



## Estrutura do tema ISA do IA32

1. Desenvolvimento de programas no IA32 em Linux
2. Acesso a operandos e operações
3. Suporte a estruturas de controlo
4. Suporte à invocação/retorno de funções
5. Análise comparativa: IA-32 (CISC) e MIPS (RISC)
6. Acesso e manipulação de dados estruturados



## Estrutura de uma função ( / procedimento )

### – parte visível ao programador em HLL


- código do corpo da função
- passagem de parâmetros para a função ...  
... e valor devolvido pela função
- alcance das variáveis: locais, externas ou globais

### – parte menos visível em HLL: a gestão do contexto da função

- variáveis locais (propriedades)
- variáveis externas e globais (localização e acesso)
- parâmetros e valor a devolver pela função (propriedades)
- gestão do contexto (controlo & dados)



## Análise do contexto de uma função

- **propriedades das variáveis locais:**
  - visíveis apenas durante a execução da função
  - deve suportar aninhamento e recursividade
  - localização ideal: em registo, se os houver; mas...
  - localiz. no cód. p/ IA32: em registo, enquanto houver...
- **variáveis externas e globais (em memória):**
  - externas: valor ou localização expressa na lista de argumentos
  - globais: localização definida pelo *linker & loader*
- **propriedades dos parâmetros (só de entrada em C!):**
  - por valor (c<sup>te</sup> ou variável) ou por apontador (localização da var)
  - designação independente (chamadora/chamada) 
  - deve suportar aninhamento e recursividade
  - localização ideal: em registo, se os houver; mas...
  - localização no código p/ IA32: na memória (*stack*)
- **valor a devolver pela função:**
  - é uma quantidade escalar, do tipo inteiro ou real
  - localização: em registo (IA32: no registo *eax* e/ou *edx*)
- **gestão do contexto (controlo & dados) ...**



## Análise do código de gestão de uma função

### – invocação e regresso

- instrução de salto, mas com salvaguarda do end. regresso
  - em registo (RISC; aninhamento / recursividade ? )
  - em memória/*stack* (IA32; aninhamento / recursividade ? )

### – invocação e regresso

- instrução de salto para o endereço de regresso

### – salvaguarda & recuperação de registos (na *stack*)

- função chamadora ? (nenhum/ alguns/ todos ? RISC/IA32 ? )
- função chamada? (nenhum/ alguns/ todos ? RISC/IA32 ? )

### – gestão do contexto (em *stack*)

- actualização/recuperação do *frame pointer* (IA32... )
- reserva/libertação de espaço para variáveis locais

## Análise de exemplos

### – revisão do exemplo swap

- análise das fases: inicialização, corpo, término
- análise dos contextos (IA32)
- evolução dos contextos na *stack* (IA32)

### – evolução de um exemplo: Fibonacci

- análise de uma compilação do gcc

### – aninhamento e recursividade

- evolução dos contextos na *stack*

```
void swap(int *xp, int *yp)
{
    int t0 = *xp;
    int t1 = *yp;
    *xp = t1;
    *yp = t0;
}

void call_swap()
{
    int zip1 = 15213;
    int zip2 = 91125;
    (...)
    swap(&zip1, &zip2);
    (...)
}
```

## Utilização dos registos (de inteiros)

–Três do tipo *caller-save*

**Caller-Save** %eax, %edx, %ecx

- *save/restore*: função chamadora

–Três do tipo *callee-save*

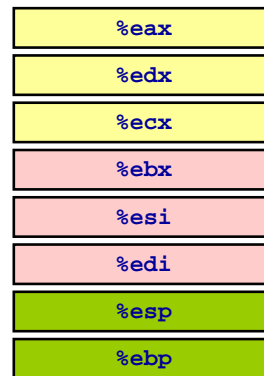
**Callee-Save** %ebx, %esi, %edi

- *save/restore*: função chamada

–Dois apontadores (na *stack*)

**Pointers** %esp, %ebp

- topo da *stack*, base/referência na *stack*



**Nota:** valor de retorno da função em %eax

```
void swap(int *xp, int *yp)
{
    int t0 = *xp;
    int t1 = *yp;
    *xp = t1;
    *yp = t0;
}
```

```
swap:
    pushl %ebp
    movl %esp,%ebp
    pushl %ebx
}
    movl 12(%ebp),%ecx
    movl 8(%ebp),%edx
    movl (%ecx),%eax
    movl (%edx),%ebx
    movl %eax,(%edx)
    movl %ebx,(%ecx)
}
    movl -4(%ebp),%ebx
    movl %ebp,%esp
    popl %ebp
    ret
```

## Análise dos contextos em swap, no IA32

```

void swap(int *xp, int *yp)
{
    int t0 = *xp;
    int t1 = *yp;
    *xp = t1;
    *yp = t0;
}

void call_swap()
{
    int zip1 = 15213;
    int zip2 = 91125;
    (...)
    swap(&zip1, &zip2);
    (...)
}
    
```

- em call\_swap
- na invocação de swap
- na execução de swap
- de volta a call\_swap

**Que contextos (IA32)?**

- passagem de parâmetros
  - via stack
- espaço para variáveis locais
  - na stack
- info de suporte à gestão (stack)
  - endereço de regresso
  - apontador para a stack frame
  - salvaguarda de registos

## Construção do contexto na stack, no IA32

call\_swap

swap

- Antes de invocar swap
- Preparação p/ invocar swap
  - salvaguardar registos?
  - passagem de parâmetros
- Invocar swap
  - guardar endereço de regresso
  - Início de swap
    - atualizar frame pointer
    - salvaguardar registos?
    - reservar espaço p/ locais
  - Corpo de swap
  - Término de swap ...
    - libertar espaço de var locais
    - recuperar registos?
    - recuperar antigo frame pointer
    - voltar a call\_swap
- Terminar invocação de swap ...
  - libertar espaço com parâmetros na stack
  - recuperar registos?

## Evolução da stack, no IA32 (1)

**1. Antes de invocar swap**

```

void swap(int *xp, int *yp)
{
    int t0 = *xp;
    int t1 = *yp;
    *xp = t1;
    *yp = t0;
}

void call_swap()
{
    int zip1 = 15213;
    int zip2 = 91125;
    (...)
    swap(&zip1, &zip2);
    (...)
}
    
```

## Evolução da stack, no IA32 (2)

**2. Preparação p/ invocar swap**

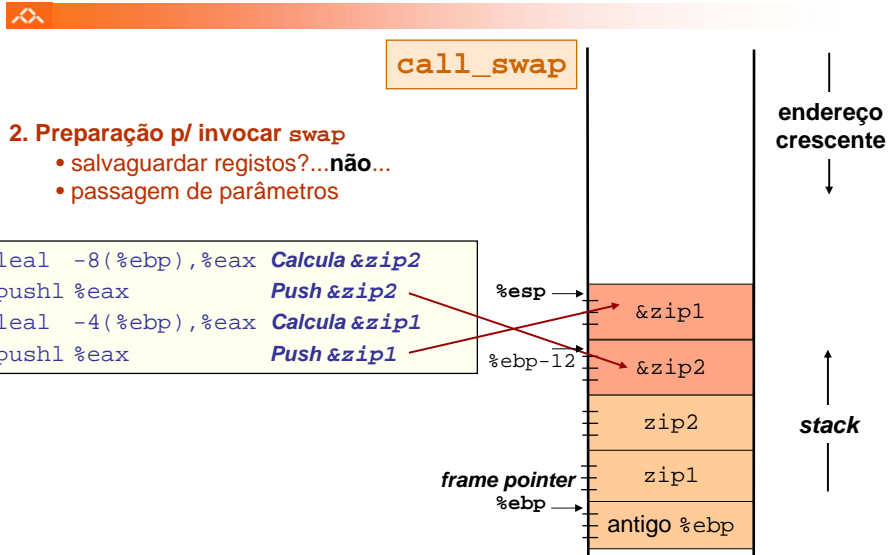
- salvaguardar registos? ... não...
- passagem de parâmetros

```

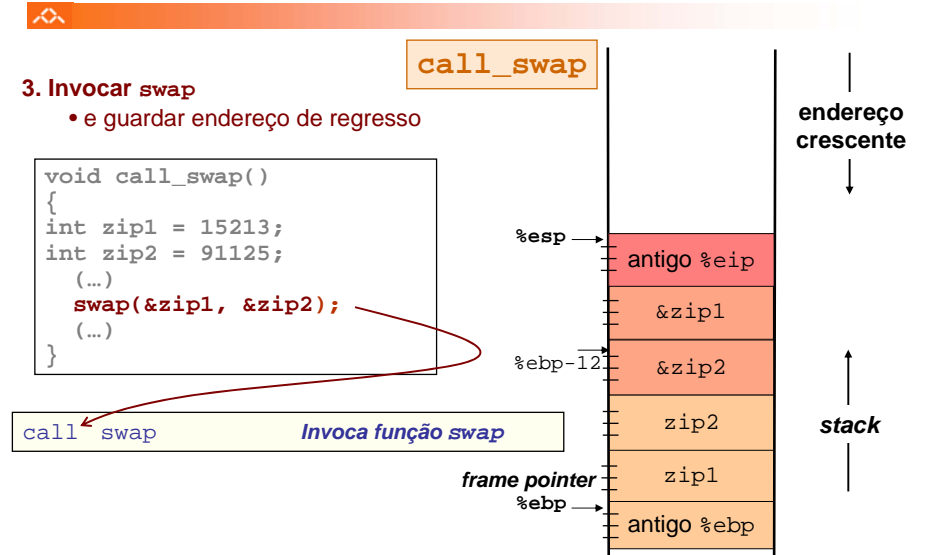
void swap(int *xp, int *yp)
{
    int t0 = *xp;
    int t1 = *yp;
    *xp = t1;
    *yp = t0;
}

void call_swap()
{
    int zip1 = 15213;
    int zip2 = 91125;
    (...)
    swap(&zip1, &zip2);
    (...)
}
    
```

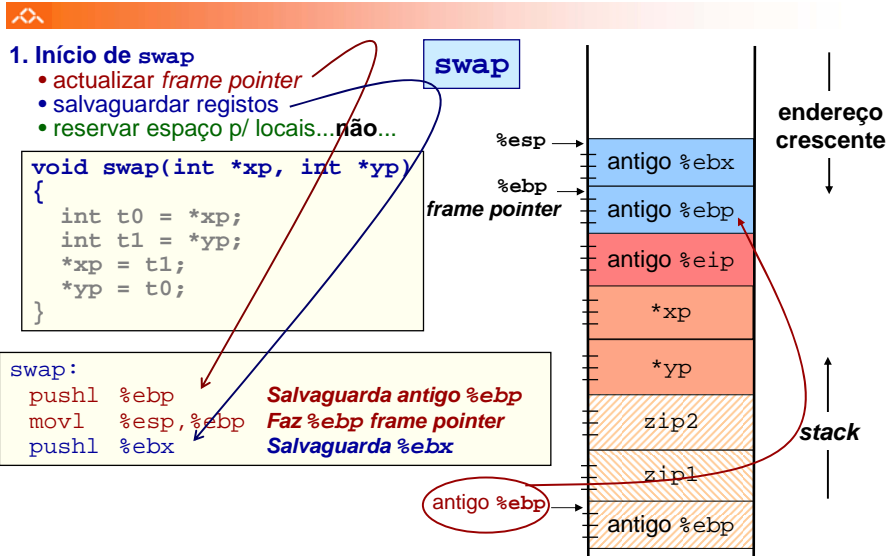
### Evolução da stack, no IA32 (3)



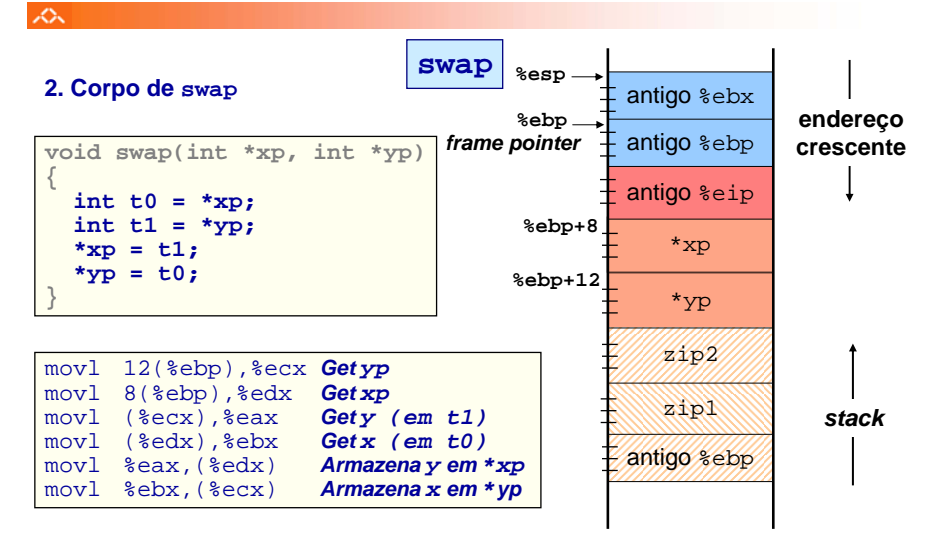
### Evolução da stack, no IA32 (4)



### Evolução da stack, no IA32 (5)



### Evolução da stack, no IA32 (6)



### Evolução da stack, no IA32 (7)

#### 3. Término de swap ...

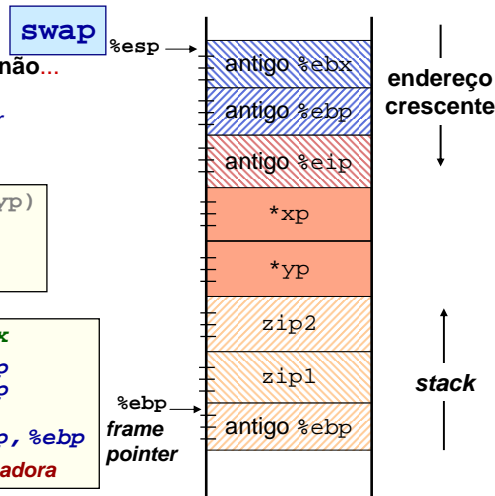
- libertar espaço de var locais...**não**...
- recuperar registos
- recuperar antigo *frame pointer*
- voltar a *call\_swap*

```
void swap(int *xp, int *yp)
{
    (...)
}
```

```
popl %ebx      Recupera %ebx
movl %ebp, %esp Recupera %esp
popl %ebp      Recupera %ebp

ou

leave         Recupera %esp, %ebp
ret          Volta à f. chamadora
```



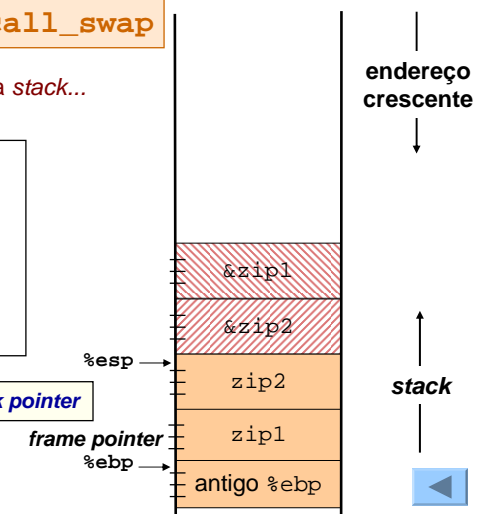
### Evolução da stack, no IA32 (8)

#### 4. Terminar invocação de swap ...

- libertar espaço de parâmetros na *stack*...
- recuperar registos?...**não**...

```
void call_swap()
{
    int zip1 = 15213;
    int zip2 = 91125;
    (...)
    swap(&zip1, &zip2);
    (...)
}
```

```
addl $8, (%esp)  Actualiza stack pointer
```



### A série de Fibonacci no IA32 (1)

```
int fib_dw(int n)
{
    int i = 0;
    int val = 0;
    int nval = 1;

    do {
        int t = val + nval;
        val = nval;
        nval = t;
        i++;
    } while (i<n);

    return val;
}
```

do-while

```
int fib_f(int n)
{
    int i;
    int val = 1;
    int nval = 1;

    for (i=1; i<n; i++) {
        int t = val + nval;
        val = nval;
        nval = t;
    }

    return val;
}
```

for

```
int fib_w(int n)
{
    int i = 1;
    int val = 1;
    int nval = 1;

    while (i<n) {
        int t = val + nval;
        val = nval;
        nval = t;
        i++;
    }

    return val;
}
```

while

```
int fib_rec (int n)
{
    int prev_val, val;
    if (n<=2)
        return (1);
    prev_val = fib_rec (n-2);
    val = fib_rec (n-1);
    return (prev_val+val);
}
```

função recursiva

### A série de Fibonacci no IA32 (2)

#### função recursiva

```
int fib_rec (int n)
{
    int prev_val, val;
    if (n<=2)
        return (1);
    prev_val = fib_rec (n-2);
    val = fib_rec (n-1);
    return (prev_val+val);
}
```

```
_fib_rec:
    pushl %ebp
    movl %esp, %ebp      Actualiza frame pointer

    subl $12, %esp      Reserva espaço na stack para 3 int's
    movl %ebx, -8(%ebp)  Salvaguarda os 2 reg's que vão ser usados;
    movl %esi, -4(%ebp)  de notar a forma de usar a stack...

    movl 8(%ebp), %esi
```

### A série de Fibonacci no IA32 (3)

### A série de Fibonacci no IA32 (4)

**função recursiva**

```
int fib_rec (int n)
{
  int prev_val, val;
  if (n<=2)
    return (1);
  prev_val = fib_rec (n-2);
  val = fib_rec (n-1);
  return (prev_val+val);
}
```

```
...
movl %esi, -4(%ebp)
movl 8(%ebp), %esi    Coloca o argumento n em %esi
movl $1, %eax        Coloca já o valor de retorno em %eax
cmpl $2, %esi        n<=2 ?
jle L1              Se sim, salta para o fim
leal -2(%esi), %eax Se não, ...
...
L1:
movl -8(%ebp), %ebx
```

**função recursiva**

```
int fib_rec (int n)
{
  int prev_val, val;
  if (n<=2)
    return (1);
  prev_val = fib_rec (n-2);
  val = fib_rec (n-1);
  return (prev_val+val);
}
```

```
...
jle L1          Se sim, salta para o fim
leal -2(%esi), %eax Se não, ... calcula n-2, e...
movl %eax, (%esp) ... coloca-o no topo da stack (argumento)
call _fib_rec    Invoca a função fib_rec e ...
movl %eax, %ebx  ... guarda o valor de prev_val em %ebx
leal -1(%esi), %eax
...
```

### A série de Fibonacci no IA32 (5)

### A série de Fibonacci no IA32 (6)

**função recursiva**

```
int fib_rec (int n)
{
  int prev_val, val;
  if (n<=2)
    return (1);
  prev_val = fib_rec (n-2);
  val = fib_rec (n-1);
  return (prev_val+val);
}
```

```
...
movl %eax, %ebx
leal -1(%esi), %eax Calcula n-1, e...
movl %eax, (%esp)   ... coloca-o no topo da stack (argumento)
call _fib_rec       Chama de novo a função fib_rec
leal (%eax,%ebx), %eax
...
```

**função recursiva**

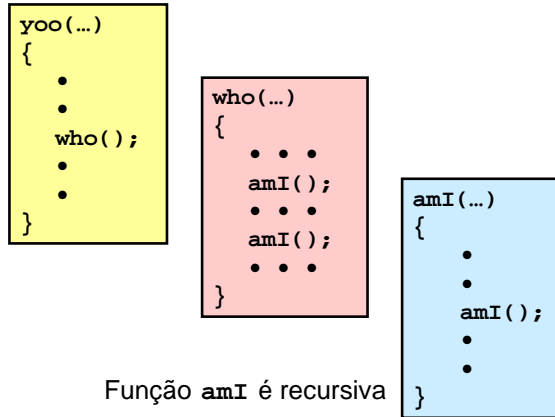
```
int fib_rec (int n)
{
  int prev_val, val;
  if (n<=2)
    return (1);
  prev_val = fib_rec (n-2);
  val = fib_rec (n-1);
  return (prev_val+val);
}
```

```
...
call _fib_rec
leal (%eax,%ebx), %eax Calcula e coloca em %eax o valor de retorno
L1:
movl -8(%ebp), %ebx
movl -4(%ebp), %esi    Recupera o valor dos 2 reg's usados
movl %ebp, %esp       Atualiza o valor do stack pointer
popl %ebp             Recupera o anterior valor do frame pointer
ret
```

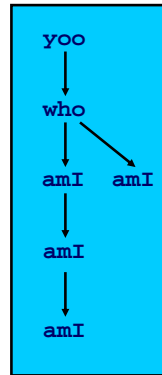
Exemplo de cadeia de invocações no IA32 (1)



Estrutura do código



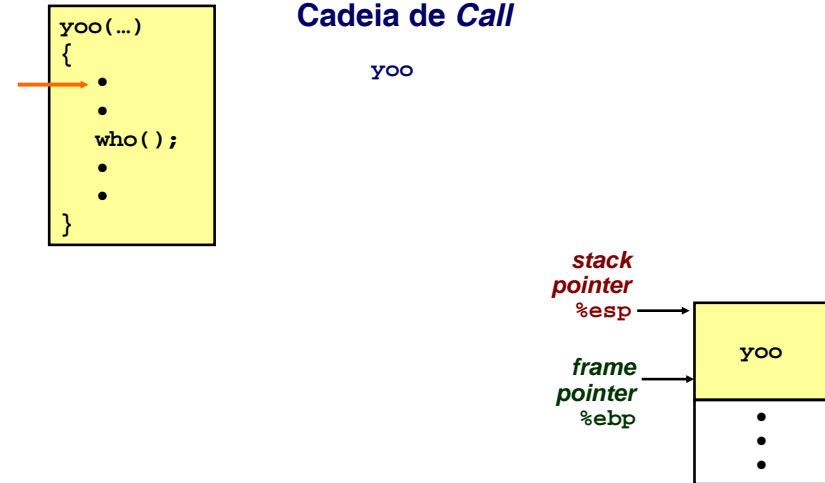
Cadeia de Call



Exemplo de cadeia de invocações no IA32 (2)



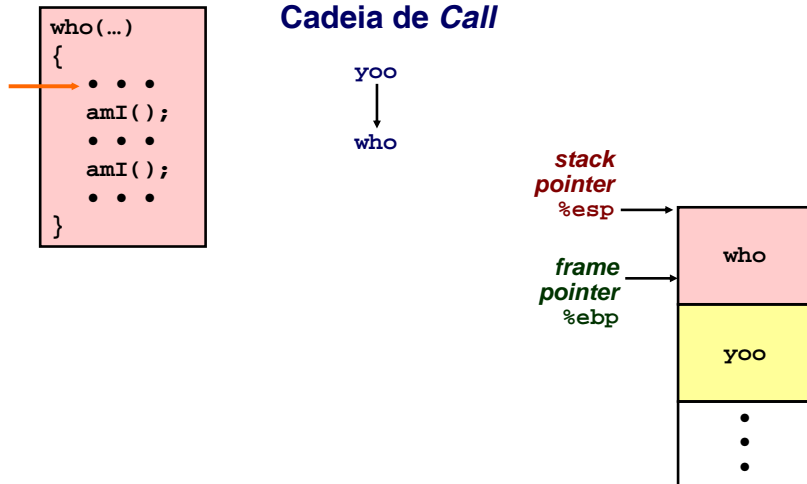
Cadeia de Call



Exemplo de cadeia de invocações no IA32 (3)



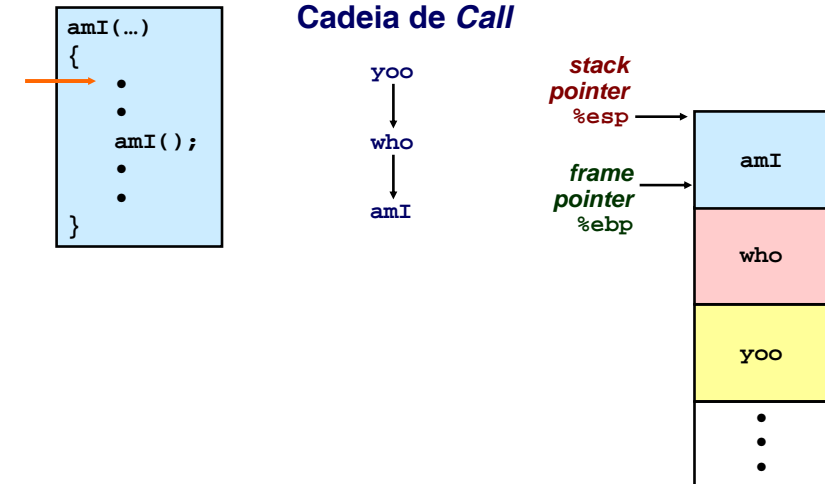
Cadeia de Call



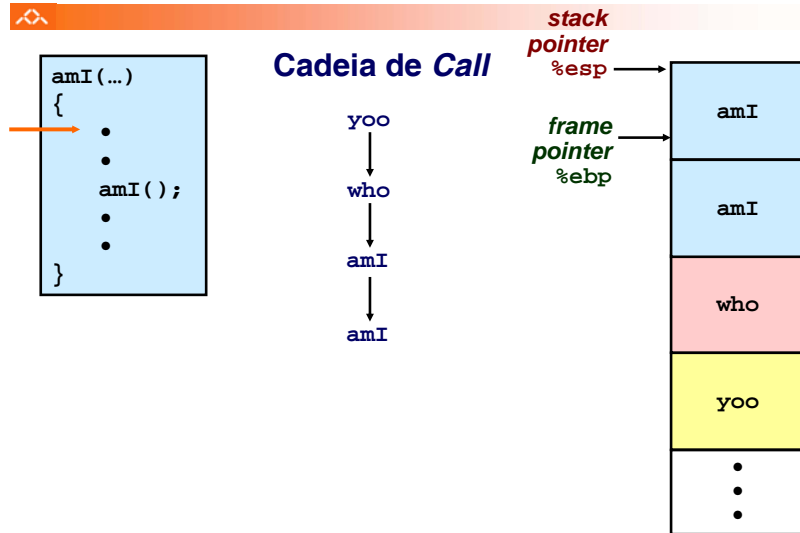
Exemplo de cadeia de invocações no IA32 (4)



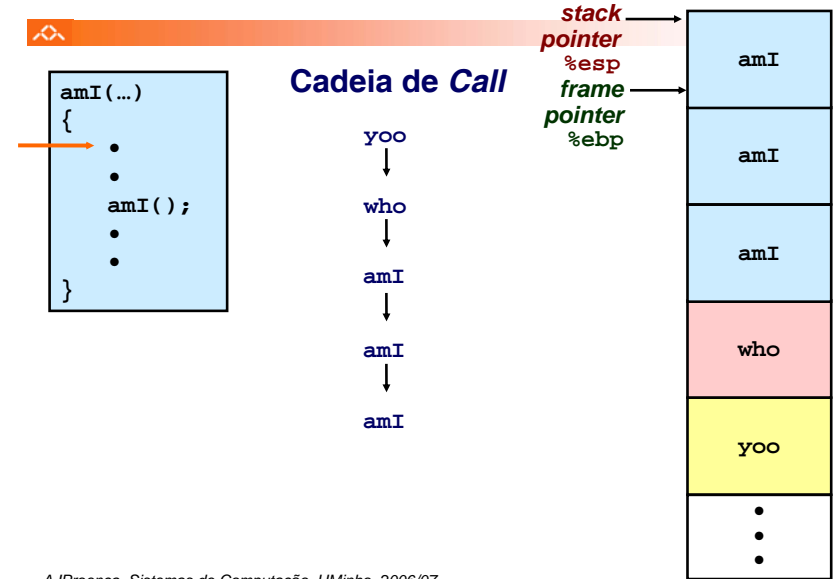
Cadeia de Call



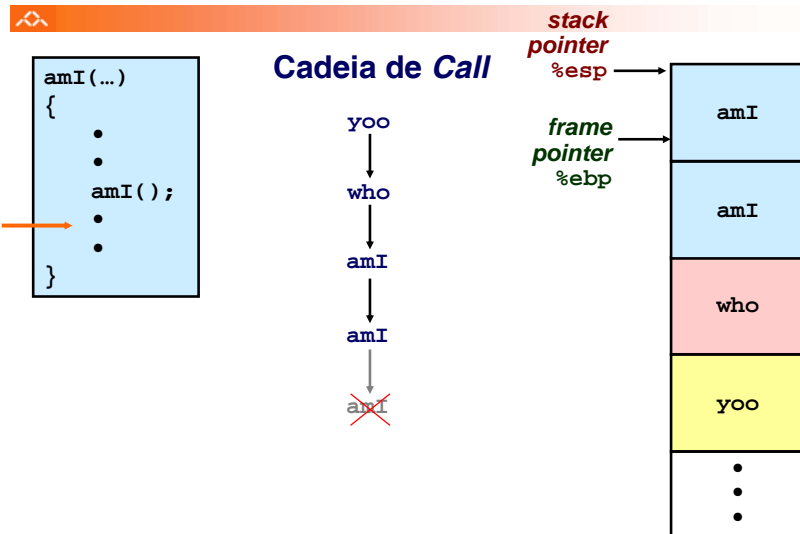
Exemplo de cadeia de invocações no IA32 (5)



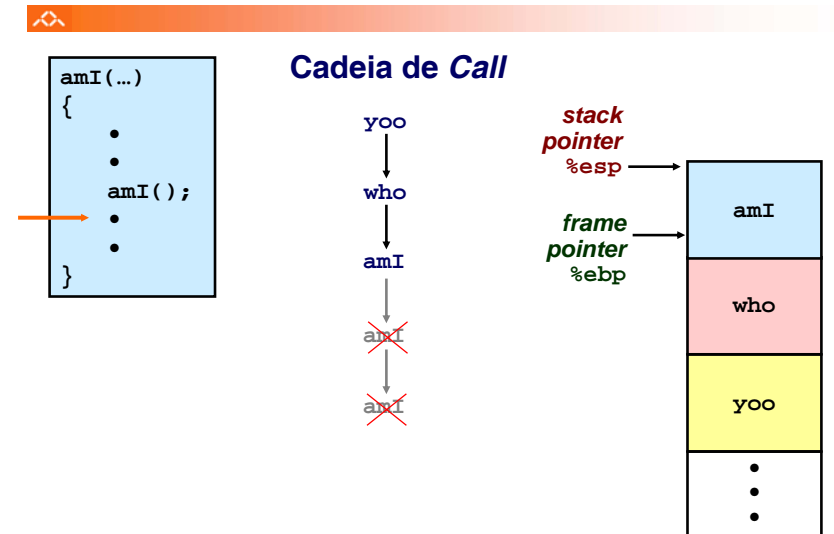
Exemplo de cadeia de invocações no IA32 (6)



Exemplo de cadeia de invocações no IA32 (7)

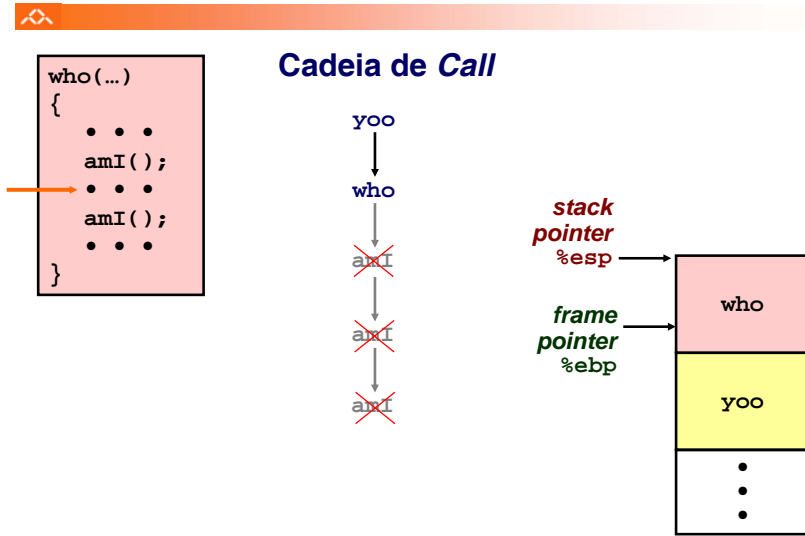


Exemplo de cadeia de invocações no IA32 (8)

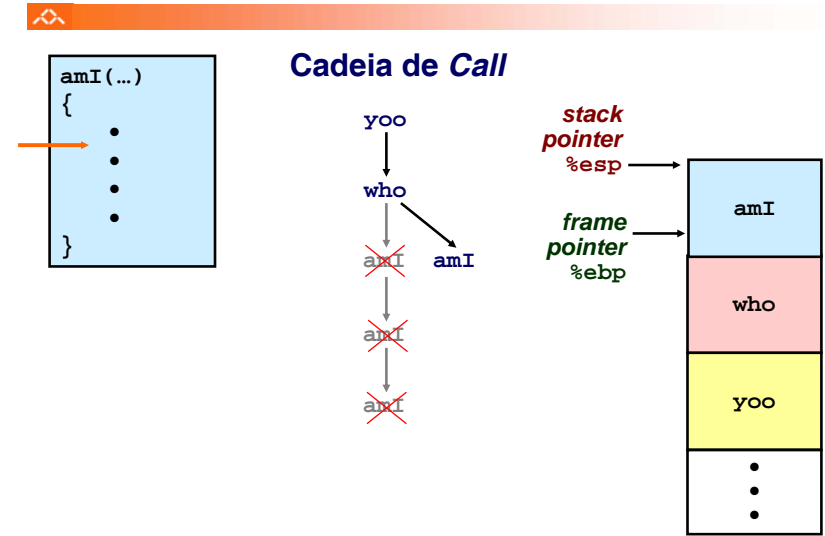




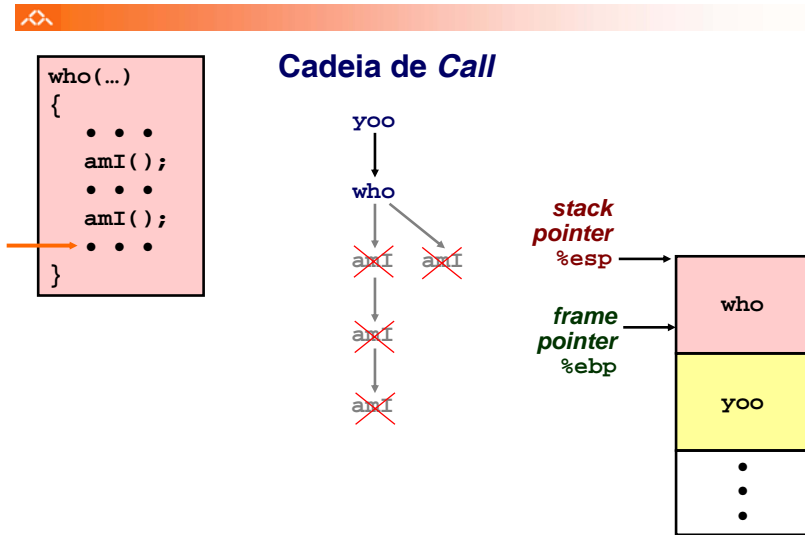
Exemplo de cadeia de invocações no IA32 (9)



Exemplo de cadeia de invocações no IA32 (10)



Exemplo de cadeia de invocações no IA32 (11)



Exemplo de cadeia de invocações no IA32 (12)

