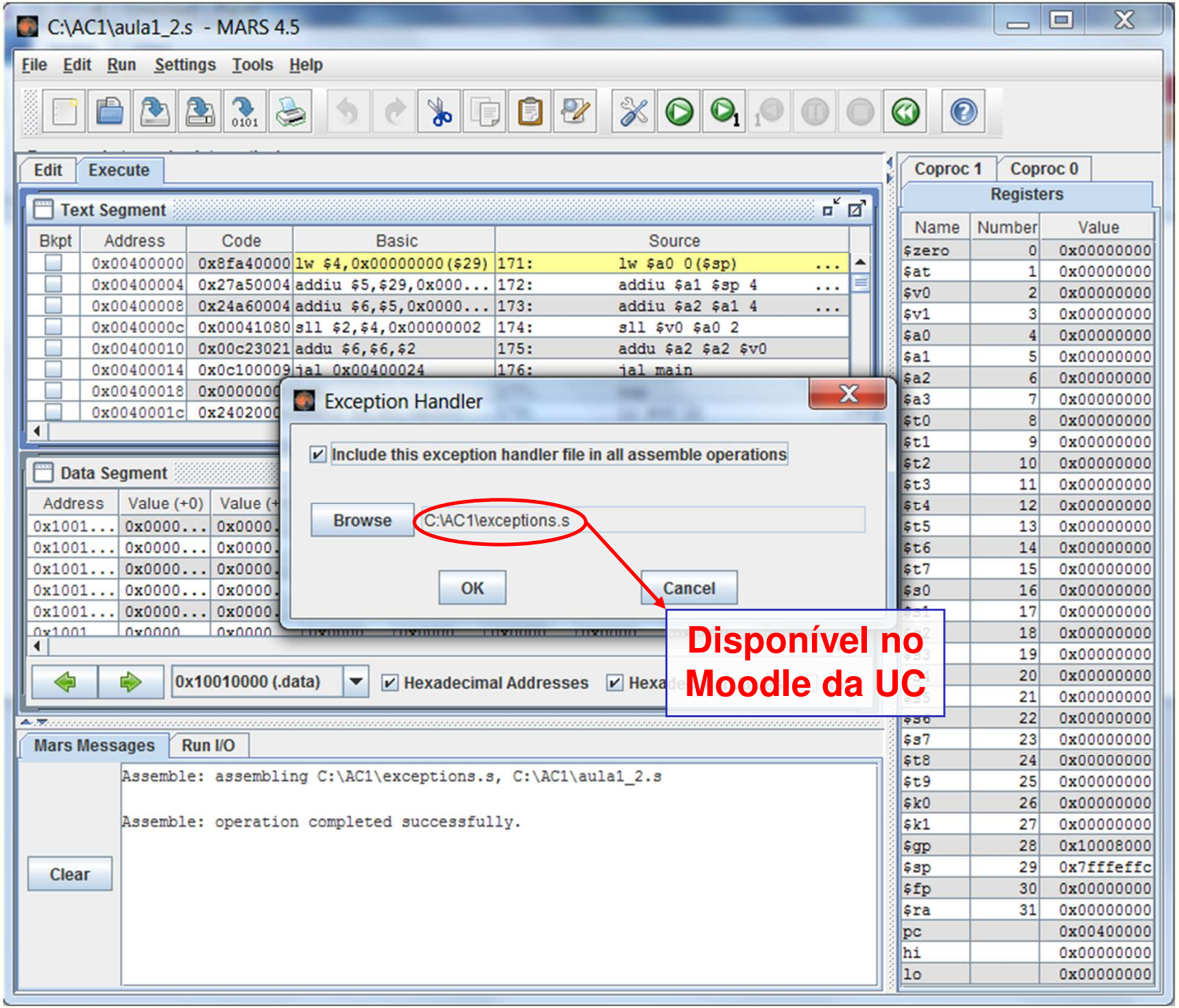
`$t0,$0,3` -> operandos de uma instrução

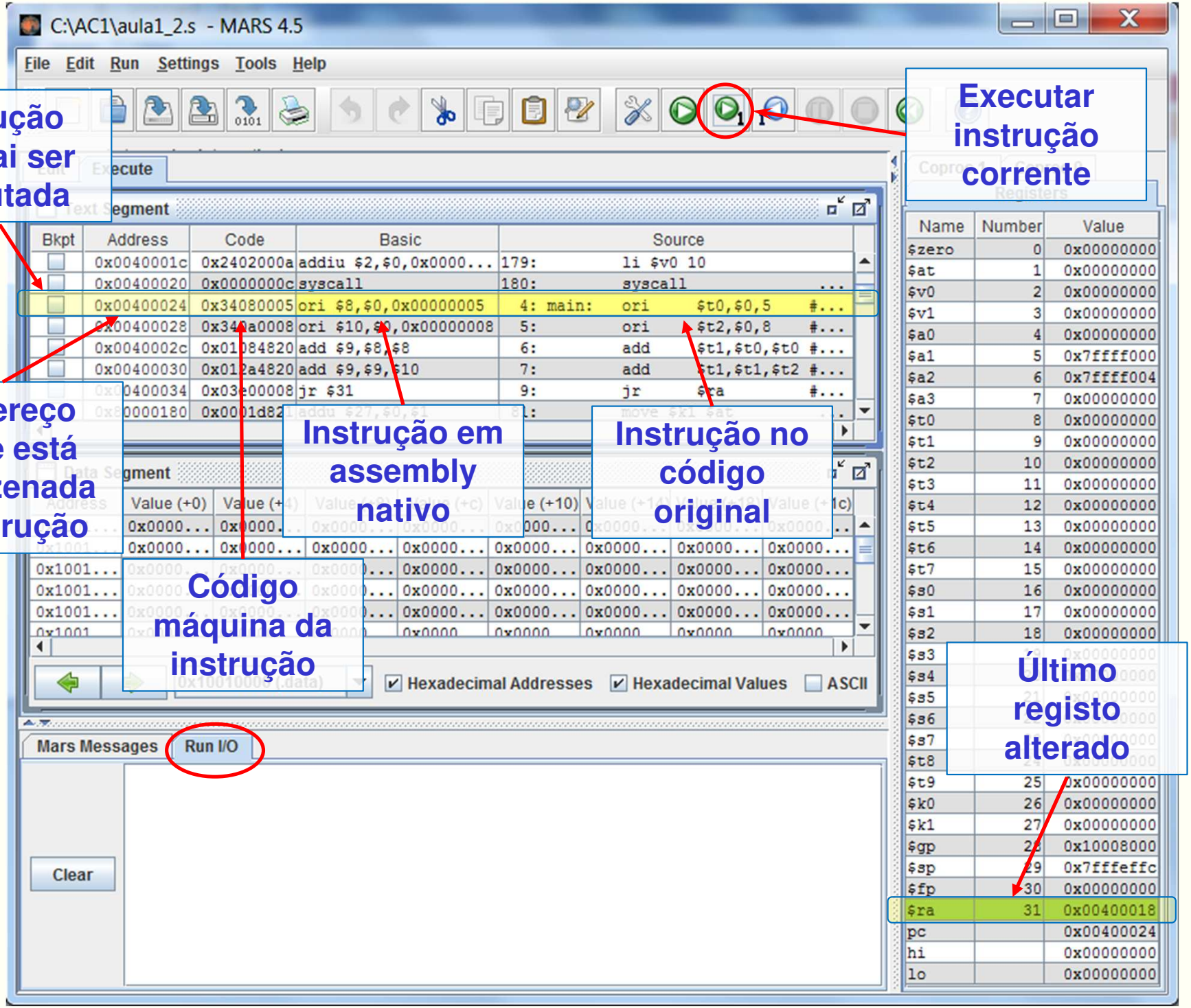
MARS – um ambiente de simulação para o MIPS

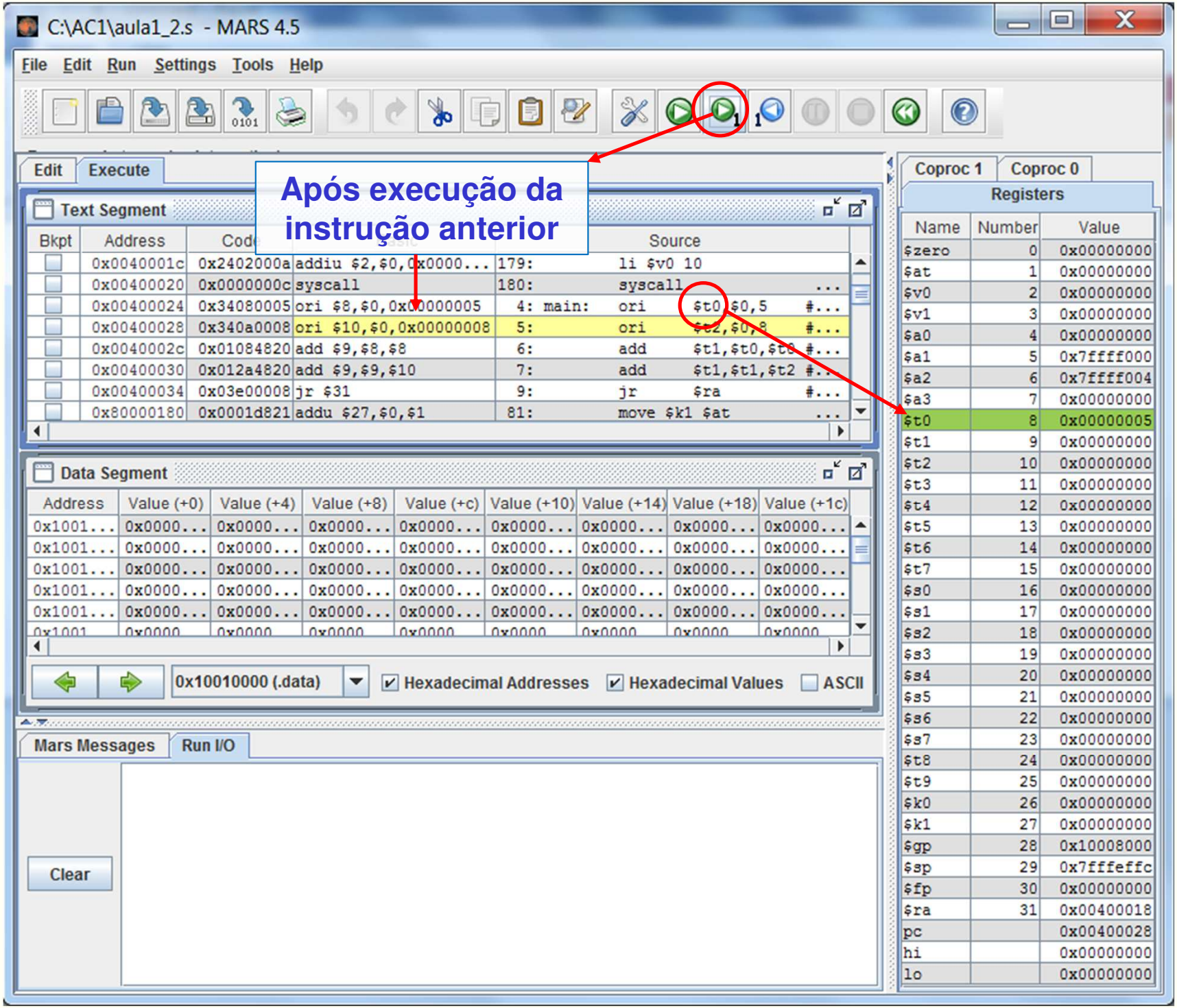
- MARS - MIPS Assembler and Runtime Simulator
- Ambiente integrado de Desenvolvimento (IDE), com:
  - Editor
  - Assembler
  - Simulador
- O simulador permite:
  - Execução do programa *assembly* de uma só vez, ou instrução a instrução (*single step execution*)
  - Acesso aos registos internos do CPU para visualizar/alterar o seu valor
  - Acesso à memória para visualizar/alterar o seu conteúdo
  - Interagir com o exterior (através de *system calls*)


C:\AC1\aula1_2.s - MARS 4.5
File Edit Run Setting Tools Help
Assemble code
Toolbar
Edit
Execute
Edit & Execute
aula1_2.s
1 .data
2 .text
3 .globl main
4 main: ori $t0,$0,5 # $t0 = valor inicial
5 ori $t2,$0,8 # $t2 = 8
6 add $t1,$t0,$t0 # $t1 = $t0 + $t0 = x +
7 add $t1,$t1,$t2 # $t1 = $t1 + $t2 = y =
8 # ($t1 tem o valor calcu
9 jr $ra # fim do programa
10
Line: 4 Column: 1 Show Line Numbers
Mars Messages
Run I/O
Messages
Clear
Coproc 1
Coproc 0
Registers
Name Number Value
$zero 0 0x00000000
$at 1 0x00000000
$v0 2 0x00000000
$v1 3 0x00000000
$a0 4 0x00000000
$a1 5 0x7ffff000
$a2 6 0x7ffff004
$t0 8 0x00000005
$t2 10 0x00000000
$t3 11 0x00000000
$t4 12 0x00000000
$t5 13 0x00000000
$t6 14 0x00000000
$t7 15 0x00000000
$s0 16 0x00000000
$s1 17 0x00000000
$s2 18 0x00000000
$s3 19 0x00000000
$s4 20 0x00000000
$s5 21 0x00000000
$s6 22 0x00000000
$s7 23 0x00000000
$t8 24 0x00000000
$t9 25 0x00000000
$k0 26 0x00000000
$k1 27 0x00000000
$gp 28 0x10008000
$sp 29 0x7fffeffc
$fp 30 0x00000000
$ra 31 0x00400018
pc 0x00400028
hi 0x00000000
lo 0x00000000


C:\AC1\aula1_2.s - MARS 4.5
File Edit Run Settings Tools Help
Edit Execute
Text Segment
Bkpt Address Code Basic Source
0x00400000 0x8fa40000 lw $4,0x00000000($29) 171: lw $a0 0($sp)
0x00400004 0x27a50004 addiu $5,$29,0x000... 172: addiu $a1 $sp 4
0x00400008 0x24a60004 addiu $6,$5,0x0000... 173: addiu $a2 $a1 4
0x0040000c 0x00041080 sll $2,$4,0x00000002 174: sll $v0 $a0 2
0x00400010 0x00c23021 addu $6,$6,$2 175: addu $a2 $a2 $v0
0x00400014 0x0c100009 jal 0x00400024 176: jal main
0x00400018 0x00000000 nop 177: nop
0x0040001c 0x2402000a addiu $2,$0,0x0000... 179: li $v0 10
Data Segment
Address Value (+0) Value (+4) Value (+8) Value (+c) Value (+10) Value (+14) Value (+18) Value (+1c)
0x10010000 (.data)
Hexadecimal Addresses
Hexadecimal Values
ASCII
Mars Messages Run I/O
Assemble: assembling C:\AC1\exceptions.s, C:\AC1\aula1_2.s
Assemble: operation completed successfully.
Clear
Coproc 1 Coproc 0
Registers
Name Number Value
$zero 0 0x00000000
$at 1 0x00000000
$v0 2 0x00000000
$v1 3 0x00000000
$a0 4 0x00000000
$a1 5 0x00000000
$a2 6 0x00000000
$a3 7 0x00000000
$t0 8 0x00000000
$t1 9 0x00000000
$t2 10 0x00000000
$t3 11 0x00000000
$t4 12 0x00000000
$t5 13 0x00000000
$t6 14 0x00000000
$t7 15 0x00000000
$s0 16 0x00000000
$s1 17 0x00000000
$s2 18 0x00000000
$s3 19 0x00000000
$s4 20 0x00000000
$s5 21 0x00000000
$s6 22 0x00000000
$s7 23 0x00000000
$t8 24 0x00000000
$t9 25 0x00000000
$k0 26 0x00000000
$k1 27 0x00000000
$gp 28 0x10008000
$sp 29 0x7fffeffc
$fp 30 0x00000000
$ra 31 0x00000000
pc 0x00400000
hi 0x00000000
lo 0x00000000


C:\AC1\aula1_2.s - MARS 4.5
File Edit Run Settings Tools Help
Edit Execute
Text Segment
Bkpt Address Code Basic Source
0x00400000 0x8fa40000 lw $4,0x00000000($29) 171: lw $a0 0($sp)
0x00400004 0x27a50004 addiu $5,$29,0x000... 172: addiu $a1 $sp 4
0x00400008 0x24a60004 addiu $6,$5,0x0000... 173: addiu $a2 $a1 4
0x0040000c 0x00041080 sll $2,$4,0x00000002 174: sll $v0 $a0 2
0x00400010 0x00c23021 addu $6,$6,$2 175: addu $a2 $a2 $v0
0x00400014 0x0c100009 jal 0x00400024 176: jal main
Exception Handler
Include this exception handler file in all assemble operations
Browse
C:\AC1\exceptions.s
OK
Cancel
Disponível no Moodle da UC
Data Segment
Address Value (+0) Value (+
0x10010000 (.data)
Hexadecimal Addresses
Mars Messages Run I/O
Assemble: assembling C:\AC1\exceptions.s, C:\AC1\aula1_2.s
Assemble: operation completed successfully.
Clear
Coproc 1 Coproc 0
Registers
Name Number Value
$zero 0 0x00000000
$at 1 0x00000000
$v0 2 0x00000000
$v1 3 0x00000000
$a0 4 0x00000000
$a1 5 0x00000000
$a2 6 0x00000000
$a3 7 0x00000000
$t0 8 0x00000000
$t1 9 0x00000000
$t2 10 0x00000000
$t3 11 0x00000000
$t4 12 0x00000000
$t5 13 0x00000000
$t6 14 0x00000000
$t7 15 0x00000000
$s0 16 0x00000000
$s7 23 0x00000000
$t8 24 0x00000000
$t9 25 0x00000000
$k0 26 0x00000000
$k1 27 0x00000000
$gp 28 0x10008000
$sp 29 0x7fffeffc
$fp 30 0x00000000
$ra 31 0x00000000
pc 0x00400000
hi 0x00000000
lo 0x00000000


C:\AC1\aula1_2.s - MARS 4.5
File Edit Run Settings Tools Help
Instrução que vai ser executada
Executar instrução corrente
Endereço onde está armazenada a instrução
Instrução em assembly nativo
Instrução no código original
Código máquina da instrução
Último registo alterado
Bkpt Address Code Basic Source
0x0040001c 0x2402000a addiu $2,$0,0x0000... 179: li $v0 10
0x00400020 0x0000000c syscall 180: syscall
0x00400024 0x34080005 ori $8,$0,0x00000005 4: main: ori $t0,$0,5
0x00400028 0x340a0008 ori $10,$0,0x00000008 5: ori $t2,$0,8
0x0040002c 0x01084820 add $9,$8,$8 6: add $t1,$t0,$t0
0x00400030 0x012a4820 add $9,$9,$10 7: add $t1,$t1,$t2
0x00400034 0x03e00008 jr $31 9: jr $ra
Hexadecimal Addresses
Hexadecimal Values
ASCII
Mars Messages
Run I/O
Clear
Name Number Value
$zero 0 0x00000000
$at 1 0x00000000
$v0 2 0x00000000
$v1 3 0x00000000
$a0 4 0x00000000
$a1 5 0x7ffff000
$a2 6 0x7ffff004
$a3 7 0x00000000
$t0 8 0x00000000
$t1 9 0x00000000
$t2 10 0x00000000
$t3 11 0x00000000
$t4 12 0x00000000
$t5 13 0x00000000
$t6 14 0x00000000
$t7 15 0x00000000
$s0 16 0x00000000
$s1 17 0x00000000
$s2 18 0x00000000
$t9 25 0x00000000
$k0 26 0x00000000
$k1 27 0x00000000
$gp 28 0x10008000
$sp 29 0x7fffeffc
$fp 30 0x00000000
$ra 31 0x00400018
pc 0x00400024
hi 0x00000000
lo 0x00000000


C:\AC1\aula1_2.s - MARS 4.5
File Edit Run Settings Tools Help
Edit Execute
Text Segment
Bkpt Address Code Basic Source
0x0040001c 0x2402000a addiu $2,$0,0x0000... 179: li $v0 10
0x00400020 0x0000000c syscall 180: syscall ...
0x00400024 0x34080005 ori $8,$0,0x00000005 4: main: ori $t0,$0,5 #...
0x00400028 0x340a0008 ori $10,$0,0x00000008 5: ori $t2,$0,8 #...
0x0040002c 0x01084820 add $9,$8,$8 6: add $t1,$t0,$t0 #...
0x00400030 0x012a4820 add $9,$9,$10 7: add $t1,$t1,$t2 #...
0x00400034 0x03e00008 jr $31 9: jr $ra #...
0x80000180 0x0001d821 addu $27,$0,$1 81: move $k1 $at ...
Após execução da instrução anterior
Data Segment
Address Value (+0) Value (+4) Value (+8) Value (+c) Value (+10) Value (+14) Value (+18) Value (+1c)
0x1001... 0x0000... 0x0000... 0x0000... 0x0000... 0x0000... 0x0000... 0x0000... 0x0000...
0x10010000 (.data)
Hexadecimal Addresses
Hexadecimal Values
ASCII
Mars Messages Run I/O
Clear
Coproc 1 Coproc 0
Registers
Name Number Value
$zero 0 0x00000000
$at 1 0x00000000
$v0 2 0x00000000
$v1 3 0x00000000
$a0 4 0x00000000
$a1 5 0x7ffff000
$a2 6 0x7ffff004
$a3 7 0x00000000
$t0 8 0x00000005
$t1 9 0x00000000
$t2 10 0x00000000
$t3 11 0x00000000
$t4 12 0x00000000
$t5 13 0x00000000
$t6 14 0x00000000
$t7 15 0x00000000
$s0 16 0x00000000
$s1 17 0x00000000
$s2 18 0x00000000
$s3 19 0x00000000
$s4 20 0x00000000
$s5 21 0x00000000
$s6 22 0x00000000
$s7 23 0x00000000
$t8 24 0x00000000
$t9 25 0x00000000
$k0 26 0x00000000
$k1 27 0x00000000
$gp 28 0x10008000
$sp 29 0x7fffeffc
$fp 30 0x00000000
$ra 31 0x00400018
pc 0x00400028
hi 0x00000000
lo 0x00000000

System Calls

- *System Calls* são funções do sistema operativo (SO) que implementam serviços básicos de I/O:
  - imprimir uma *string* no ecrã, ler um inteiro do teclado, ler uma *string* do teclado, imprimir um inteiro, etc.
- O MARS disponibiliza cerca de 50 *system calls*
  - O registo **$v0** é usado para identificar a *system call*
  - Os registos **$a0** a **$a3** são usados para transferir valores (argumentos) para a *system call*
  - O *system call* pode usar **$v0** para devolver um valor
- Exemplo

```
ori   $v0,$0,11       # $v0=11 (system call
                      #   print_char()
ori   $a0,$0,0x31     # $a0 = 0x31 = '1'
syscall               # chama a system call
```

System Calls

- Como funciona um *system call*, na perspetiva do utilizador:
  1. O Sistema Operativo verifica **$v0** para saber qual a tarefa a realizar
  2. Se necessário, o Sistema Operativo lê os valores de entrada dos registos **$a0 a $a3** (e.g. imprimir um carater no ecrã)
  3. O Sistema Operativo executa a tarefa
  4. O Sistema Operativo coloca o resultado no registo **$v0** (se isso se aplicar, e.g. ler um inteiro do teclado)

```
ori   $v0,$0,11        # $v0=11 (system call
                       #   print_char()
ori   $a0,$0,0x31      # $a0 = 0x31 = '1'
syscall                # chama a system call
```