

AULA PRÁTICA N.º 4

Objetivos:

- Manipulação de *arrays* em linguagem C, usando índices e ponteiros.
- Tradução para *assembly* de código de acesso sequencial a *arrays* usando índices e ponteiros. Parte 1.

Guião:

1. O programa seguinte lê uma *string* do teclado, conta o número de caracteres numéricos que ela contém e imprime esse resultado.

```
#define SIZE      20

void main (void)
{
    static char str[SIZE+1]; // Reserva espaço para um array de
                             // "SIZE+1" bytes no segmento de
                             // dados ("SIZE" caracteres +
                             // terminador)

    int num, i;

    read_string(str, SIZE); // "str" é o endereço inicial do
                             // espaço reservado para alojar a
                             // string (na memória externa)

    num = 0;
    i = 0;
    while( str[i] != '\0' ) // Acede ao carater (byte) na
                           // posição "i" do array e compara-o
                           // com o carater terminador (i.e.
                           // '\0' = 0x00)
    {
        if( (str[i] >= '0') && (str[i] <= '9') )
            num++;
        i++;
    }
    print_int10(num);
}
```

- a) Codifique o programa em *assembly* do MIPS e teste o seu funcionamento no MARS. Utilize, para armazenar as variáveis, os seguintes registos: **num** (\$t0), **i** (\$t1), endereço inicial da *string* (\$t2), endereço da posição "i" da *string* (\$t3) e conteúdo de **str[i]** (\$t4).

Tradução parcial do código anterior para *assembly*:

```
# Mapa de registos
# num:      $t0
# i:        $t1
# str:      $t2
# str+i:    $t3
# str[i]:   $t4

.data
    .eqv    SIZE, 20
    .eqv    read_string, ...
    .eqv    print_int10, ...
str: .space ...
```

```

        .text
        .globl main
main: la      $a0, ...           # $a0=&str[0] (endereço da posição
                                # 0 do array, i.e., endereço
                                # inicial do array)
        li      $a1, ...         # $a1=SIZE
        li      $v0, read_string
        syscall                    # read_string(str, SIZE)
        (...)                    # num=0; i=0;
while:                                # while(str[i] != '\0')
        la      $t2, str         # $t2 = str ou &str[0]
        addu    $t3, ...         # $t3 = str+i ou &str[i]
        lb      $t4, ...         # $t4 = str[i]
        b??     $t4, '\0', endw  # {
if:   b??     $t4, ...         # if(str[i] >= '0' &&
        b??     $t4, ...         #         str[i] <= '9');
        addi    ...             #         num++;
endif:
        addi    ...             # i++;
        j      ...             # }
endw: (...)                    # print_int10(num);
        jr      $ra             # termina o programa

```

- b) Execute o programa passo a passo, introduza a string **"AC1-Labs"** e preencha a tabela abaixo com os valores que as diferentes variáveis vão tomando:

Endereço de str (\$t2)	Endereço de str[i] (\$t3)	str[i] (\$t4)	i (\$t1)	num (\$t0)	
0	0	0	0	0	Val. iniciais
0x1001 0000	0x1001 0000	0x 41 (A)	1	0	Fim 1ª iter.
0x1001 0000	0x1001 0001	0x 43 (C)	2	0	Fim 2ª iter.
0x1001 0000	0x1001 0002	0x 31 (1)	3	1	Fim 3ª iter.
0x1001 0000	0x1001 0003	0x 2d (-)	4	1	Fim 4ª iter.
0x1001 0000	0x1001 0004	0x 4c (L)	5	1	Fim 5ª iter.
0x1001 0000	0x1001 0005	0x 61 (a)	6	1	Fim 6ª iter.
0x1001 0000	0x1001 0006	0x 62 (b)	7	1	Fim 7ª iter.
0x1001 0000	0x1001 0007	0x 73 (s)	8	1	Fim 8ª iter.
0x1001 0000	0x1001 0008	0x00 (\0)	8	1	

2. Uma forma alternativa de escrever o código da questão 1 consiste na utilização de um ponteiro para aceder a cada um dos elementos do *array*. O ponteiro para uma dada posição do *array* é uma variável (que pode residir num registo interno do CPU) que contém o endereço dessa posição do *array*. Se, inicialmente, for atribuído a esse ponteiro o endereço da primeira posição do *array*, para efetuar o acesso sequencial a cada uma das posições restantes é necessário incrementar sucessivamente o valor do ponteiro.

A implementação do programa da questão 1 usando ponteiros é apresentada de seguida:

```
#define SIZE      20

void main (void)
{
    static char str[SIZE+1]; // Reserva espaço para um array de
                             // "SIZE+1" carateres no segmento de
                             // dados

    int num = 0;
    char *p;                // Declara um ponteiro para carater
                             // (não há qualquer inicialização)
    read_string(str, SIZE);  // Le do teclado uma string com um
                             // máximo de 20 carateres
    p = str;                // Inicializa o ponteiro "p" com o
                             // endereço inicial da string
                             // (equivalente a p = &(str[0]))
    while( *p != '\0' )      // Acede ao byte apontado pelo
                             // ponteiro "p" (*p) e compara
                             // o valor lido com o carater
                             // terminador ('\0' = 0x00)
    {
        if( (*p >= '0') && (*p <= '9') )
            num++;
        p++;                // Incrementa o ponteiro (o ponteiro
                             // passa a ter o endereço da
                             // posição seguinte do array)
    }
    print_int10(num);
}
```

- a) Codifique o programa em *assembly* do MIPS e teste o seu funcionamento no MARS. Utilize, para armazenar as variáveis, os seguintes registos: \$t0 (num), \$t1 (p), \$t2 (*p). Tradução parcial do código anterior para *assembly*:

```
# Mapa de registos
# num:    $t0
# p:      $t1
# *p:     $t2          (Registo temporário para guardar o valor
                       armazenado na posição de memória p)

(...)
main: ...              # ...
    la      $t1, str    # p = str;
while:              # while(*p != '\0')
    lb      $t2, ...    #
    b??     $t2, '\0', endw # {
    b??     $t2, ...    #     if(str[i] >='0' &&
    b??     $t2, ...    #         str[i] <= '9')
    addi    $t0, ...    #         num++;
endif:
    addiu   ...        #     p++;
    (...)   # }
endw: (...)          # print_int10(num);
    jr      $ra        # termina o programa
```

- b) Execute o programa passo a passo, introduza a string **"AC1-Labs"** e preencha a tabela abaixo com os valores que as diferentes variáveis vão tomando:

num (\$t0)	p (\$t1)	*p (\$t2)	
0	0x1001 0000	0x00	Valores iniciais
0	0x1001 0001	0x41	Fim da 1ª iteração
0	0x1001 0002	0x43	Fim da 2ª iteração
1	0x1001 0003	0x31	Fim da 3ª iteração
1	0x1001 0004	0x2d	Fim da 4ª iteração
1	0x1001 0005	0x4c	Fim da 5ª iteração
1	0x1001 0006	0x61	Fim da 6ª iteração
1	0x1001 0007	0x62	Fim da 7ª iteração
1	0x1001 0008	0x73	Fim da 8ª iteração
1	0x1001 0008	0x00	

3. O programa seguinte calcula e imprime a soma dos elementos de um *array* de 4 posições. Esta implementação utiliza um ponteiro para aceder sucessivamente a cada uma das posições do *array* ("**p**") e um outro ponteiro, que atua como uma constante, para indicar o endereço da última posição do *array* de inteiros (ao contrário de uma *string*, um *array* de inteiros não possui qualquer elemento que indique terminação).

```
#define SIZE      4
int array[4] = {7692, 23, 5, 234}; // Declara um array global de 4
                                   // posições e inicializa-o

void main (void)
{
    int *p;                // Declara um ponteiro para inteiro
                           // (não há qualquer inicialização)
    int *pultimo;          // Declara um ponteiro para inteiro
    int soma = 0;

    p = array;              // "p" é preenchido com o endereço
                           // inicial do array
    pultimo=array+SIZE-1;   // "pultimo" é inicializado com o
                           // endereço do último elemento do
                           // array, i.e., &array[SIZE-1]

    while( p <= pultimo )
    {
        soma = soma + (*p);
        p++;               // Incrementa o ponteiro (não esquecer
                           // que incrementar um ponteiro para um
                           // inteiro de 32 bits significa somar a
                           // quantidade 4 ao valor do endereço)
    }
    print_int10(soma);
}
```

- a) Codifique o programa em *assembly* do MIPS e teste o seu funcionamento no MARS. Utilize, para armazenar as variáveis, os seguintes registos: \$t0 (p), \$t1 (pultimo), \$t2 (*p), \$t3 (soma).

Tradução parcial do código anterior para *assembly*:

```
# Mapa de registos
# p:      $t0
# pultimo:$t1
# *p      $t2
# soma:   $t3
(...)
array:.word 7692,23,...
.eqv    print_int10,...
.eqv    SIZE,...
(...)
main:li    $t3,...      # soma = 0;
li      ...            # ??? = SIZE
addi    $t4,...,-1     # $t4 = SIZE-1
sll     $t4,$t4,2      # $t4 = (SIZE-1) * 4
la      ...            # p = array;
addu    $t1,...        # pultimo = array + (SIZE - 1);
while:                                     # while(p <= pultimo)
b??u    $t0,...,endw   # {
(...)   ...            #   $t2 = *p;
add     ...            #   soma = soma + (*p);
addiu   ...            #   p++;
(...)   ...            # }
(...)   ...            # print_int10(soma);
jr      $ra            # termina o programa
```

- b) Execute o programa passo a passo e preencha a tabela abaixo com os valores que as diferentes variáveis vão tomando:

p (\$t0)	pultimo (\$t1)	*p (\$t2)	soma (\$t3)	
0x10010000	0x1001000C	0	0	Valores iniciais
0x10010004	0x1001000C	0x1E0C	0x1E0C	Fim 1ª iteração
0x10010008	0x1001000C	0x0017	0x1E23	Fim 2ª iteração
0x1001000C	0x1001000C	0x0005	0x1E28	Fim 3ª iteração
0x10010010	0x1001000C	0x00EA	0x1F12	Fim 4ª iteração

- c) Altere o programa em C de modo a utilizar o acesso ao *array* com índices. Faça as alterações correspondentes ao programa *assembly* e teste o seu funcionamento no MARS.

Exercícios adicionais

1. Considere o seguinte programa que lê da consola uma *string* com um máximo de 20 caracteres, converte, de forma parcialmente correta, os caracteres correspondentes a letras minúsculas em maiúsculas e, por fim, escreve a *string* alterada no ecrã.

```
#define SIZE      20
void main(void)
{
    static char str[SIZE+1];
    char *p;

    print_string("Introduza uma string: ");
    read_string(str, SIZE);
    p = str;
    while (*p != '\0')
    {
        *p = *p - 'a' + 'A'; // 'a'=0x61, 'A'=0x41, 'a'-'A'=0x20
        p++;
    }
    print_string(str);
}
```

- a) Codifique o programa em *assembly* do MIPS e teste o seu funcionamento no MARS. Utilize, para armazenar as variáveis, os seguintes registos: **p (\$t0)**, ***p (\$t1)**.
- b) Execute o programa passo a passo, introduza a string "**Ac1-prÁticaS**" e preencha a tabela abaixo com os valores que as diferentes variáveis vão tomando:

p (\$t0)	*p (\$t1)	
0x10010000	0x00	Valores iniciais
0x10010001	0xE3	Fim da 1ª iteração
0x10010002	0x105	Fim da 2ª iteração
0x10010003	0xd3	Fim da 3ª iteração
0x10010004	0xCF	Fim da 4ª iteração
0x10010005	0x112	Fim da 5ª iteração
0x10010006	0x114	Fim da 6ª iteração
0x10010007	0xE3	Fim da 7ª iteração
0x10010008	0x116	Fim da 8ª iteração
0x10010009	0x10b	Fim da 9ª iteração
0x1001000A	0x105	Fim da 10ª iteração
0x1001000B	0x103	Fim da 11ª iteração
0x1001000C	0xF5	Fim da 12ª iteração

- c) Como pôde verificar, o programa anterior apenas produz o resultado esperado em alguns casos. Proponha uma alteração ao programa para corrigir o problema detetado, codifique-a em *assembly* e teste-a no MARS.
- d) Altere o programa em C resultante do ponto anterior de modo a converter letras maiúsculas em minúsculas. Faça a correspondente alteração do programa *assembly* e teste o seu funcionamento.

Anexo:

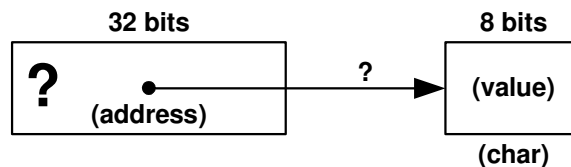
Interpretação gráfica de ponteiros (supondo uma máquina de 32 bits)

1. Ponteiro para carater, não inicializado

a) Exemplo de declaração em linguagem C:

```
char *p;
```

b) Interpretação gráfica:



c) Ação desenvolvida na tradução para linguagem máquina:

- Definir o registo interno / reservar espaço na memória para alojar um endereço (32 bits)

d) Caso o ponteiro resida num registo interno, basta definir qual o registo a usar para esse efeito e incluí-lo nas instruções que manipulam o ponteiro.

e) Caso o ponteiro resida na memória, uma possível tradução para *Assembly* do MIPS da sua declaração é:

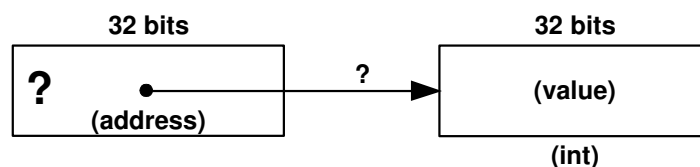
```
p: .space 4      # Reserva 4 bytes de memória
                  # (32 bits) para alojar o
                  # ponteiro. Não há inicialização
```

2. Ponteiro para inteiro, não inicializado

a) Exemplo de declaração em linguagem C:

```
int *p;
```

b) Interpretação gráfica:



c) Ação desenvolvida na tradução para linguagem máquina:

- Reservar espaço na memória/registo interno para um endereço (32 bits)

d) Possível tradução para *Assembly* do MIPS (caso o ponteiro resida na memória):

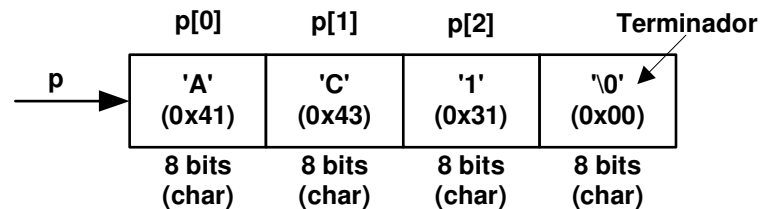
```
p: .space 4      # Reserva 4 bytes de memória
                  # (32 bits) para alojar o
                  # ponteiro. Não há inicialização
```

3. Array de caracteres

a) Exemplo de declaração em linguagem C:

```
char p[]="AC1";
```

b) Interpretação gráfica:



c) Ação desenvolvida na tradução para linguagem máquina:

- Reservar espaço na memória para um *array* de caracteres (incluindo para o terminador, o byte 0x00), e efetuar a respetiva inicialização

d) Possível tradução para *Assembly* do MIPS:

```
p: .asciiz "AC1"    # Reserva 4 bytes de memória e
                   # inicializa-os com os códigos
                   # ASCII dos 3 caracteres e com o
                   # código do terminador (0).
                   # O valor de "p" pode ser obtido
                   # com a instrução "load address"
```

Ou, alternativamente:

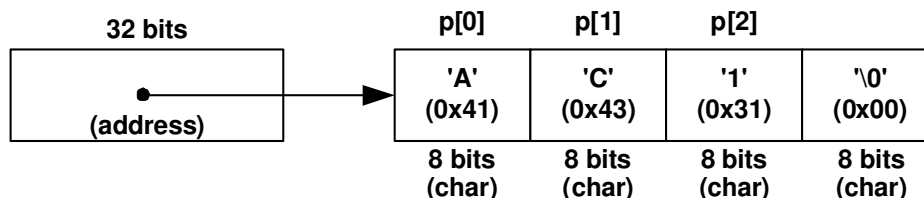
```
p: .ascii  "AC1"    # Reserva 3 bytes de memória e
                   # inicializa-os com os códigos
                   # ASCII dos 3 caracteres
    .byte   0x00     # Reserva 1 byte e inicializa-o
                   # com o valor 0
```

4. Ponteiro para Array de caracteres

a) Exemplo de declaração em linguagem C:

```
char *p = "AC1";
```

b) Interpretação gráfica:



c) Ações desenvolvidas na tradução para linguagem máquina:

- Reservar espaço para um *array* de caracteres e efetuar a respetiva inicialização
- Reservar espaço para um endereço e efetuar a respetiva inicialização

d) Tradução para *Assembly* do MIPS:

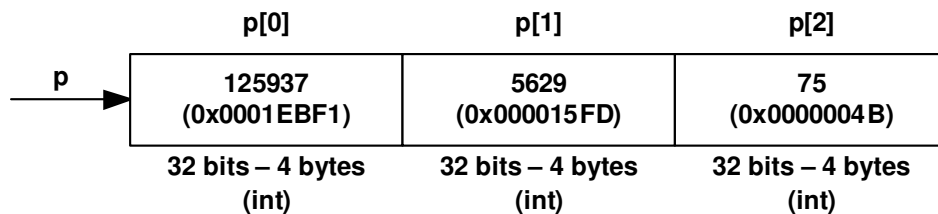
```
str:    .asciiz "AC1"
p:      .word   str # Reserva 4 bytes de memória
                # e inicializa-os com o endereço
                # da primeira posição do array
                # de caracteres (i.e. &array[0]).
                # O valor de "p" pode ser
                # obtido com a instrução "load
                # address"
```

5. Array de inteiros

a) Exemplo de declaração em linguagem C:

```
int p[] = {125937, 5629, 75};
```

b) Interpretação gráfica:



c) Ação desenvolvida na tradução para linguagem máquina:

- Reservar espaço para um *array* de inteiros e efetuar a respetiva inicialização

d) Tradução para *Assembly* do MIPS:

```
p:      .word   125937, 5629, 75 #
                # O valor de "p" pode ser obtido
                # com a instrução "load address"
```

NOTA:

A linguagem C não permite a declaração de um ponteiro para um *array* de inteiros, cuja representação seria, por exemplo: "`int *p = {125937, 5629, 75};`". Contudo, esta declaração pode ser decomposta em duas, do seguinte modo:

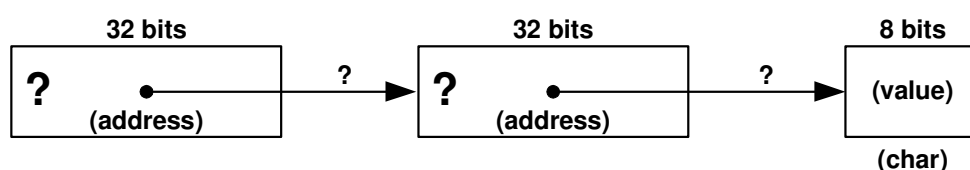
```
int pp[] = {125937, 5629, 75};
int *p = pp;
```

6. Ponteiro para ponteiro para carater, não inicializado

a) Exemplo de declaração em linguagem C:

```
char **p;
```

b) Interpretação gráfica:



c) Ação desenvolvida na tradução para linguagem máquina:

- Reservar espaço para um endereço (32 bits)

d) Tradução para *Assembly* do MIPS (caso o ponteiro resida na memória):

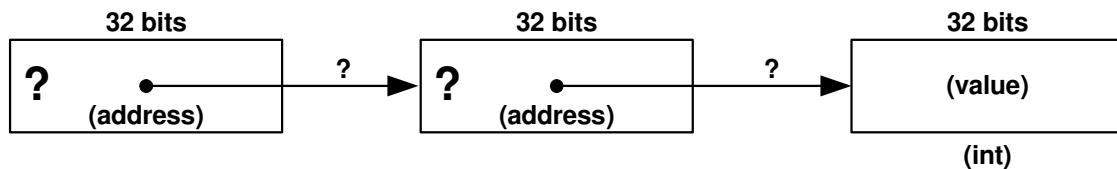
```
p:  .space 4      # Reserva 4 bytes na memória para
      # alojar o ponteiro
```

7. Ponteiro para ponteiro para inteiro, não inicializado

a) Exemplo de declaração em linguagem C:

```
int **p;
```

b) Interpretação gráfica:



c) Ação desenvolvida na tradução para linguagem máquina:

- Reservar espaço para um endereço (32 bits)

d) Tradução para *Assembly* do MIPS (caso o ponteiro resida na memória):

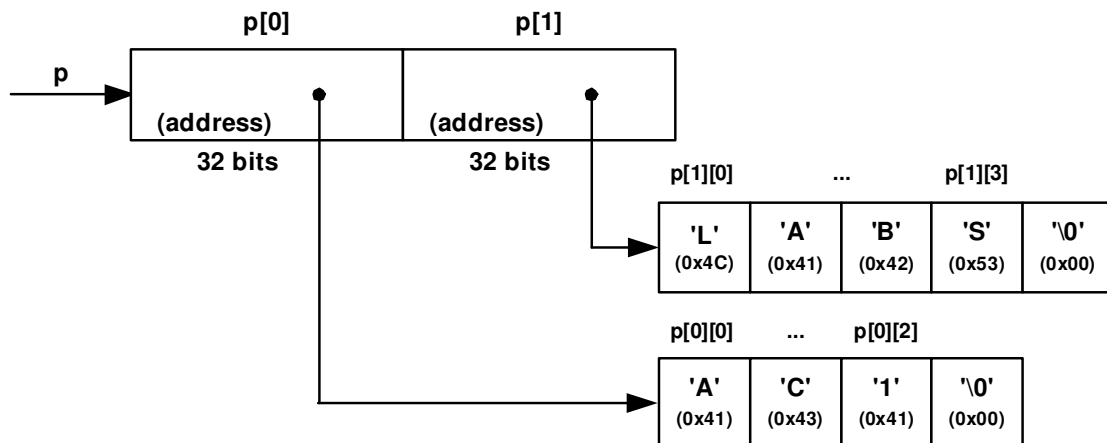
```
p:  .space 4      # Reserva 4 bytes na memória para
      # alojar o ponteiro
```

8. Array de ponteiros para carater

a) Exemplo de declaração em linguagem C:

```
char *p[] = {"AC1", "LABS"};
```

b) Interpretação gráfica:



c) Ações desenvolvidas na tradução para linguagem máquina:

- Reservar espaço para os *arrays* de caracteres e efetuar a respetiva inicialização
- Reservar espaço para o *array* de ponteiros (*array* de inteiros) e efetuar a respetiva inicialização

d) Tradução para *Assembly* do MIPS (caso os ponteiros residam na memória):

```
array1: .asciiz "AC1"
array2: .asciiz "LABS"
p:      .word  array1, array2
```