

# Questões de Procedimentos, Restauração de Contexto, Salvamento de Contexto, etc.

Lucas

29 de setembro de 2015

1. Os passos para criação de procedimentos são:

(a) Colocar os parâmetros em um lugar que o procedimento possa acessar.

```
(param0, param1, param2, param3) -> ($a0, $a1, $a2, $a3)
```

(b) Transferir o fluxo de execução de instruções para o endereço do procedimento.

```
jal PROCEDIMENTO
```

(c) Adquirir espaço na pilha necessário para o procedimento e salvar o contexto.

```
addi $sp, $sp, -8 # 0x00000000 -> [[0][1][ 2][ 3]] \
sw $s0, 0($sp)    # 0x00000004 -> [[4][5][ 6][ 7]]  |> dois espaços
sw $s1, 4($sp)    # 0x00000008 -> [[8][9][10][11]] /
                                     |
                                     +-----> ponteiro setado
                                                uma palavra à
                                                frente
```

(d) Realizar a tarefa desejada.

```
sll $s0, $t1, 2
addi $s0, $s0, 8
lw $t2, 0($s0)
andi $s1, $t2, 0x23
...
```

(e) Colocar o resultado em um lugar onde o programa chamador pode acessar.

```
move $v0, $s0
move $v1, $s1
```

(f) Restaurar o contexto

```
lw $s1, 0($sp)
lw $s0, 4($sp)
addi $sp, $sp, 8
```

(g) Retornar o controle para o ponto de origem.

```
jr $ra
```

2. Uma variável em C é geralmente uma localização na memória, e isso depende do tipo da variável e classe de armazenamento. Exemplos incluem inteiros e caracteres. C tem duas classes de armazenamento: **automático** e **estático**. Automático são locais para um procedimentos e são descartados quando o procedimento existe mais. Variáveis estáticas existem através **saídas** de **entradas** para procedimentos. Por fora de todos os outros procedimentos, variáveis em c são consideradas estáticas, como são qualquer tipo de variável declarada usando a palavra-chave **estático**. O resto são considerados **automático**. Para simplificar acesso para dados estáticos, software em MIPS reserva outros registradores chamado **ponteiro global** ou `$gp` (Patterson Computer Org. and Design página 118, Hardware/Software Interface).

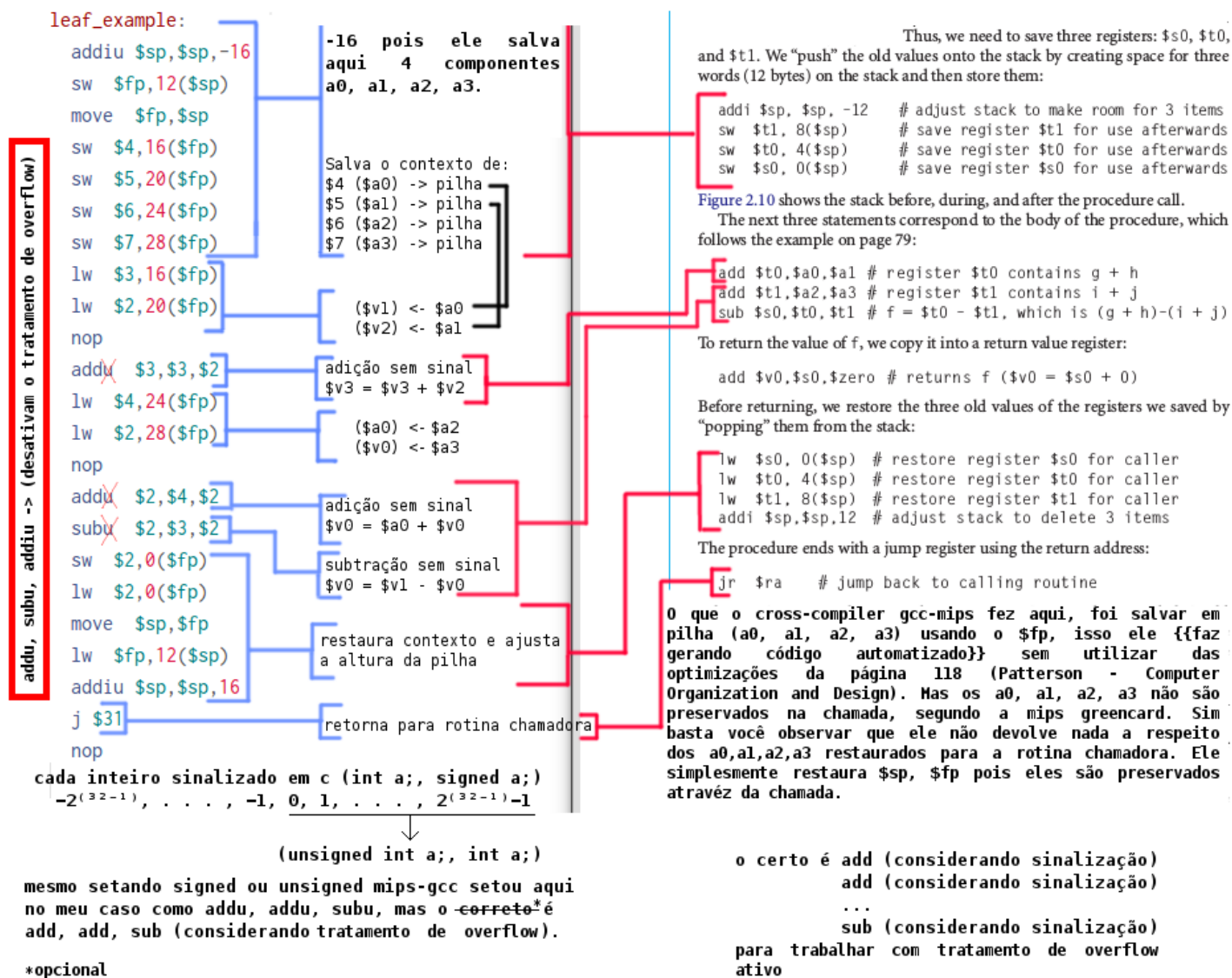


Figura 1: Addu, Subu, Addiu, desabilitam o tratamento de overflow, eles operam normalmente assim como as instruções Add, Sub, Addi, porém elas não tratam overflow. Ao passo que Add, Sub, Addi, liberam para que o tratamento de overflow aconteça.

Função Fatorial da Página 117, 118 David Patterson, Computer Organization and Design.

```
fact:
    addiu $sp,$sp,-24 # aqui o mips-gcc salva mais
    sw $31,20($sp)    # do que o normal na página 117
    sw $fp,16($sp)    # mas o mínimo que deve ser salvo
    move $fp,$sp      # é $ra = $31 e também $4 = $a0
    sw $4,24($fp)     # e também $a0 pois precisamos de
    lw $2,24($fp)     # do rastro de n-1 n-2 n-3 que o
    nop              # fact deixa para trás (função recurssiva)
                    # você pode usar apenas o $sp se quiser

    bgtz $2,$L2       # beq $2, $zero, L2
    nop              # se for mais que 0 vai para L2

    li $2,1           # caso-contrario carrega o valor
    j $L3             # 0x00000001 em $v0 para retornar
    nop              # e pula para L3

$L2:
    lw $2,24($fp)     # $v0 <- $a0 (n>1 {2,3,4,5,...})
    nop              #
    addiu $2,$2,-1    # $v0 -= 1 para colocar em fact()
    move $4,$2        # pela convenção você envia por $a0
    jal fact          # chama fact antes de multiplicar por * n
    nop              #

    move $3,$2        # $v1 recebe $v0 (n antigo)
    lw $2,24($fp)     # carrega $v0 (n novo) da chamada fact(n-1)
    nop              #
    mult $3,$2        # multiplica n * fact (n - 1)
    mflo $2           #

$L3:
    move $sp,$fp      # caso n <= 1 por causa do if
    lw $31,20($sp)    # dessa função recurssiva cairá
    lw $fp,16($sp)    # aqui restaurara o necessário
    addiu $sp,$sp,24  # e garantira que o $sp e $fp
    j $31             # estarão preservados através
    nop              # de todas as chamadas de fact(n)
```

Saiba que você pode eliminar o uso de \$fp e criar algumas otimizações, porém esse código é o código gerado automaticamente por mipsel-none-elf-gcc é um cross-compilador.

Converta o código em c abaixo para MIPS, lembrando os passos para criação de procedimentos genéricos. (a) salvar contexto (se necessário), (b) salvar \$ra, (c) dentro do escopo da rotina chamada – criar alguma lógica, se necessária, de pré chamada de função aninhada, (d) passar parâmetros se existir função aninhada que requer parâmetros, (e) chamar usando **jal** a rotina aninhada desejada mais os seus parâmetros usando \$a0, \$a1, \$a2, \$a3 ordenadamente e tantos quanto forem necessários (f) se necessário mais parâmetros então alocar em pilha, (g) pular definitivamente para função interna (g) para cada função chamada internar repetir c,d,e,f; (h) na volta de todas as funções mais internas restaurar o contexto, que foi salvo anteriormente, e continuar com a lógica do escopo, (i) observar possíveis labels, (j) observar possíveis branches com lógica invertida, (l) lembrar de salvar o retorno das funções em registradores padrões i.e: \$v0, \$v1, (m) lembrar de retornar utilizando **jr \$ra**<sup>a</sup>.

```
int alpha (int x, int y, int z) {
    if (x == 0) {
        return x + beta(z, y);
    } else {
        return x - beta(z, y);
    }
}
```

```
alpha: addi $sp, $sp, -8 ; abre locais na pilha para salvamento de contexto
      sw  $ra, 0($sp) ; salva ra para o retorno final
      sw  $a0, 4($sp) ; salva de x na pilha, pois é o único que eu p
                        ; precisarei usar depois do retorno de beta(z, y).
                        ; nesse exemplo, os valores que eu envio para beta
                        ; não irão ser usados depois do retorno de beta(z, y)
                        ; portanto eu não preciso salvar eles.

      add $a0, $a2, $0 ; a0 recebe o valor de z ($a2)
      add $a1, $a1, $0 ; a1 recebe o valor de y ($a1)
                        ; estou aqui ordenando e obedecendo o protótipo
                        ; da rotina beta(z, y)
      jal beta         ; salta para beta(z, y), suja ra, possivelmente
                        ; suja outros registradores i.e: a0, a1, a2....

      lw $a0, 4($sp) ; restaura o contexto de a0
      lw $ra, 0($sp) ; restaura o contexto de ra
      addi $sp, $sp, 8 ; fecha pilha
      bne $a0, $0, else ; lógica do escopo da rotina alpha
      add $v0, $a0, $v0 ; v0 recebe a0 + beta(z,y)
      jr  $ra          ; retorna para a rotina chamadora
else:  sub $v0, $a0, $v0 ; v0 recebe a0 - beta(z,y)
      jr  $ra          ; retorna para a rotina chamadora
```

---

<sup>a</sup>Meu esquema para lembrar como criar os procedimentos genericamente, e seguindo o livro do Patterson & Hennessy - Computer Organization and Design

```

int alpha (int x, int y, int z) {
    if (x == 0) {
        return x + beta(z - y);
    } else if (x == 1) {
        return x - beta(z - x);
    }
}

```

Compilei o código acima para mips 32, **você pode eliminar o uso de \$fp se você preferir**. Além do mais você pode eliminar o uso da **LABEL L4**, e considerar redundante, colocando L1 onde aparecer L4. Para máquina não é redundante, até então ela só traduz código, ela não acha que existem coisas redundantes em relação a labels.

```

alpha:
    addiu $sp, $sp, -24 # abre espaço na pilha
    sw    $31, 20($sp)  # salva $ra
    sw    $fp, 16($sp)  # salva $fp
    move  $fp, $sp      # usa $fp como se fosse $sp
    sw    $4, 24($fp)   # salva a0      x      o compilador joga a[0-3] na pila
    sw    $5, 28($fp)   # salva a1      y      para poder usar eles com segurança
    sw    $6, 32($fp)   # salva a2      z      e não para preservar eles

    lw    $2, 24($fp)   # v0 recebe a0 (x) para testar no primeiro if
    nop
    bne   $2, $0, L2    # if $v0 != $zero pula para L2
    nop
                        # lembrar que $v0 recebeu $a0
                        # eu sei que dá para eliminar esses
                        # passos intermediários, mas o compilador
                        # gera código automatizado
                        # caso-contrario pega $a2 (y)
                        # e também $a3 (z)
    lw    $3, 32($fp)   # v1 recebe a2 (z)
    lw    $2, 28($fp)   # v0 recebe a1 (y)
    nop
    subu  $2, $3, $2    # $v0 = $v0 - $v1, isto é calcular (z - y) para beta()
    move  $4, $2        # $a0 recebe $v0, para enviar à beta (convenção)
    jal   beta          # beta calcula usando $a0 que contém z - y e volta
    nop
                        # a0 não vai ser preservado! através
                        # esse é um bom motivo para salvar $a0 no inicio
                        # da chamada, por isso se beta sujar a0
                        # então você perdeu a0 ...
    move  $3, $2        # $v1 recebe $v0

```

```

lw    $2, 24($fp)    # $v0 recebe $a0 (que é x)
nop
addu  $2, $3, $2     # finalmente calcula x + beta(z - y)
j     L1             # pula para L1 (que é a saída)
nop

L2:
lw    $3, 24($fp)    # pega o valor de $a0 salvo na pilha
li    $2, 1          # carrega 0x1 em $2
bne   $3, $2, L4     # caso x != 1 pula para L4

lw    $3, 32($fp)    # carrega o valor de $a0 (z)
lw    $2, 24($fp)    # carrega o valor de $a3 (x)
nop
subu  $2, $3, $2     # novamente mas agora é z - x
move  $4, $2         # $a0 recebe $v0 com o resultado de z - x
jal   beta           # pula para beta com a0 novo int beta(int);
nop

lw    $3, 24($fp)    # $v1 recebe $a0 (x salvo anteriormente,
nop                 # pois beta não garante a0, a1, a2, ou a3)
subu  $2, $3, $2     # finalmente faz x - beta(z - x)
j     L1             # pula para L1 (que é a saída)
nop

L4:
      # L4 por sua vez não faz nada
      # naturalmente ele caíra em L1
      # L1 por sua vez é a saída do
      # programa função int alpha(int x,int z,int y);

L1:
move  $sp, $fp       # no livro do patterson ele simplifica o uso de $fp, $sp
lw    $31, 20($sp)   # jogando toda a responsabilidade para $sp, mas o
compilador           # restaura também o $ra para poder voltar ao chamador
                    # e também porque ele é garantidamente preservado
lw    $fp, 16($sp)   # trabalha com $fp
addiu $sp, $sp, 24    # veja que ele não preserva os $a0, $a1, $a2, $a3
jr    $31            # volta para o chamador
nop

```

**2.19.1a** A seguir todo o código traduzido para mips 32 da questão 2.19.1a da 4ª edição revisada do livro de organização e modulação de computadores David Patterson e John Hennessy página 197.

fib:

```
# Memory Layout
# [ 00 ] [ 01 ][ 02 ][ 03 ] -> espaço usado por fib: nesse exemplo
# [ 04 ] [ 05 ][ 06 ][ 07 ] -> espaço usado por fib: nesse exemplo
# [ 08 ] [ 09 ][ 10 ][ 11 ] -> espaço usado por fib: nesse exemplo
# [ 12 ] [ 13 ][ 14 ][ 15 ] -> espaço usado por fib: nesse exemplo
# [ 16 ] [ 17 ][ 18 ][ 19 ] -> espaço usado por fib: nesse exemplo
# [ 20 ] [ 21 ][ 22 ][ 23 ] -> espaço usado por fib: nesse exemplo
# [ 24 ] [ 25 ][ 26 ][ 27 ] -> espaço usado por fib: nesse exemplo
# [ 28 ] [ 29 ][ 30 ][ 31 ] -> espaço usado por fib: nesse exemplo
# [ 32 ] [ 33 ][ 34 ][ 35 ]

addiu    $sp, $sp, -32 # abre espaço para salvar
sw       $31, 28($sp)  # salva $ra para o retorno
sw       $fp, 24($sp)  # salva $fp, poderia trabalhar apenas com $sp
sw       $16, 20($sp)  # salva também $s0 == $16 (preservado através da
                        # chamada)
move     $fp, $sp      # $fp recebe $sp (você poderia trabalhar apenas com $sp)
sw       $4, 32($fp)   # salva $a0 em 32($fp)

lw       $2, 32($fp)   # $v0 recebe $a0
nop
bne      $2, $0, L2    # se $a0 (em $v0) != $zero vai para L2 (onde tem outro
teste)
nop

move     $2, $0        # carrega 0x0 para o primeiro retorno
j        L3            # vai para L3 para restaurar contexto e retornar ao
chamador
nop
```

L2:

```
lw       $3, 32($fp)   # carrega em $v0 o valor de $a0
li       $2, 1         # carrega 1 em $v0
bne      $3, $2, L4    # testa se $a0 (em $v0) se $v0 != 0x1 vai para L4
nop

li       $2, 1         # carrega 0x1 para o segundo retorno
```



```

j      L3          # vai para L3 para restaurar contexto e retornar ao
chamador
nop

L4:
      # aqui dentro temos a realização da chamada recursiva
lw      $2, 32($fp) # carrega $a0 em $v0
nop
addiu   $2, $2, -1  # faz n - 1 para a chamar fib(n-1)
move    $4, $2      # move $v0 para $a0 (para enviar na chamada, convensão)
jal     fib         # chamada recursivamente fib
nop
      # aqui temos o uso extra de $s0
      # (que precisa ser restaurado ao final)
move    $16, $2     # move $v0 para $s0
lw      $2, 32($fp) # carrega o valor de $a0 salvo no local 32($fp) em $v0
      # a cada chamada recursiva a pilha vai abrindo novas
      # 8 posições para novos dados, mas aqui pegamos sempre
      # o n da vez para fazer corretamente fib(n-1) +
      # fib(n-2);
nop
addiu   $2, $2, -2  # faz n - 2 para a chamar fib(n-2)
move    $4, $2      # move $v0 para $a0 (para enviar na chamada, convensão)
jal     fib         # chamada recursivamente fib
nop

addu    $2, $16, $2 # soma ambos fib(n-1) + fib(n-2)
      # $v0 recebe $s0 + $v0 (v0 agora contém o resultado
      # de fib(n-2))

L3:
move    $sp, $fp
lw      $31, 28($sp) # restaura $ra
lw      $fp, 24($sp) # restaura $fp
lw      $16, 20($sp) # restaura $s0
addiu   $sp, $sp, 32 # ajusta a pilha finalmente
jr      $31         # retorna ao chamador
nop

```

**2.19.2a** A função recursiva com inline tem um certo limite que geralmente é imposto pelo compilador, de por exemplo, entrar 8x dentro da recursão. Vou fazer o inline da questão 2.19.1a da 4ª edição revisada do livro de organização e modulação

de computadores David Patterson e John Hennessy página 197. Para realizar inline de funções recursivas você precisa primeira fazer um esquemático da função recursiva em forma de árvore, vai abrindo as recursões até um certo nível. Cada chamada irá requisitar novos registradores para armazenar os valores.

```
int positive(int a, int b) {
    if (addit(a, b) > 0) {
        return 1;
    } else {
        return 0;
    }
}

int addit(int a, int b) {
    return a + b;
}
```

Em MIPS 32 ficaria mais ou menos assim, primeiro sem inline:

```
positive:
    addiu $sp, $sp, -24    # abre espaço na pilha
    sw $31, 20($sp)       # salva ra
    sw $fp, 16($sp)       # salva fp
    move $fp, $sp         # fp recebe sp
    sw $4, 24($fp)        # salva a0
    sw $5, 28($fp)        # salva a1

    lw $4, 24($fp)        # carrega a0
    lw $5, 28($fp)        # carrega a1
    addu $2, $4, $5       # addit reduzido à uma instrução.
    nop                  # antes eram 14 instruções

    blez $2, L2           # se o resultado em v0 (retornado por addit(a, b)
    nop                  # for menor ou igual zero então vai para L2

    li $2, 1              # carrega 0x1 em $v0 por causa do return 1;
    j $L3                 # pula para saída (ou melhor L3)
    nop

L2:
    move $2, $0
```

```

L3:
    move $sp, $fp          # sp recebe fp (dinovo, poderia ser usado apenas sp)
    lw  $31, 20($sp)       # restaura $ra
    lw  $fp, 16($sp)       # restaura $fp
    addiu $sp, $sp, 24     # restaura o ponteiro da pilha ("pop itens")
    jr  $31                # volta para rotina chamadora
    nop

```

Agora com inline em `addit`. Com a adição de inline `addit` passou a ser 1 instruções apenas dentro do corpo do procedimento `positive`, porém isso tem um limite de até no máximo o uso de todos os registradores de uso geral no MIPS 32, os registradores reservados seriam deixados privados.

```

positive:
    addiu $sp, $sp, -24    # abre espaço na pilha
    sw  $31, 20($sp)       # salva ra
    sw  $fp, 16($sp)       # salva fp
    move $fp, $sp          # fp recebe sp
    sw  $4, 24($fp)        # salva a0
    sw  $5, 28($fp)        # salva a1

    lw  $4, 24($fp)        # carrega a0
    lw  $5, 28($fp)        # carrega a1
    addu $2, $4, $5        # addit reduzido à uma instrução.
    nop                    # antes eram 14 instruções

    blez $2, L2            # se o resultado em v0 (retornado por addit(a, b)
    nop                    # for menor ou igual zero então vai para L2

    li  $2, 1              # carrega 0x1 em $v0 por causa do return 1;
    j   $L3                # pula para saída (ou melhor L3)
    nop

```

```

L2:
    move $2, $0

```

```

L3:
    move $sp, $fp          # sp recebe fp (dinovo, poderia ser usado apenas sp)
    lw  $31, 20($sp)       # restaura $ra
    lw  $fp, 16($sp)       # restaura $fp
    addiu $sp, $sp, 24     # restaura o ponteiro da pilha ("pop itens")
    jr  $31                # volta para rotina chamadora
    nop

```

**2.19.4a** Veja que eu não estou preservando a0, a1, a2, a3 pois as funções chamadas não sou obrigadas, segundo a conversão de chamada, a preservarem eles. Porém dentro da função elas podem preservar o necessário para executar a lógica desejada pelo programador. O cross-compilador gcc-mips não altera a ordem lógica dos parâmetros e isso é uma curiosidade, sendo que você não tem a `func` definida, nem mesmo seu protótipo. Ele mantém a ordem lógica dos parâmetros, visando que alterar, reordenar a ordem lógica dos parâmetros para as funções pode ser desastroso.

```
f:
    addiu    $sp, $sp, -0x14 # abre espaço na pilha
    sw       $31, 0x14 ($sp) # preserva o conteúdo de: ra
    sw       $4, 0x10 ($sp)  # preserva o conteúdo de: a
    sw       $5, 0xC ($sp)   # preserva o conteúdo de: b
    sw       $6, 0x8 ($sp)   # preserva o conteúdo de: c
    sw       $7, 0x4 ($sp)   # preserva o conteúdo de: d

    lw       $4, 0x10 ($sp)   # carrega a0 com $a0
    lw       $5, 0xC ($sp)   # carrega a1 com $a1
    jal      func             # func mais interno func(a, b)
    nop

    move     $3, $2           # v1 recebe v0 (retorno do 1ro func(a,b))
    lw       $4, 0x8 ($sp)   # a0 recebe $a2 (int c, preservado na pilha)
    lw       $2, 0x4 ($sp)   # v0 recebe $a3 (int d, preservado na pilha)
    nop
    addu     $2, $4, $2       # v0 recebe c + d
    move     $4, $3           # mover $v1 para $a0 (primeiro parâmetro de func)
    move     $5, $2           # mover $v0 para $a1 (segundo parâmetro de func)
    jal      func             # salta para func novamente
    nop

    lw       $31, 0x14 ($sp) # restaura ra
    addiu    $sp, $sp, 0x14  # ajusta altura pilha
    jr       $31             # retorna a rotina chamadora
    nop
```