

## AULA PRÁTICA N.º 7

### Objetivos:

- Implementação de sub-rotinas.
- Utilização da convenção do MIPS para passagem de parâmetros e uso dos registos.
- Implementação e utilização da *stack* no MIPS. Parte 2.

### Guião:

1. A função seguinte converte para um inteiro de 32 bits a quantidade representada por uma *string* numérica em que cada carater representa o código ASCII de um dígito decimal (i.e., 0 - 9). A conversão termina quando é encontrado um carater não numérico.

```
unsigned int atoi(char *s)
{
    unsigned int digit, res = 0;

    while( (*s >= '0') && (*s <= '9') )
    {
        digit = *s++ - '0';
        res = 10 * res + digit;
    }
    return res;
}
```

- a) Traduza para *assembly* a função `atoi()` (não se esqueça da aplicação das regras de utilização dos registos do MIPS).

Tradução parcial para *assembly* do código anterior:

```
# Mapa de registos
# res:      $v0
# s:        $a0
# *s:       $t0
# digit:    $t1
# Sub-rotina terminal: não devem ser usados registos $sx
atoi:      li      $v0,0           # res = 0;
while:      lb      $t0,...         # while(*s >= ...)
            b??     ...            #
            b??     ...            # {
            sub     $t1,...         #   digit = *s - '0'
            addiu   ...             #   s++;
            mul     $v0,$v0,10      #   res = 10 * res;
            add     ...             #   res = 10 * res + digit;
            (...)   ...             # }
            jr      $ra            # termina sub-rotina
```

- b) O programa seguinte permite fazer o teste da função `atoi()`. Traduza para *assembly* e verifique o correto funcionamento da função com outras *strings*.

```
int main(void)
{
    static char str[]="2016 e 2020 sao anos bissextos";

    print_int10( atoi(str) );
    return 0;
}
```

- c) Altere a função `atoi()` de modo a processar uma *string* binária (por exemplo `atoi("101101")` deverá produzir o resultado 45). Traduza as alterações para *assembly* e teste-as.
2. A função `itoa()`, que se apresenta de seguida, determina a representação do inteiro "n" na base "b" (b pode variar entre 2 e 16), colocando o resultado no *array* de caracteres "s", em ASCII. Esta função utiliza o método das divisões sucessivas para efetuar a conversão entre a base original (hexadecimal) e a base destino "b": por cada nova divisão é encontrado um novo dígito da conversão (o resto da divisão inteira), esse dígito é convertido para ASCII e o resultado é colocado no *array* de caracteres.
- Como é conhecido, neste método de conversão o primeiro dígito a ser encontrado é o menos significativo do resultado. Assim, a última tarefa da função `itoa()` é a chamada à função `strrev()` (implementada na aula anterior) para efetuar a inversão da *string* resultado.

```
char toascii( char );
char *strrev( char *);

char *itoa(unsigned int n, unsigned int b, char *s)
{
    char *p = s;
    char digit;

    do
    {
        digit = n % b;
        n = n / b;
        *p++ = toascii( digit );
    } while( n > 0 );
    *p = '\0';
    strrev( s );
    return s;
}

// Converte o dígito "v" para o respetivo código ASCII
char toascii(char v)
{
    v += '0';
    if( v > '9' )
        v += 7; // 'A' - '9' - 1
    return v;
}
```

- a) Traduza a função `itoa()` para *assembly*<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> A função `strrev()` foi já implementada no guião anterior. De modo a simplificar a gestão do código desenvolvido, pode usar várias janelas do editor do MARS (a que correspondem outros tantos ficheiros): por exemplo, uma janela para o código a escrever da função `itoa()` e respetivo `main()` e outra janela com a função `strrev()`. Nesse caso, deverá ter em atenção o seguinte:

- No menu *settings* a opção "Assemble all files in directory" tem que ser ativada.
- Os nomes das funções que sejam declaradas no(s) ficheiro(s) secundário(s) (o ficheiro principal é o que tem definido o label "main") têm que ser declarados como globais. Por exemplo, se o ficheiro que contém a declaração dos *labels* "strrev:" e "strcpy:" é um ficheiro secundário, no topo desse ficheiro deve aparecer a seguinte diretiva:

```
.globl strrev, strcpy
```

- Apenas um ficheiro pode conter a declaração do label "main:".

Tradução parcial para *assembly* do código anterior:

```
# Mapa de registos
# n:      $a0 -> $s0
# b:      $a1 -> $s1
# s:      $a2 -> $s2
# p:      $s3
# digit:   $t0
# Sub-rotina intermédia
itoa:      subu    $sp,...      # reserva espaço na stack
          sw      $s0,...      # guarda registos $sx e $ra
          (...)
          move    $s0,...      # copia n, b e s para registos
          (...)              # "callee-saved"
          move    $s3,$a2      # p = s;
do:        # do {
          (...)              #
          b??     $s0,...      # } while(n > 0);
          sb      $0,0($s3)    # *p = 0;
          (...)              #
          jal     strrev       # strrev( s );
          (...)              # return s;
          lw      $s0,...      # repõe registos $sx e $ra
          (...)
          addu    $sp,...      # liberta espaço na stack
          jr      $ra          #
```

- b) O programa seguinte permite testar a função `itoa()` fazendo a conversão de um valor lido do teclado para diferentes bases. Traduza-o para *assembly*, e teste o seu funcionamento no MARS.

```
#define MAX_STR_SIZE    33

int main(void)
{
    static char str[MAX_STR_SIZE];
    int val;

    do {
        val = read_int();
        print_string( itoa(val, 2, str) );
        print_string( itoa(val, 8, str) );
        print_string( itoa(val, 16, str) );
    } while(val != 0);
    return 0;
}
```

Tradução parcial para *assembly* do código anterior:

```
# Mapa de registos
# str:      $s0
# val:      $s1
# O main é, neste caso, uma sub-rotina intermédia
        .data
str:     .space   ...
        .eqv    STR_MAX_SIZE,...
        .eqv    read_int,...
        .eqv    print_string,...
        .text
        .globl  main
main:    subu     $sp,...           # reserva espaço na stack
        (...)           # guarda registos $sx na stack
        sw      $ra,...           # guarda $ra na stack
do:      # do {
        li      $v0,read_int
        syscall           #
        move    $s1,$v0       #   val = read_int()
        (...)           #
        b??     $s1,...       # } while(val != 0)
        li      ...           # return 0;
        (...)           # repoe registos $sx
        lw      $ra,...       # repõe registo $ra
        addu    $sp,...       # liberta espaço na stack
        jr      $ra           # termina programa
```

- c) A função seguinte apresenta a implementação de uma função para impressão de um inteiro através da utilização da *system call* `print_str()` e da função `itoa()`. Traduza para *assembly* esta função e teste-a, escrevendo a respetiva função `main()`.

```
void print_int_acl(unsigned int val, unsigned int base)
{
    static char buf[33];

    print_string( itoa(val, base, buf) );
}
```

3. A função seguinte implementa o algoritmo de divisão de inteiros apresentado nas aulas teóricas (versão otimizada), para operandos de 16 bits.

```
unsigned int div(unsigned int dividendo, unsigned int divisor)
{
    int i, bit, quociente, resto;

    divisor = divisor << 16;
    dividendo = (dividendo & 0xFFFF) << 1;

    for(i=0; i < 16; i++)
    {
        bit = 0;
        if(dividendo >= divisor)
        {
            dividendo = dividendo - divisor;
            bit = 1;
        }
        dividendo = (dividendo << 1) | bit;
    }
    resto = (dividendo >> 1) & 0xFFFF0000;
    quociente = dividendo & 0xFFFF;

    return (resto | quociente);
}
```

- a) Traduza esta função para *assembly* e teste-a com diferentes valores de entrada, tendo em atenção que os operandos têm uma dimensão máxima de 16 bits.
- b) O programa anterior apresenta uma deficiência de funcionamento em situações em que o dividendo é igual ou superior a **0x8000** e o divisor é superior ao dividendo. Verifique, com um exemplo, essa situação, identifique a origem do problema e proponha uma solução, em linguagem C, para o resolver.

## Exercícios adicionais

### Parte I

1. A função `insert()` permite inserir a *string* `src` na *string* `dst`, a partir da posição `pos`. A função `read_str()` usa a *system call* `read_string` para ler uma *string* do teclado e elimina o caráter de mudança de linha (`0x0A`) introduzido quando se prime a tecla ENTER.

```
char *insert(char *dst, char *src, int pos)
{
    int len_dst, len_src;
    int i;
    char *p = dst;

    len_dst = strlen(dst);
    len_src = strlen(src);

    if(pos <= len_dst)
    {
        for(i = len_dst; i >= pos; i--)
            dst[i + len_src] = dst[i];
        for(i = 0; i < len_src; i++)
            dst[i + pos] = src[i];
    }
    return p;
}

void read_str(char *s, int size)
{
    int len;
    read_string(s, size);
    len = strlen(s);
    if(s[len-1] == 0x0A)
        s[len-1] = '\0';
}
```

Traduza as duas funções anteriores para *assembly* (não se esqueça de aplicar a convenção de utilização de registos).

2. O programa seguinte permite o teste das funções desenvolvidas no exercício anterior. Traduza esse programa para *assembly* e teste-o no MARS. Relembre que o `main()` é tratado como qualquer outra sub-rotina, no que concerne à convenção de utilização e salvaguarda de registos.

```
// Protótipos das funções usadas

int strlen(char *s); // função desenvolvida no guião anterior
char *insert(char *dst, char *src, int pos);
void read_str(char *s, int size);
```

```
int main(void)
{
    char str1[100];
    char str2[50];
    int insert_pos;

    print_string("Enter a string: ");
    read_str(str1, 50);

    print_string("Enter a string to insert: ");
    read_str(str2, 50);

    print_string("Enter the position: ");
    insert_pos = read_int();

    print_string("Original string: ");
    print_string(str1);

    insert(str1, str2, insert_pos);

    print_string("\nModified string: ");
    print_string(str1);
    print_string("\n");
    return 0;
}
```

Exemplo de funcionamento:

```
Enter a string: Arquitadores
Enter a string to insert: tetura de Compu
Enter the position: 5
Original string: Arquitadores
Modified string: Arquitetura de Computadores
```

## Parte II

Apresentam-se, nesta secção, vários exemplos de funções recursivas, tendo algumas delas sido já implementadas, na sua forma iterativa, em guiões anteriores. Note que, na maioria dessas funções, a solução recursiva não é a melhor em termos de eficiência. Essas funções são aqui usadas como exemplos por serem de fácil compreensão, o que permite praticar quer o conceito de recursividade quer a tradução de linguagem C para *assembly* desse tipo de funções.

1. A função seguinte apresenta a implementação, na forma recursiva, da função de contagem do número de caracteres de uma string já implementada anteriormente na forma iterativa.

```
int strlen(char *s)
{
    if(*s != '\0')
        return(1 + strlen(s + 1));
    else
        return 0;
}
```

A tradução para *assembly* do MIPS da função `strlen()` pode ser feita do seguinte modo:

```

strlen: lb      $t0,0($a0)    # $t0 = *s
        beq     $t0,0,else    # if(*s != '\0') {
        subu    $sp,$sp,4     #   reserva espaço na stack
        sw      $ra,0($sp)    #   salvaguarda $ra
        addiu   $a0,$a0,1     #
        jal     strlen        #   strlen(s + 1)
        addi    $v0,$v0,1     #   return (1 + strlen(s+1))
        lw      $ra,0($sp)    #   repõe o valor de $ra
        addu    $sp,$sp,4     #   liberta espaço na stack
        jr      $ra           # }

else:   li      $v0,0         #   return 0
        jr      $ra           #

```

Escreva, em linguagem C, a função `main()` com código que permita efetuar o teste da função `strlen()`. e traduza-a para *assembly*. Teste o funcionamento do conjunto.

2. A função seguinte apresenta a implementação, na forma recursiva, da função de cópia de uma string (também já implementada anteriormente na forma iterativa).

```

char *strcpy(char *dst, char *src)
{
    if((*dst = *src) != '\0')
        strcpy(dst + 1, src + 1);
    return dst;
}

```

- a) Escreva, em linguagem C, a função `main()` com código que permita efetuar o teste da função `strcpy()`.
  - b) Traduza as funções `strcpy()` e `main()` para *assembly*. Teste o funcionamento do conjunto.
3. A função seguinte obtém a soma dos elementos de um *array* de inteiros.

```

int soma(int *array, int nelem)
{
    if(nelem != 0)
        return *array + soma(array + 1, nelem - 1);
    else
        return 0;
}

```

- a) Traduza a função `soma()` para *assembly*.
  - b) Escreva, em linguagem C, a função `main()` com código que permita efetuar o teste da função que escreveu na alínea a). Traduza esse programa para *assembly* e teste o funcionamento da função `soma()`.
4. A função seguinte imprime no ecrã o valor inteiro "num" em qualquer base entre 2 e 16 (note que essa verificação não é efetuada no código). Esta função é uma implementação



recursiva mais simples e elegante que a solução iterativa já apresentada na primeira parte deste guião (que usava, recorde-se, a função `itoa()` para efetuar a conversão entre bases).

```
void print_int_acl(unsigned int num, unsigned int base)
{
    if(num / base)
        print_int_acl( num / base, base );
    print_char( toascii(num % base) );
}

char toascii(char v)
{
    v += '0';
    if( v > '9' )
        v += 7;  // 'A' - '9' - 1
    return v;
}
```

- a) Escreva, em linguagem C, a função `main()` com código que permita efetuar o teste da função `print_int_acl()`.
  - b) Traduza as funções `print_int_acl()` e `main()` para *assembly*. Teste o funcionamento do conjunto.
5. A função seguinte apresenta uma implementação iterativa de uma função de cálculo do fatorial.

```
// Calculo do fatorial de n - algoritmo iterativo

unsigned int fact_i(unsigned int n)
{
    unsigned int i;
    unsigned int res;

    for(res = 1, i=2; i <= n; i++)
        res = res * i;
    return res;
}
```

A mesma função escrita na forma recursiva poderá ter a seguinte implementação:

```
// Calculo do fatorial de n - algoritmo recursivo

unsigned int fact(unsigned int n)
{
    if(n > 12)
        exit(1); // Overflow

    return (n > 1) ? n * fact(n-1) : 1;
}
```

- a) Escreva, em linguagem C, a função `main()` com código que permita efetuar o teste da função `fact()` (implementação recursiva).
- b) Traduza as funções `fact()` e `main()` para *assembly*. Teste o funcionamento do conjunto.

6. A função seguinte apresenta uma implementação iterativa de uma função de cálculo do valor de  $x^y$ .

```
// Cálculo de  $x^y$  - algoritmo iterativo

int xtoy_i(int x, unsigned int y)
{
    int i, result = 1;
    for(i=0; i < y; i++)
        result *= x;
    return result;
}
```

A mesma função escrita na forma recursiva poderá ter a seguinte implementação:

```
// Cálculo de  $x^y$  - algoritmo recursivo

int xtoy(int x, unsigned int y)
{
    return (y != 0) ? x * xtoy(x, y-1) : 1;
}
```

- a) Escreva, em linguagem C, a função `main()` com código que permita efetuar o teste da função `xtoy()` (implementação recursiva).
- a) Traduza as funções `xtoy()` e `main()` para *assembly*. Teste o funcionamento do conjunto.
7. A função seguinte apresenta a implementação recursiva da resolução do problema das torres de Hanoi. Apresenta-se também a implementação da função `main()`, bem como de uma função auxiliar para a impressão de uma mensagem.

```
void tohanoi(int n, int p1, int p2, int p3)
{
    static int count=0;

    if(n != 1)
    {
        tohanoi(n-1, p1, p3, p2);
        print_msg(p1, p2, ++count);
        tohanoi(n-1, p3, p2, p1);
    }
    else
        print_msg(p1, p2, ++count);
}

void print_msg(int t1, int t2, int cnt)
{
    print_str("\n");
    print_int_acl(cnt, 10);
    print_str(" - Mover disco de topo de ");
    print_int_acl(t1, 10);
    print_str(" para ");
    print_int_acl(t2, 10);
}
```

```
int main(void)
{
    int ndiscs;

    print_str("\nIntroduza o numero de discos: ");
    ndiscs = read_int();
    if(ndiscs > 0)
        tohanoi(ndiscs, 1, 3, 2);

    return 0;
}
```

Traduza as funções anteriores para *assembly*. Teste o funcionamento do conjunto (pode encontrar um simulador deste problema em [www.coolmath-games.com/0-tower-of-hanoi/](http://www.coolmath-games.com/0-tower-of-hanoi/)).