Arquitectura de Sistemas e Computadores I

Semana #6

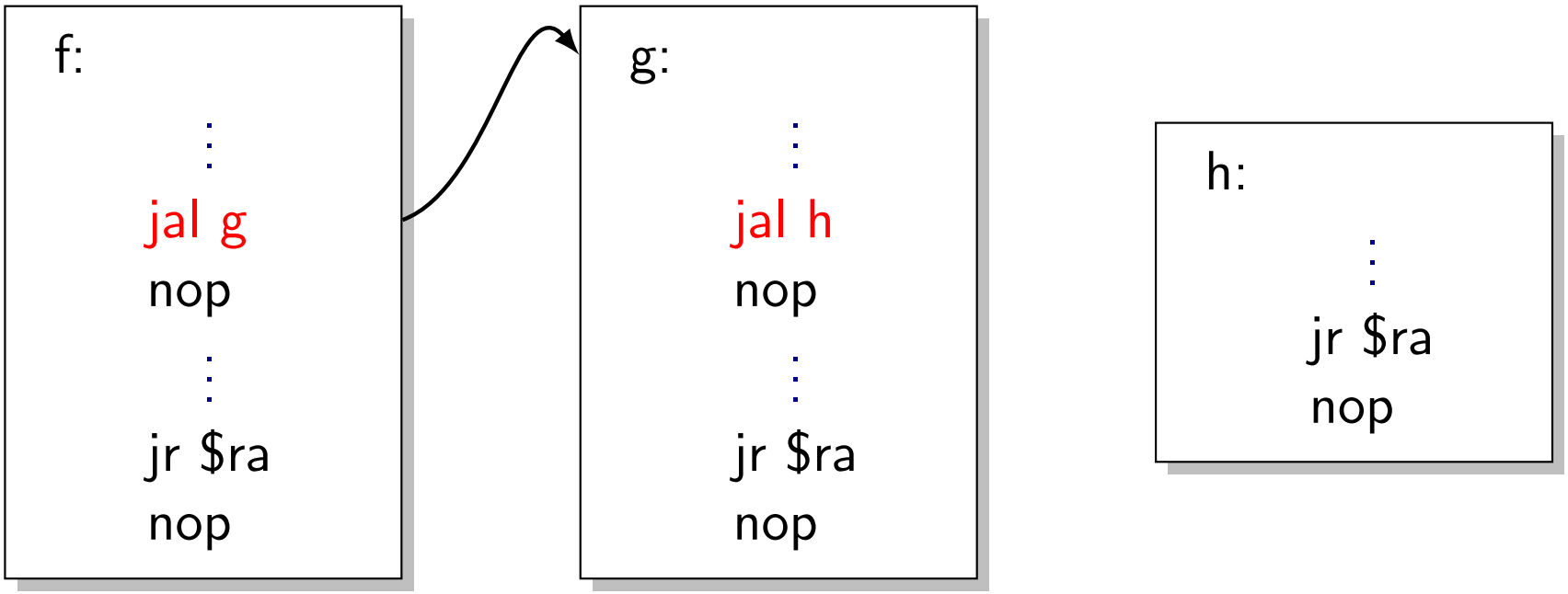
Miguel Barão
mjsb@di.uevora.pt

ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA

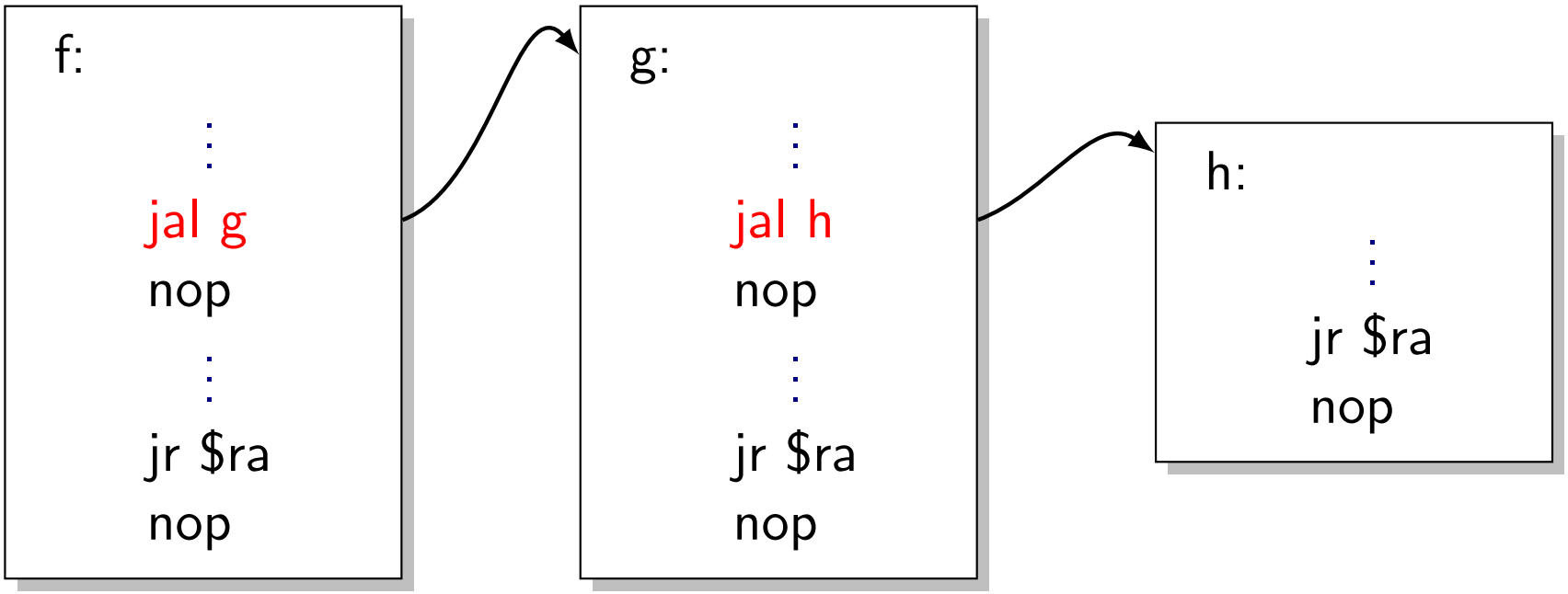
Resumo

- Funções:
  - Problema de chamadas encadeadas a funções
  - Registo `$ra`: *return address*
  - Funções recursivas
  - Espaço de endereçamento (user mode)
  - Global Pointer
  - Frame Pointer

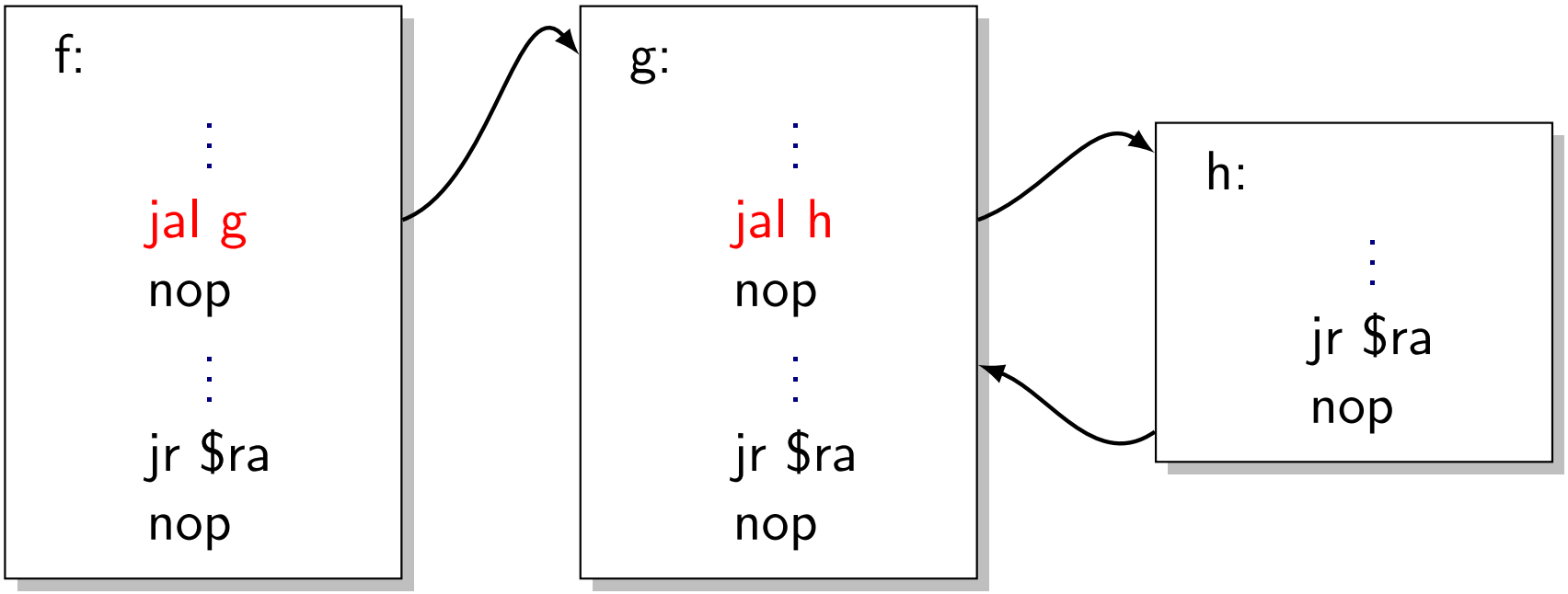
Chamadas encadeadas de funções



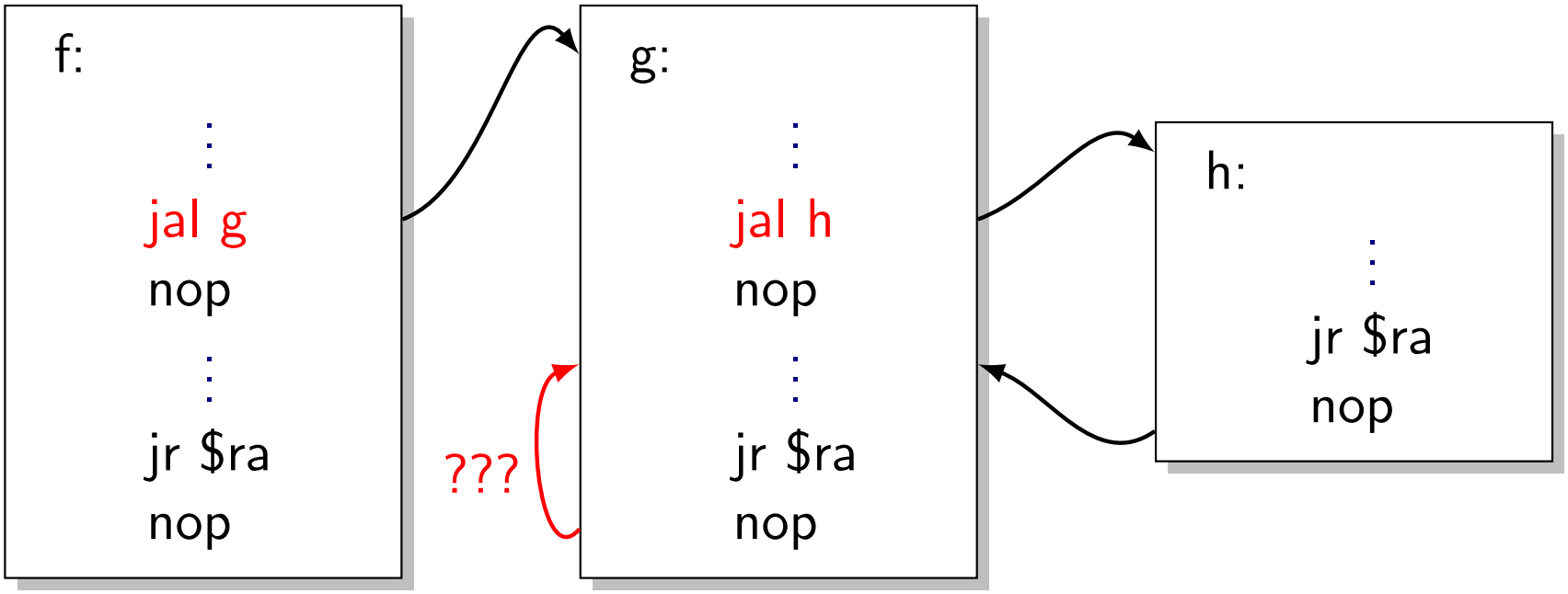
Chamadas encadeadas de funções



Chamadas encadeadas de funções

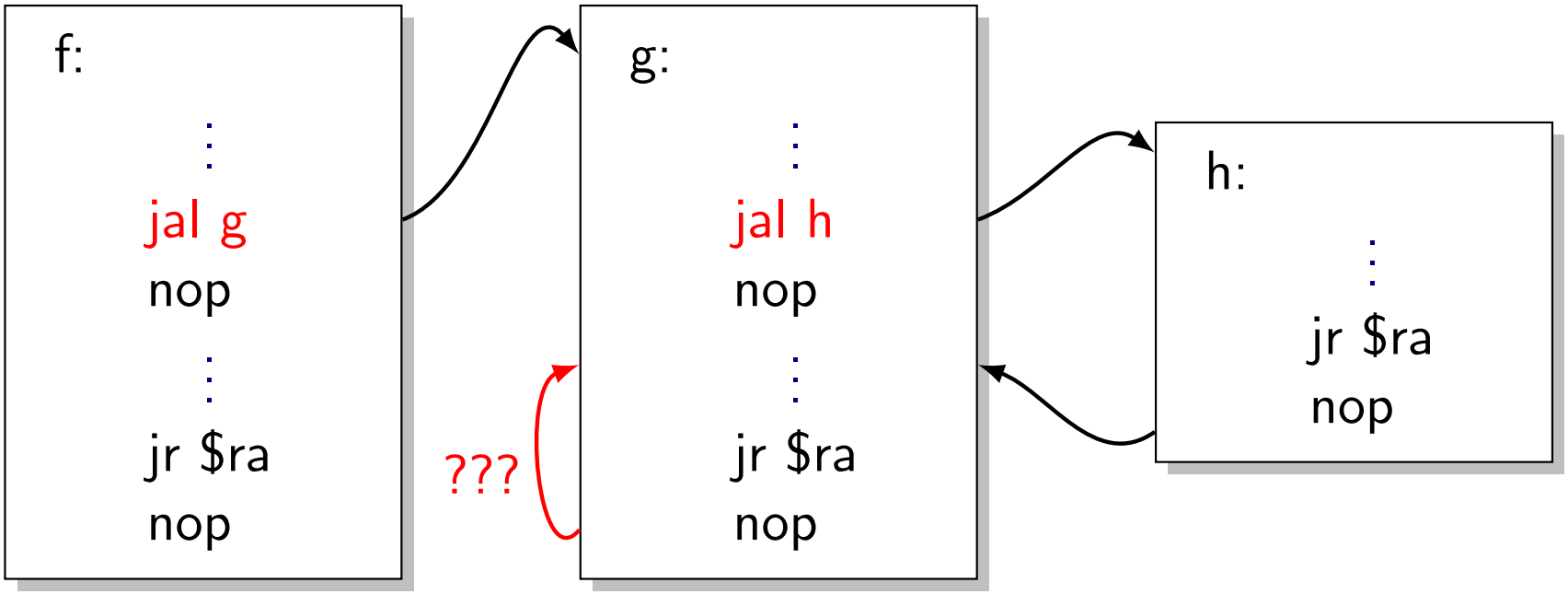


Chamadas encadeadas de funções



Como se resolve?

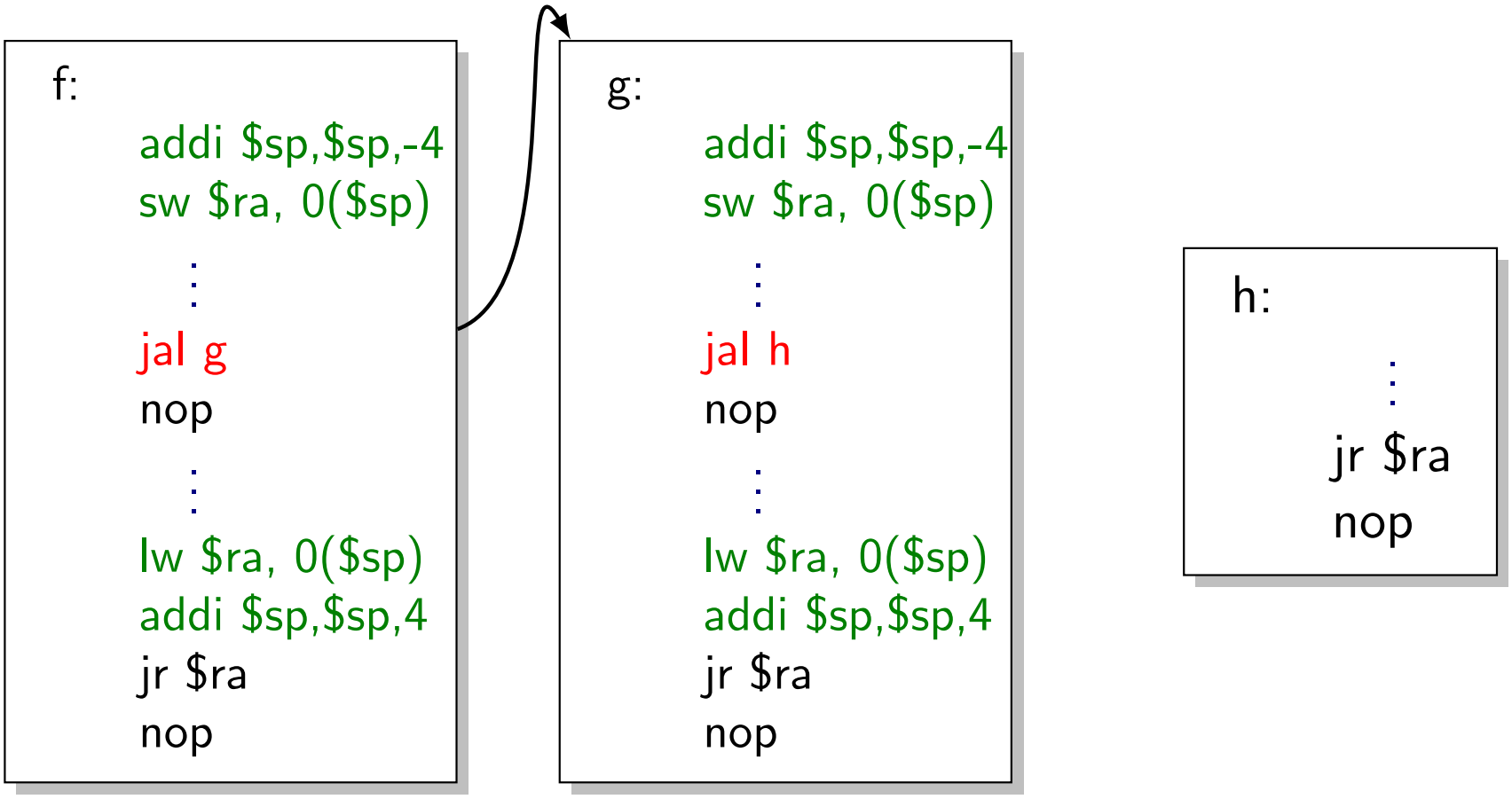
Chamadas encadeadas de funções



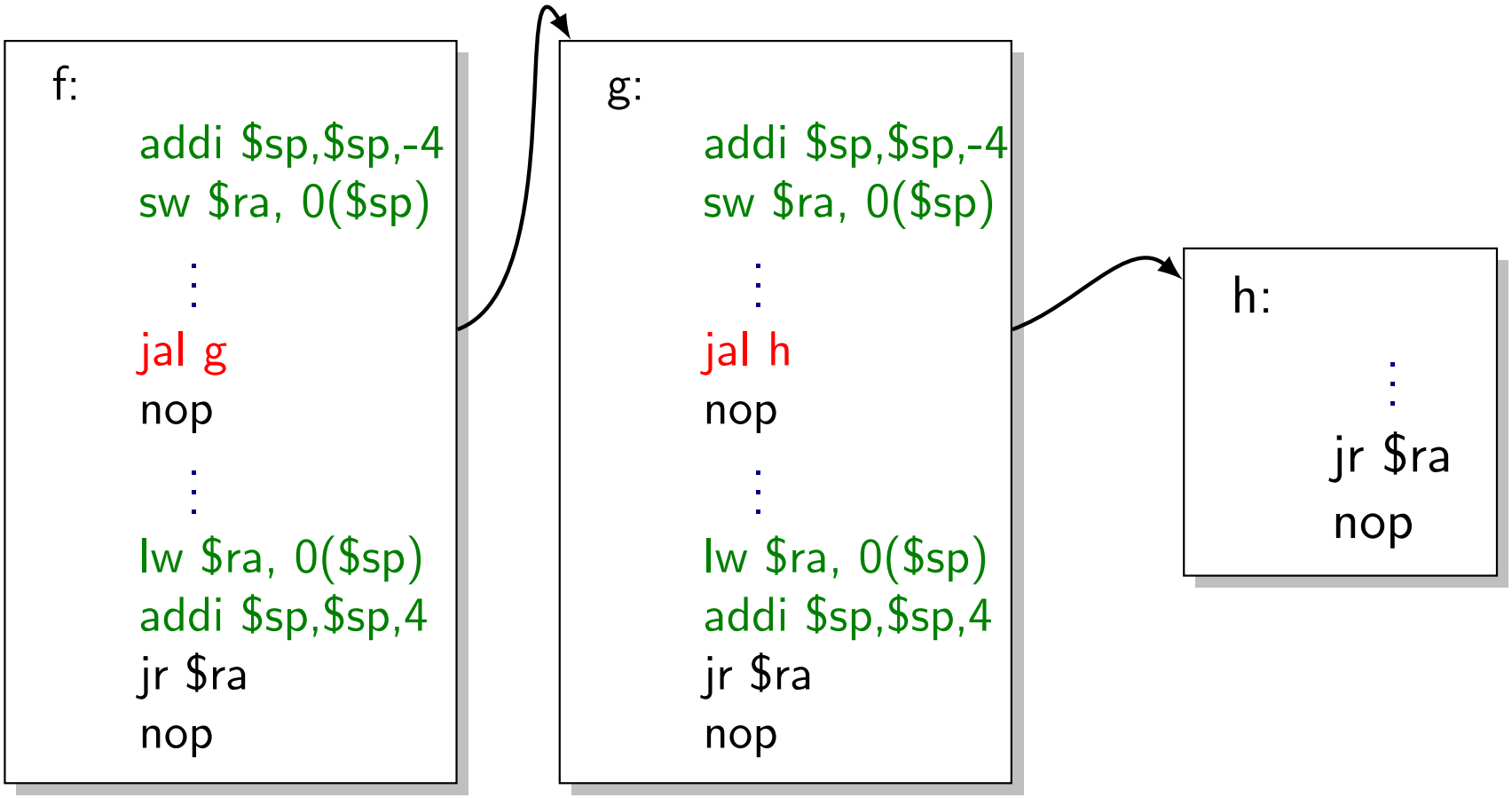
Como se resolve?

R: A função g deve guardar `$ra` na pilha antes no início da execução. Assim, poderá recuperar o *return address* correcto no final. O mesmo se passa com a função `f`.

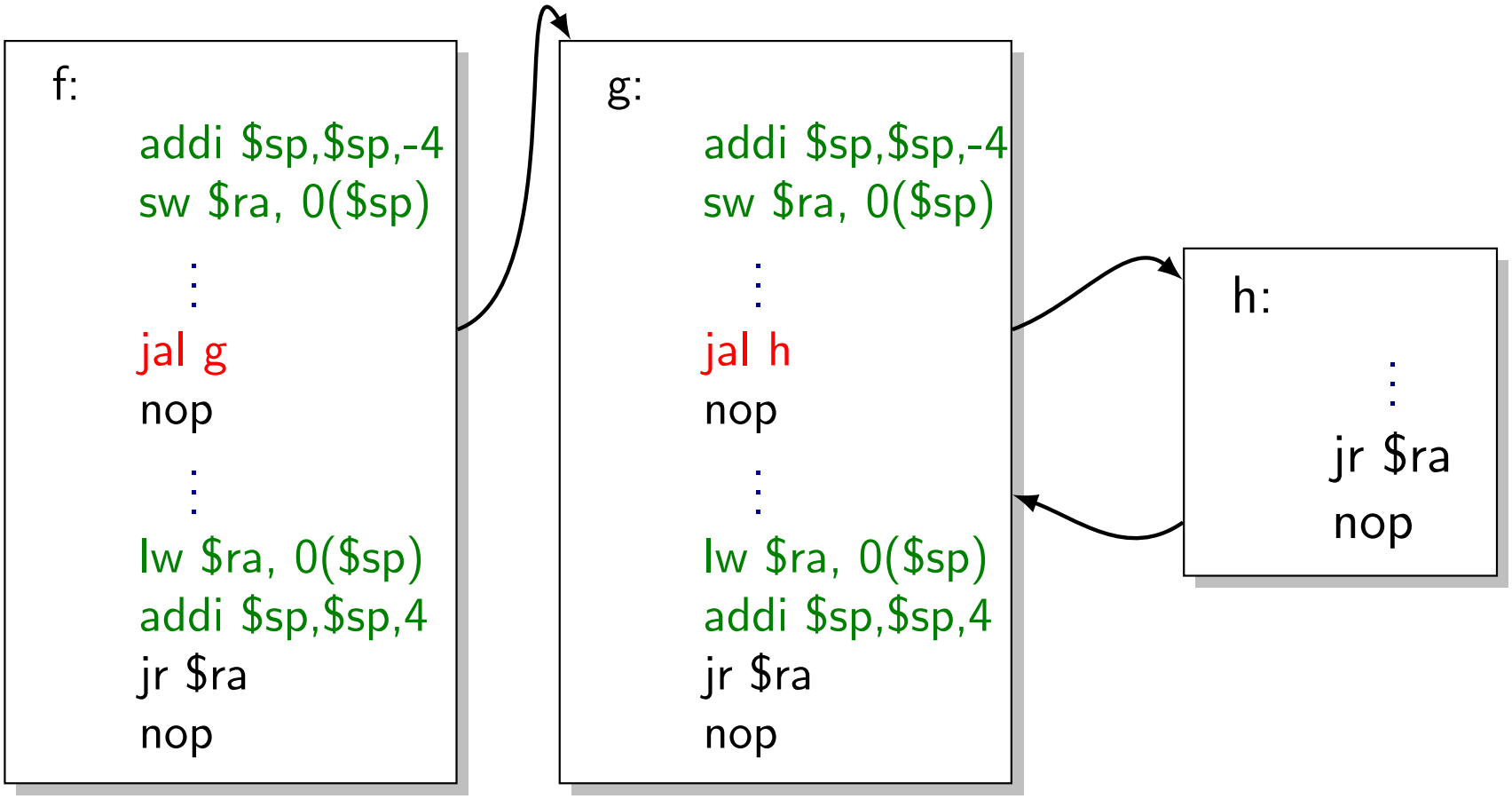
Chamadas encadeadas de funções



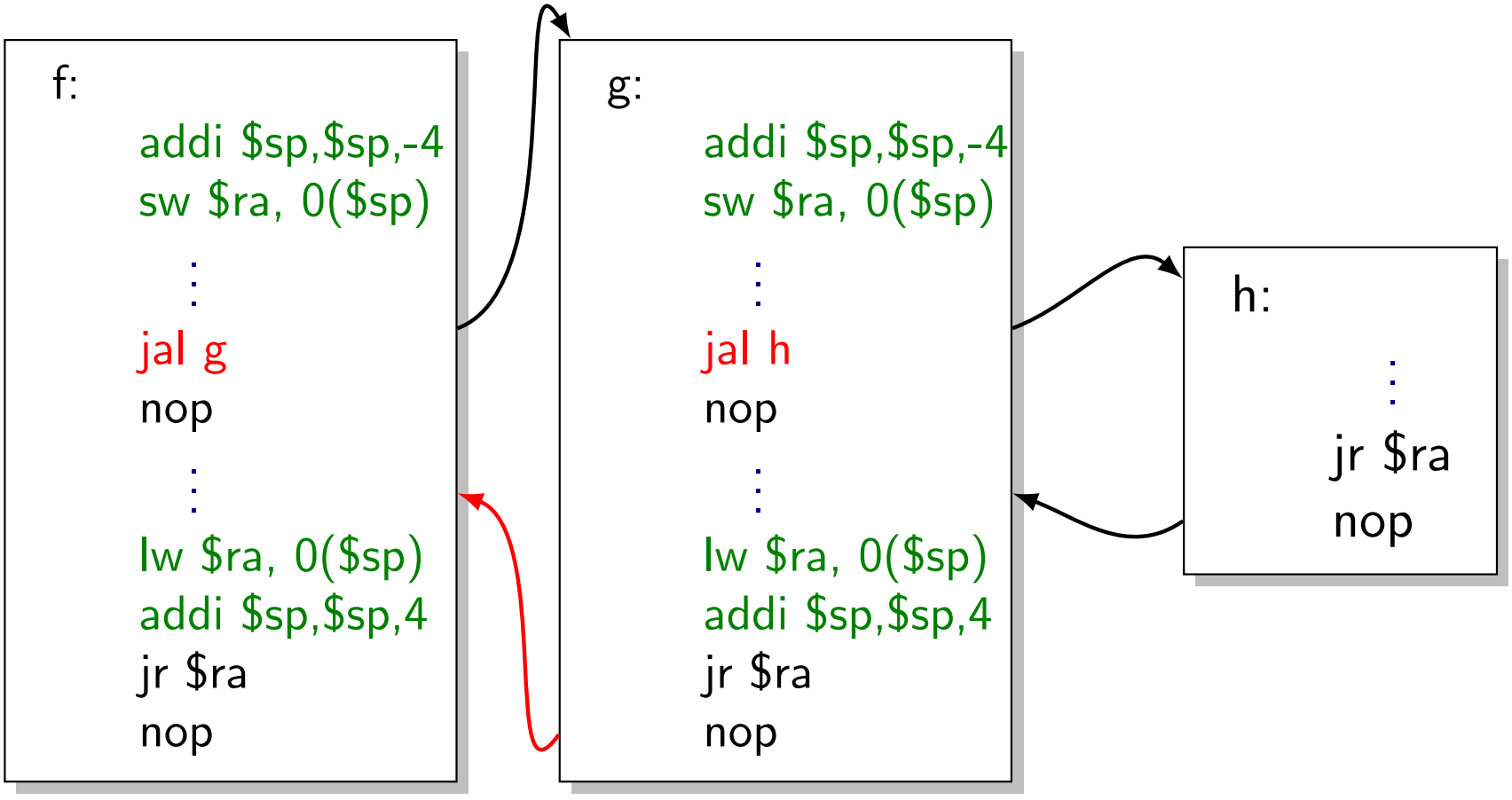
Chamadas encadeadas de funções



Chamadas encadeadas de funções



Chamadas encadeadas de funções



Definição (Recursividade)

É um método em que a solução para um problema envolve a solução de instâncias mais pequenas do mesmo problema. Normalmente, a recursividade é implementada por uma função (*função recursiva*) que se chama a ela própria.

```
1  int xpto(int a)
2  {
3      if (a == 0)
4          return 1;
5      else
6          return 2*xpto(a-1);
7  }
```

O que faz esta função?

Funções recursivas: implementação em assembly

```
1  int xpto(int a)
2  {
3    if (a == 0)
4      return 1;
5    else
6      return 2*xpto(a-1);
7  }
```

Funções recursivas: implementação em assembly

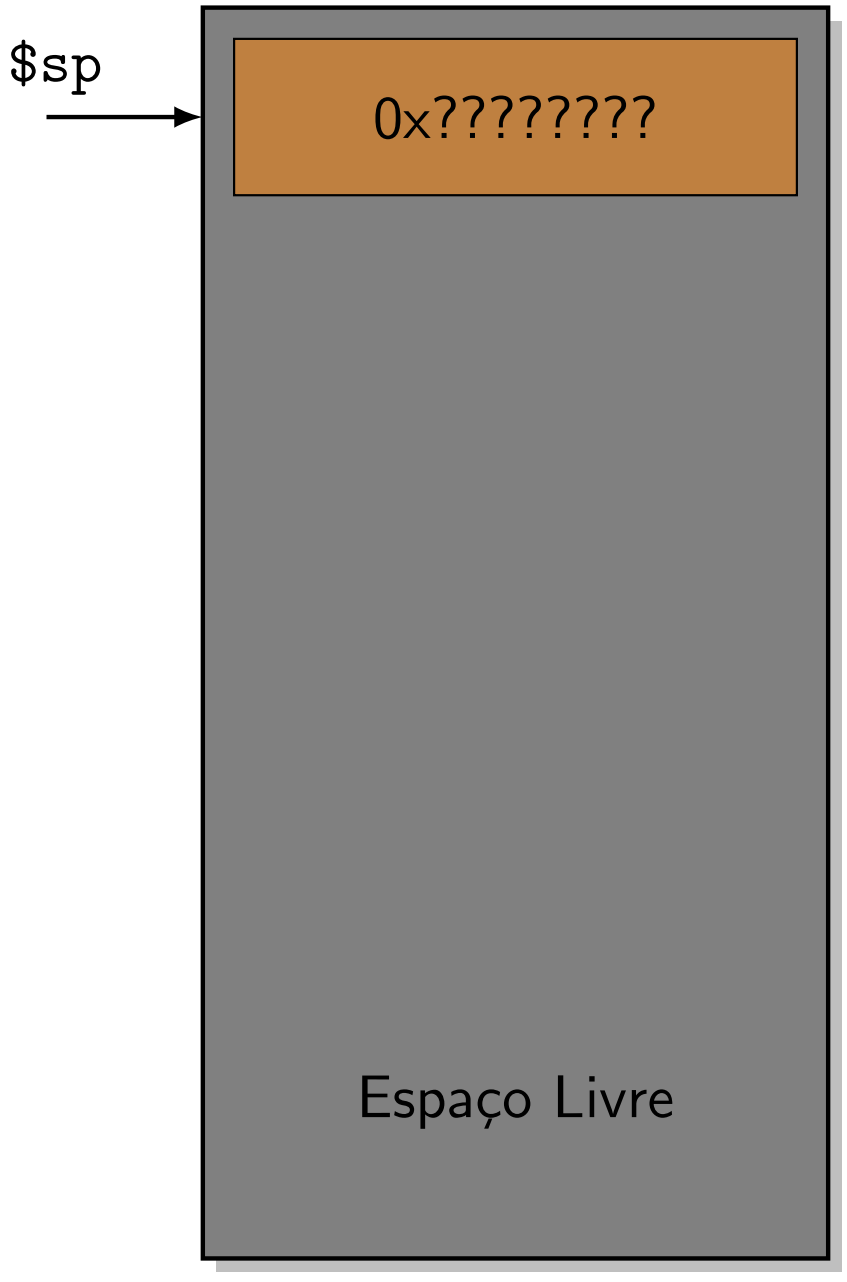
```
1  int xpto(int a)
2  {
3    if (a == 0)
4      return 1;
5    else
6      return 2*xpto(a-1);
7  }
```

```
1  xpto:
2    addi $sp, $sp, -4
3    sw $ra, 0($sp)
4    li $v0, 1
5    beq $a0, $zero, RETURN
6    nop
7
8    addi $a0, $a0, -1
9    jal xpto
10   nop        # v0=xpto(a0-1)
11   sll $v0, $v0, 1
12
13 RETURN:
14   lw $ra, 0($sp)
15   addi $sp, $sp, 4
16   jr $ra
17   nop
```

Exemplo: xpto(3)

`$sp = 0x7ffffffc`

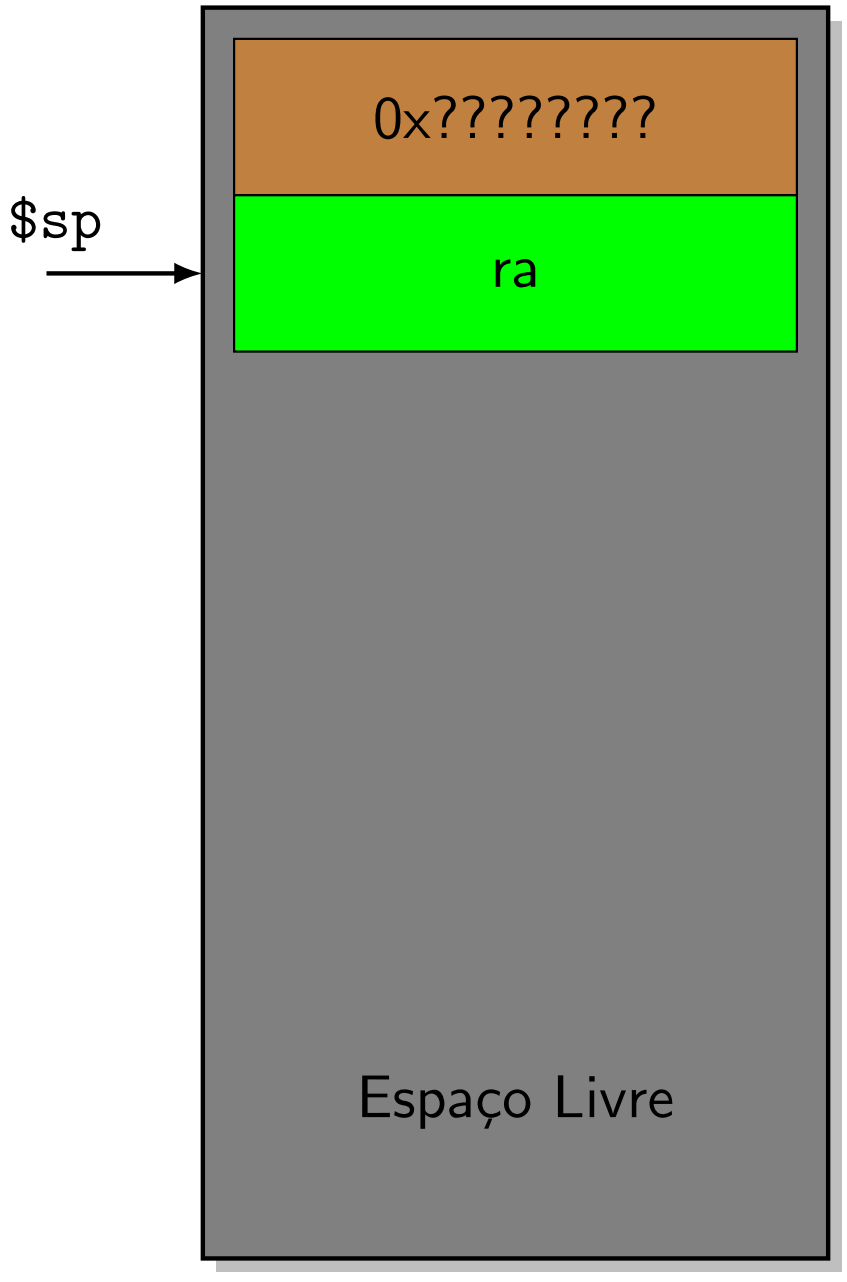
```
xpto:
  addi $sp, $sp, -4
  sw $ra, 0($sp)
  li $v0, 1
  beq $a0, $zero, RETURN
  nop

  addi $a0, $a0, -1
  jal xpto
  nop       # v0=xpto(a0-1)
  sll $v0, $v0, 1

RETURN:
  lw $ra, 0($sp)
  addi $sp, $sp, 4
  jr $ra
  nop
```



Exemplo: xpto(3)

`$sp = 0x7ffffff8`

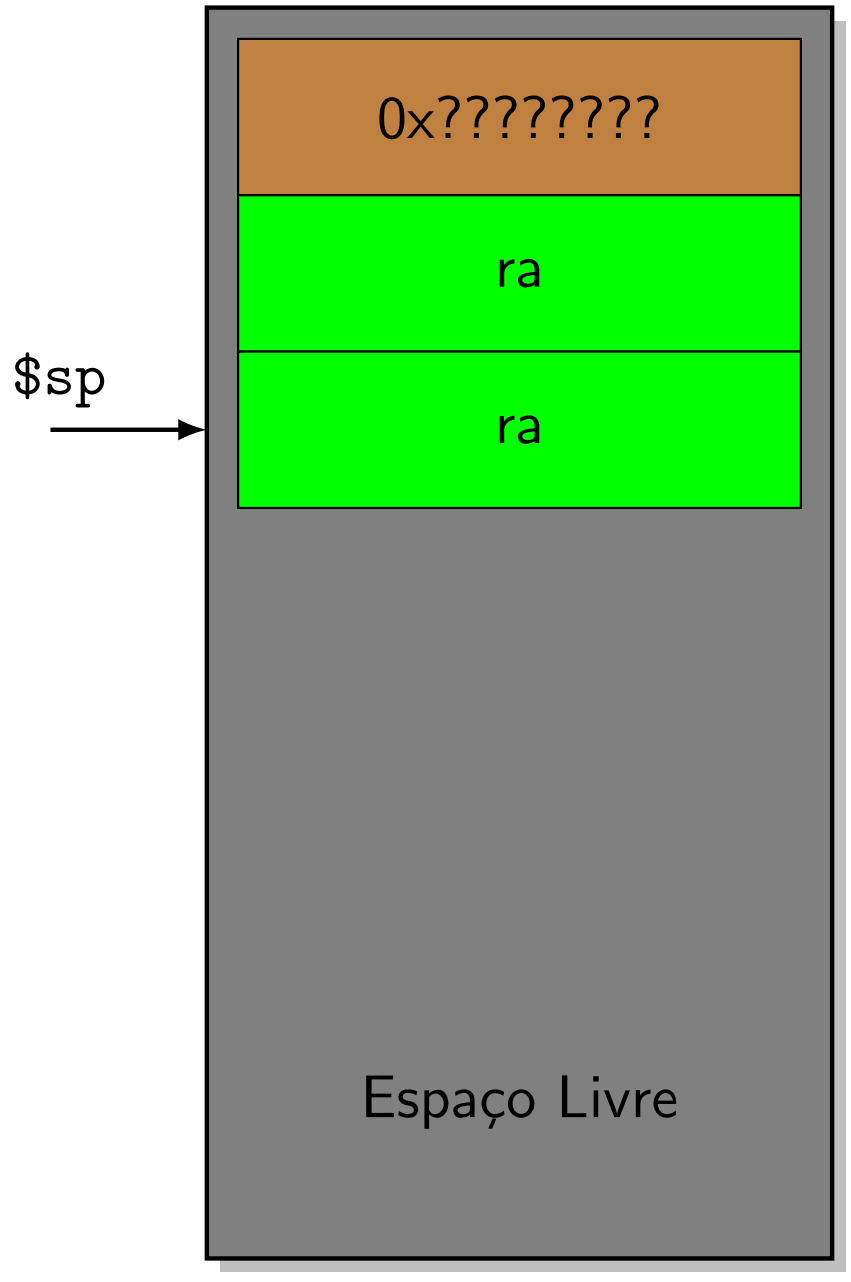
```
xpto:
  addi $sp, $sp, -4
  sw $ra, 0($sp)
  li $v0, 1
  beq $a0, $zero, RETURN
  nop

  addi $a0, $a0, -1
  jal xpto
  nop       # v0=xpto(a0-1)
  sll $v0, $v0, 1

RETURN:
  lw $ra, 0($sp)
  addi $sp, $sp, 4
  jr $ra
  nop
```



Exemplo: xpto(3)

`$sp = 0x7ffffff4`

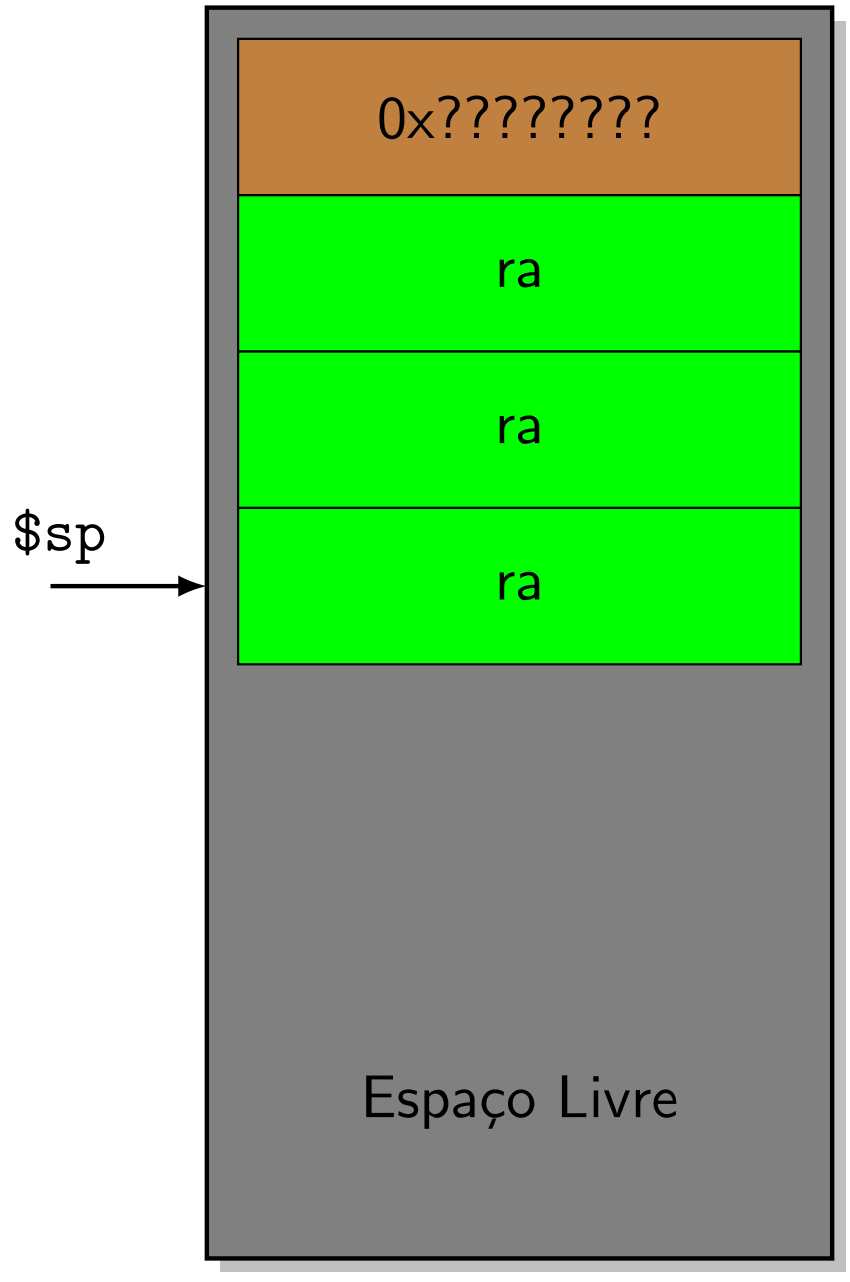
```
xpto:
  addi $sp, $sp, -4
  sw $ra, 0($sp)
  li $v0, 1
  beq $a0, $zero, RETURN
  nop

  addi $a0, $a0, -1
  jal xpto
  nop       # v0=xpto(a0-1)
  sll $v0, $v0, 1

RETURN:
  lw $ra, 0($sp)
  addi $sp, $sp, 4
  jr $ra
  nop
```



Exemplo: xpto(3)

$sp = 0x7ffffff0

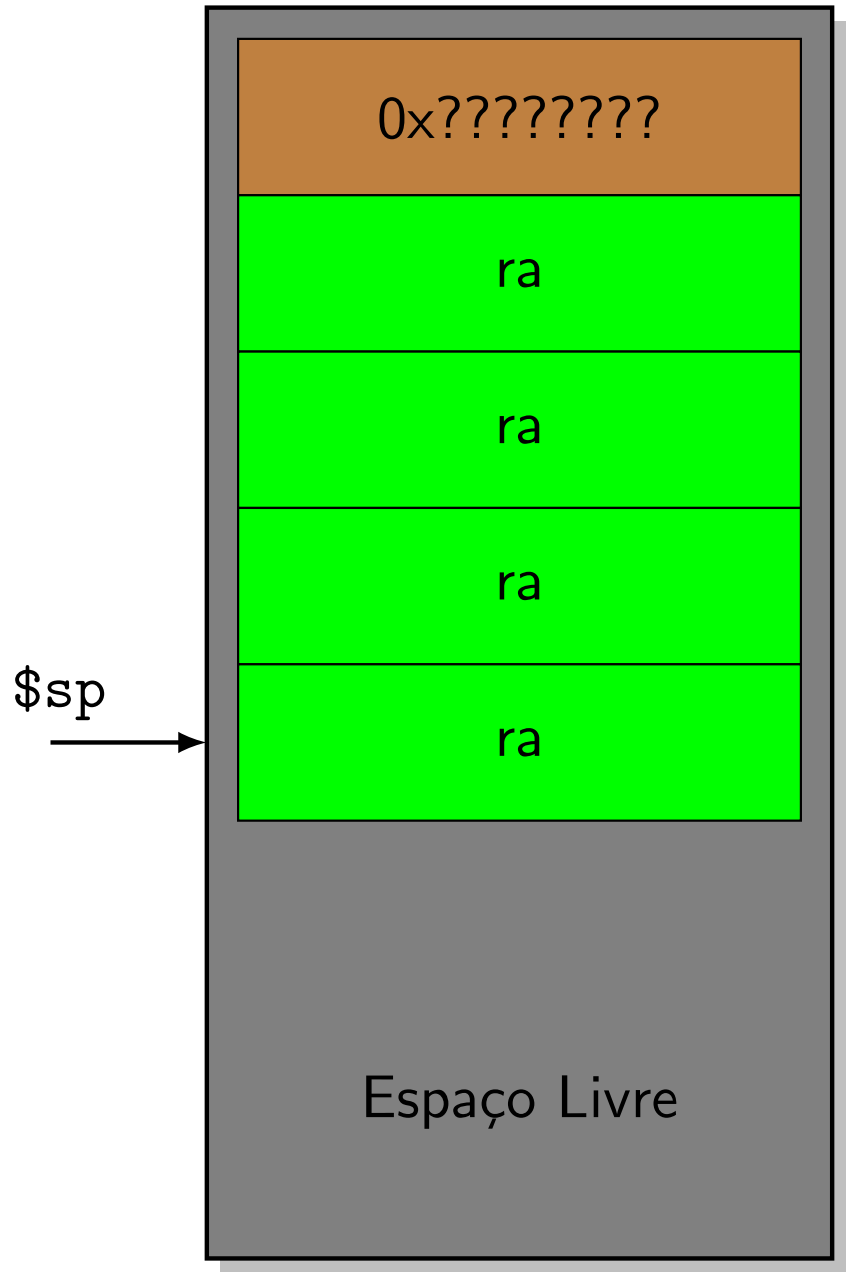
```
xpto:
  addi $sp, $sp, -4
  sw $ra, 0($sp)
  li $v0, 1
  beq $a0, $zero, RETURN
  nop

  addi $a0, $a0, -1
  jal xpto
  nop       # v0=xpto(a0-1)
  sll $v0, $v0, 1

RETURN:
  lw $ra, 0($sp)
  addi $sp, $sp, 4
  jr $ra
  nop
```



Exemplo: xpto(3)

`$sp = 0x7fffffec`

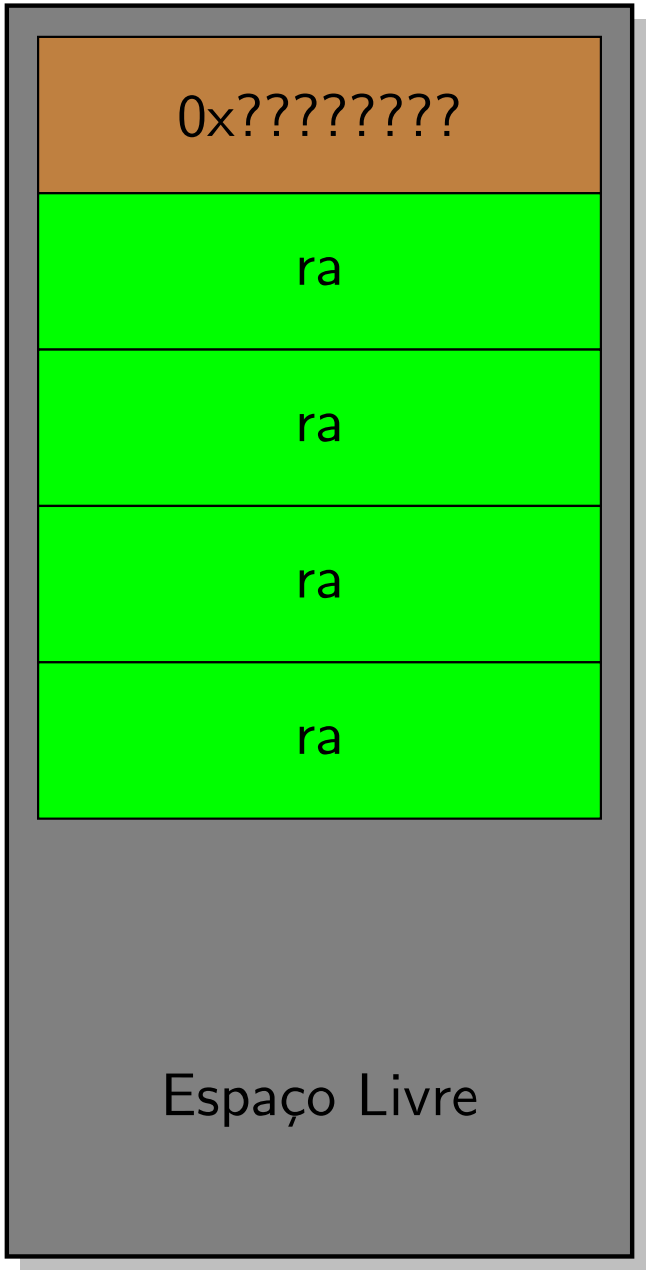
```
xpto:
  addi $sp, $sp, -4
  sw $ra, 0($sp)
  li $v0, 1
  beq $a0, $zero, RETURN
  nop

  addi $a0, $a0, -1
  jal xpto
  nop       # v0=xpto(a0-1)
  sll $v0, $v0, 1

RETURN:
  lw $ra, 0($sp)
  addi $sp, $sp, 4
  jr $ra
  nop
```



Exemplo: xpto(3)

`$sp = 0x7fffffec`

```
xpto:
  addi $sp, $sp, -4
  sw $ra, 0($sp)
  li $v0, 1
  beq $a0, $zero, RETURN
  nop

  addi $a0, $a0, -1
  jal xpto
  nop       # v0=xpto(a0-1)
  sll $v0, $v0, 1

RETURN:
  lw $ra, 0($sp)
  addi $sp, $sp, 4
  jr $ra
  nop
```



Exemplo: somatório de 1 a n

Pretende-se implementar $s(n) \triangleq \sum_{i=0}^{n} i = 0 + 1 + 2 + 3 + \cdots + n$.

```
1   s:  addi $sp, $sp, -8
2       sw $ra, 0($sp)
3       sw $s0, 4($sp)
4
5       li $v0,0
6       beq $a0, $zero, RETURN
7       nop
8       move $s0, $a0
9       addi $a0, $a0, -1
10      jal s
11      nop
12      add $v0, $v0, $s0
13
14  RETURN:
15      lw $ra, 0($sp)
16      lw $s0, 4($sp)
17      addi $sp, $sp, 8
18      jr $ra
19      nop
```

Variáveis locais

As variáveis locais de uma função podem ser armazenadas em dois sítios:

- registos (e.g. variáveis do tipo int ou char)
- pilha (para todos os tipos: int, char, arrays, estruturas, ...)

Variáveis locais

As variáveis locais de uma função podem ser armazenadas em dois sítios:

- registos (e.g. variáveis do tipo int ou char)
- pilha (para todos os tipos: int, char, arrays, estruturas, ...)

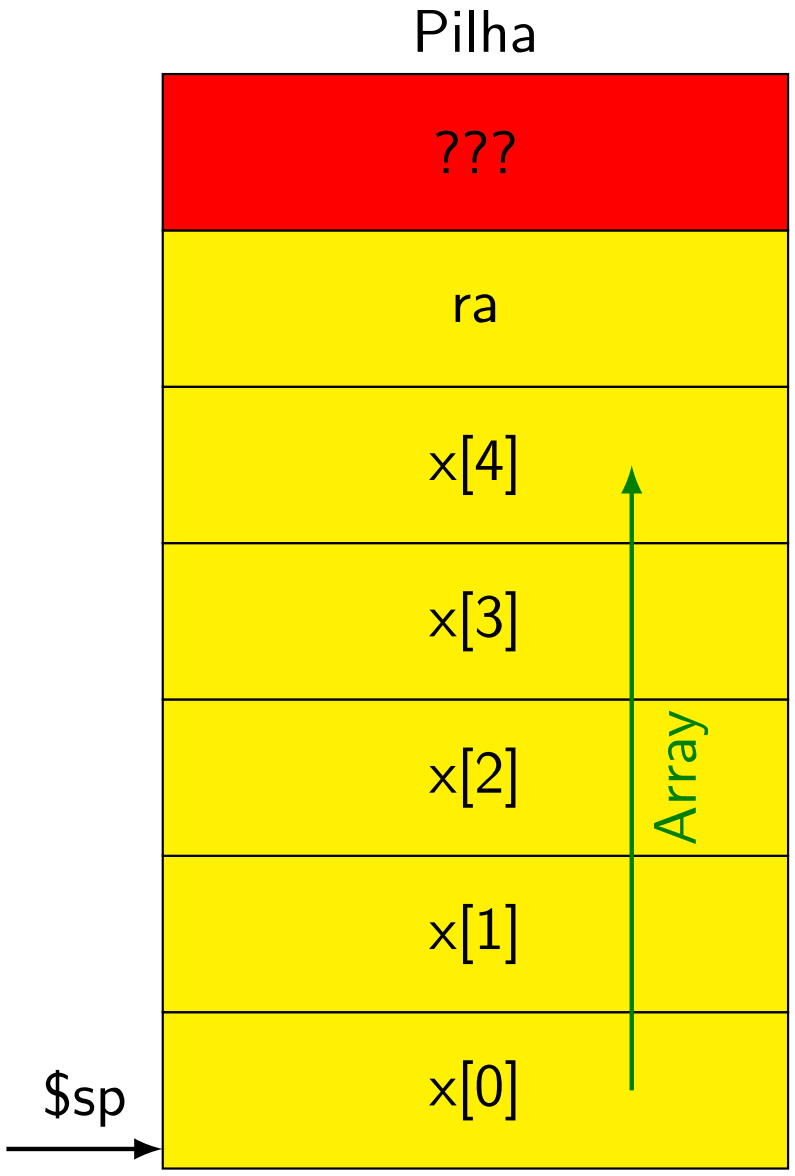
Porquê?

- Arrays, pela sua natureza, só podem residir em memória RAM.
- Para os inteiros depende do que dá mais "jeito" e da quantidade de registos disponíveis.

Variáveis locais

```
int f(int n)
{
  int a;
  int x[5];

  a = g(n);
  ...
}
```

- Array `x[]` é alocado na pilha.

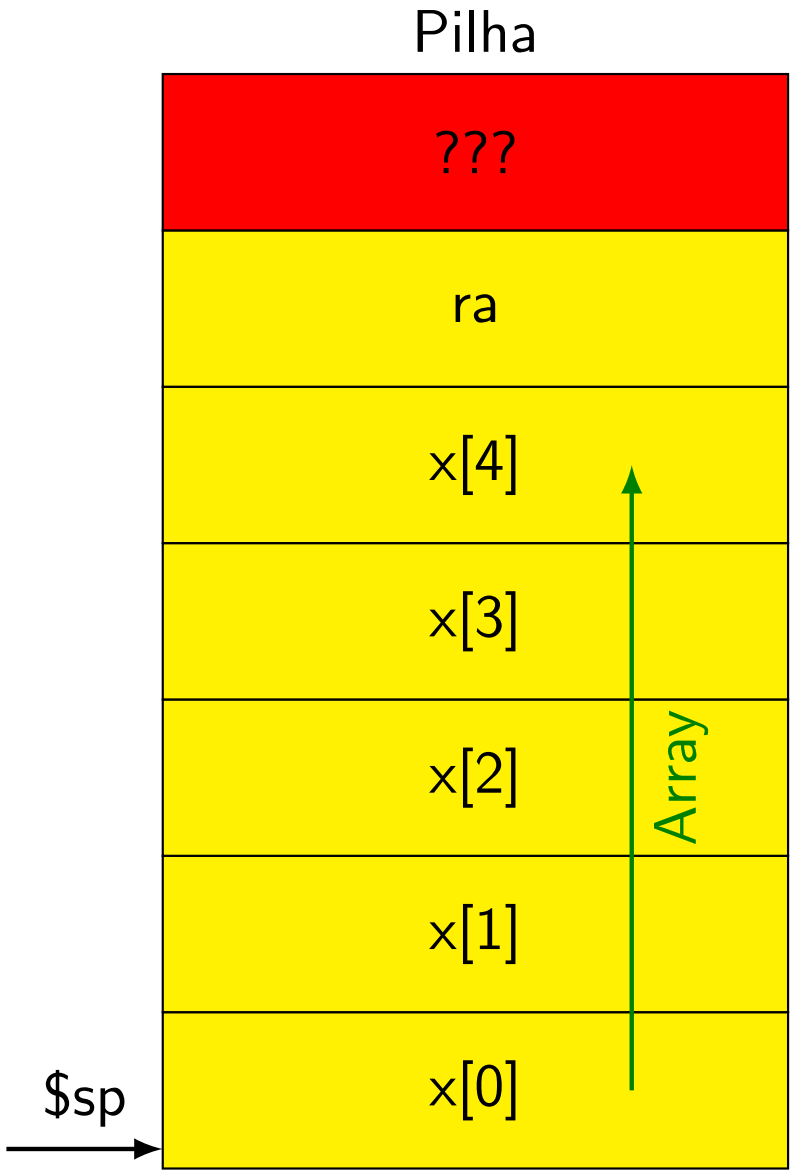


Variáveis locais

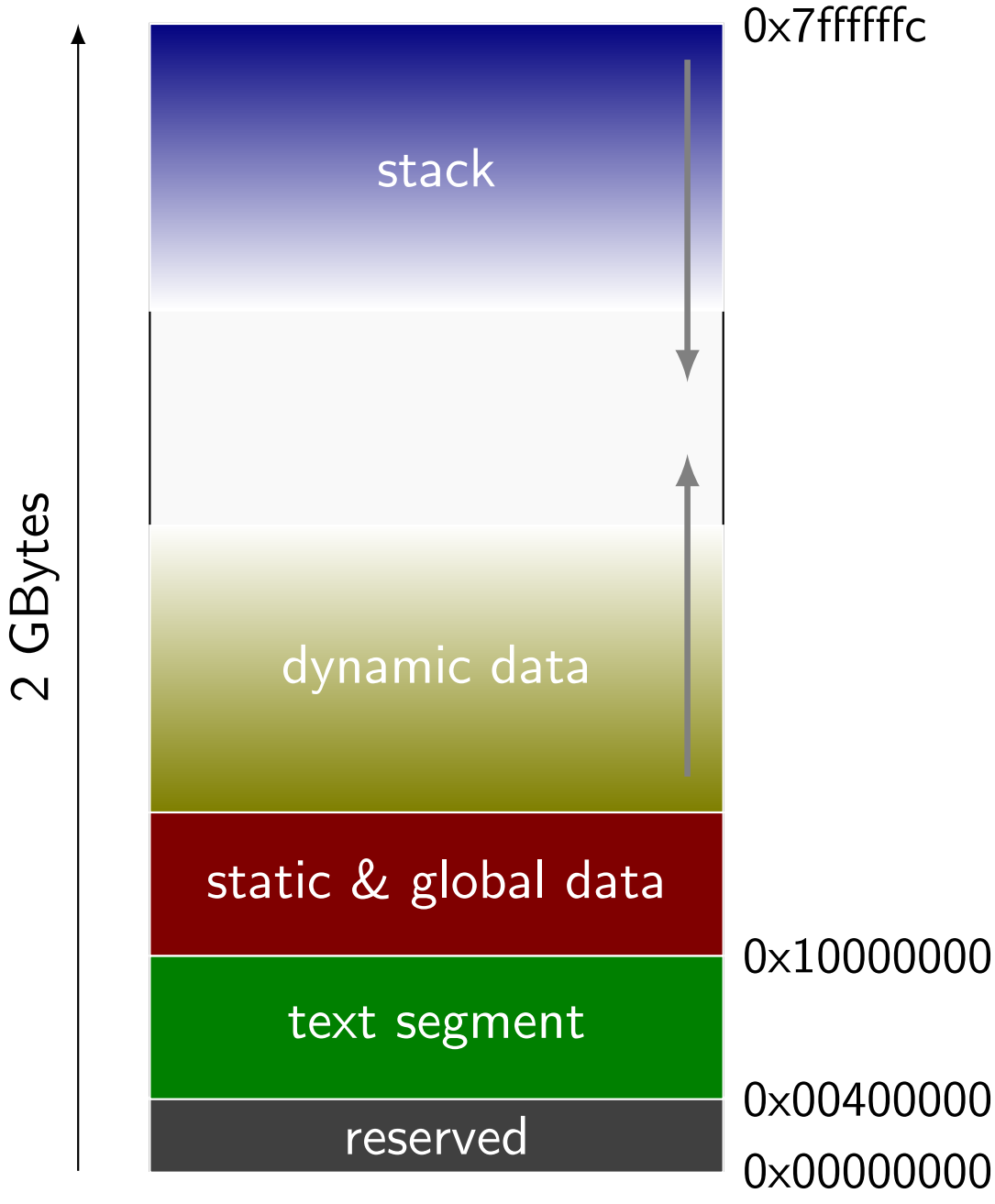
```
int f(int n)
{
  int a;
  int x[5];

  a = g(n);
  ...
}
```

- Array `x[]` é alocado na pilha.
- Para obter x[2] faz-se

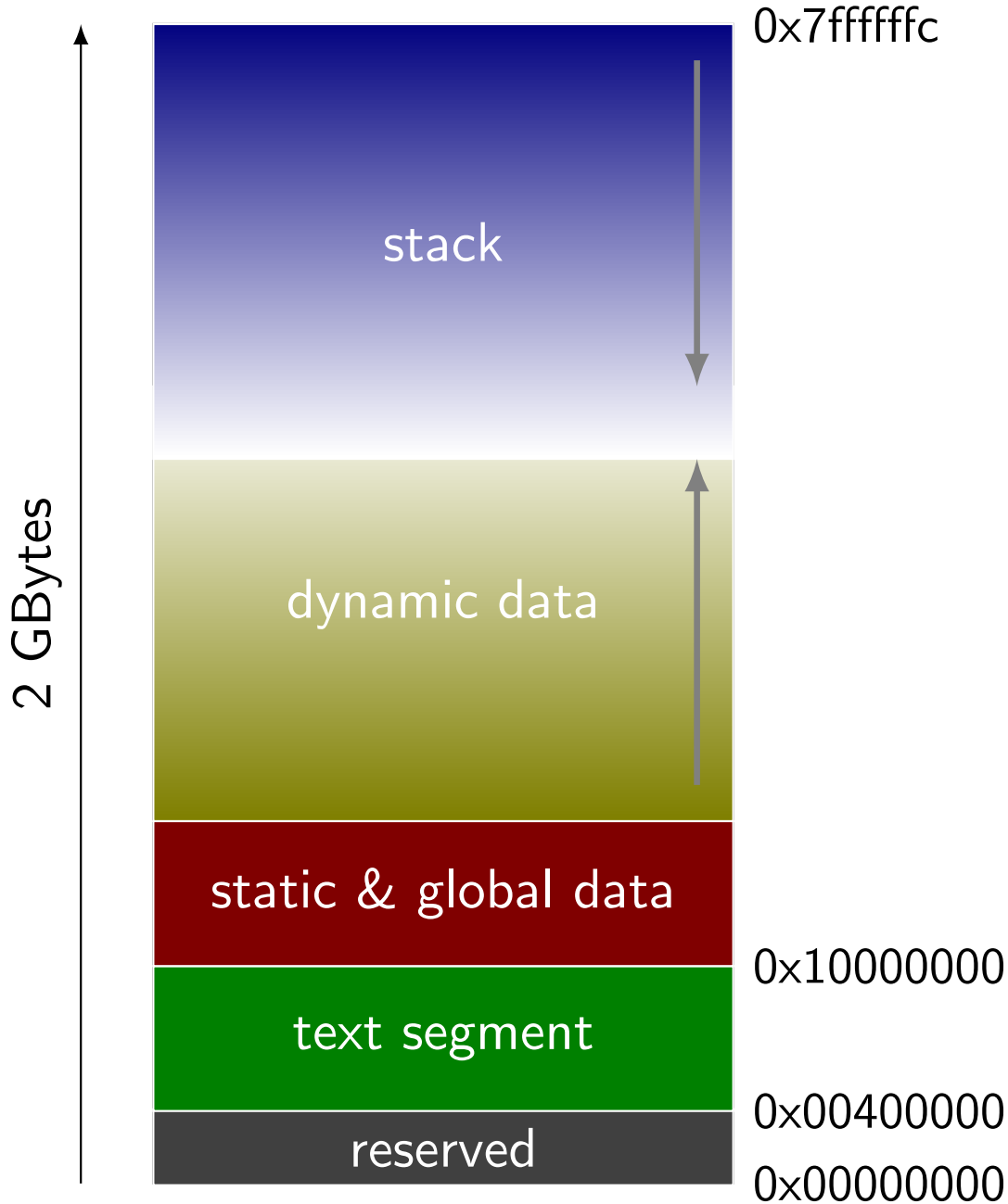
  `lw $t0, 8($sp)`



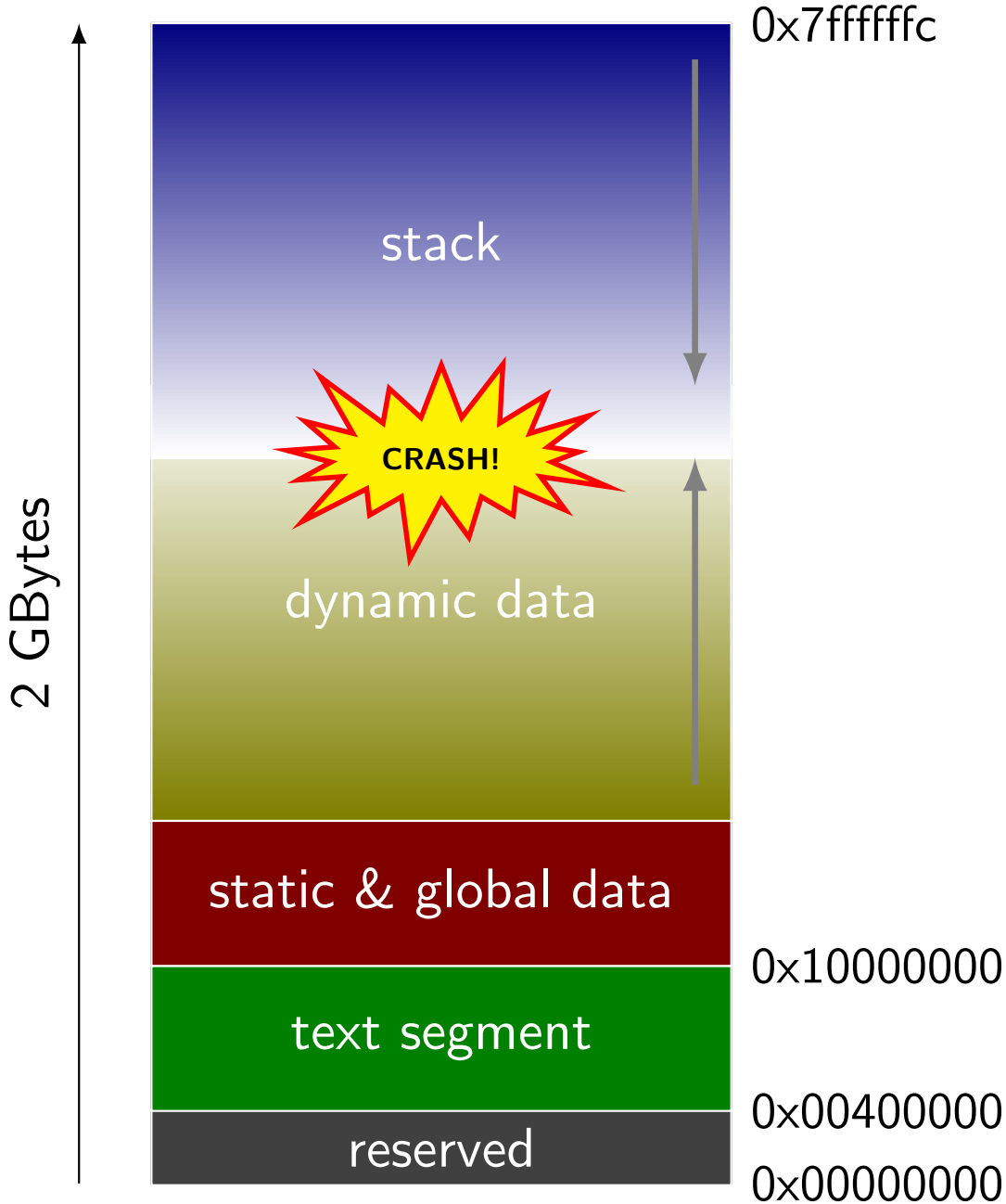
Espaço de endereçamento



Espaço de endereçamento



Espaço de endereçamento



Global Pointer

- A *static & global data segment* é uma região de memória de tamanho 64kBytes, com início no endereço `0x10000000`.
- Para facilitar o acesso a esta região, é usado o registo `$gp` (Global Pointer).
- O registo `$gp` aponta para o endereço `0x10008000`.
- Este endereço fica a meio da região, com 32 kB para baixo e para cima.
- É usado para aceder a dados desde

```
lw $t0, -32768($gp)
```

até

```
lw $t0, 32764($gp)
```