Controle de fluxo

Arquitetura de Computadores

Bruno Prado

Departamento de Computação / UFS

Introdução

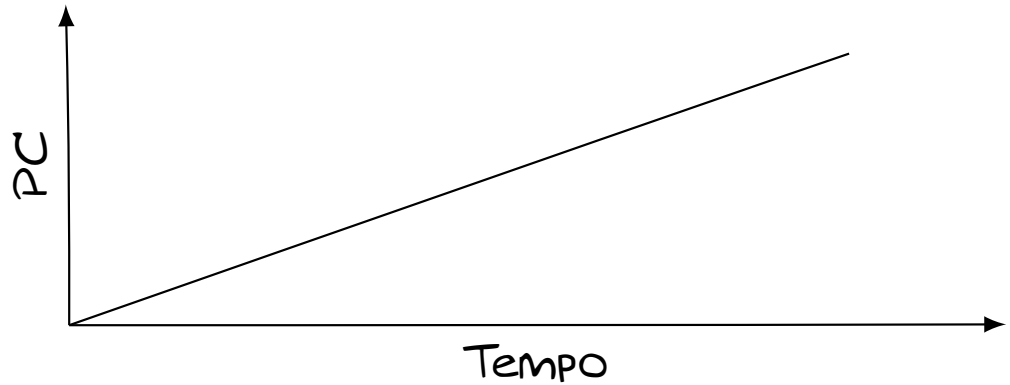
- O que é controle de fluxo?
  - Define a sequência de instruções que são executadas dinamicamente pelo processador
  - Quando não ocorrem desvios, as instruções são executadas sequencialmente incrementando o PC

Introdução

- O que é controle de fluxo?
  - Define a sequência de instruções que são executadas dinamicamente pelo processador
  - Quando não ocorrem desvios, as instruções são executadas sequencialmente incrementando o PC
- Quais são os seus tipos?
  - Condicional
  - Iterativo
  - Sub-rotina

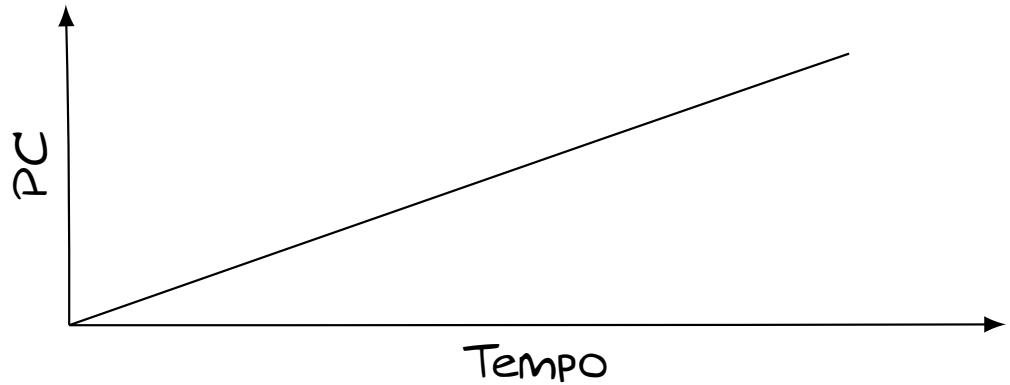
Introdução

- Comportamento do fluxo de execução
  - Sequencial (sem desvios)

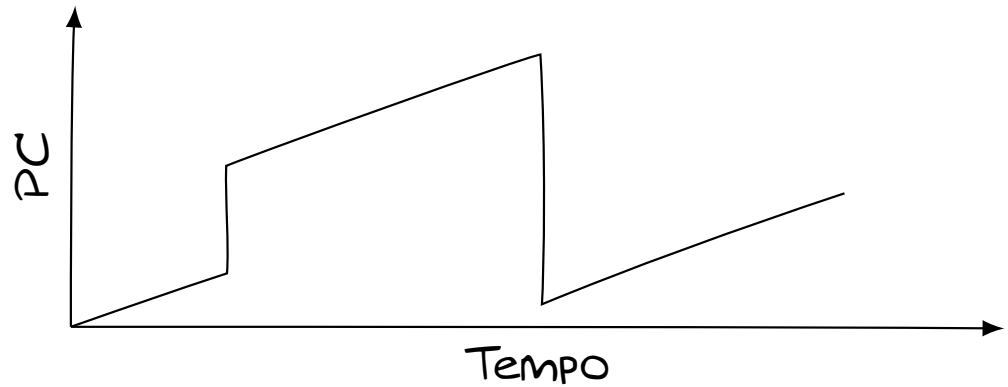


Introdução

- Comportamento do fluxo de execução
  - Sequencial (sem desvios)



  - Não sequencial (com desvios)



Introdução

- Nos primórdios da computação, todo o controle de fluxo era de responsabilidade do desenvolvedor
  - Linguagem de máquina e de montagem
  - Controle de fluxo por desvios (**goto**)
  - Baixa abstração e mais erros humanos

Introdução

- Nos primórdios da computação, todo o controle de fluxo era de responsabilidade do desenvolvedor
  - Linguagem de máquina e de montagem
  - Controle de fluxo por desvios (**goto**)
  - Baixa abstração e mais erros humanos
- Com o nascimento da programação estruturada em C, o foco é descrever o comportamento do sistema, abstraindo detalhes de funcionamento do *hardware*
  - Condicional: **if**, **else**, **else if**, **switch**
  - Iterativo: **do while**, **for**, **while**
  - Sub-rotina: procedimentos e funções

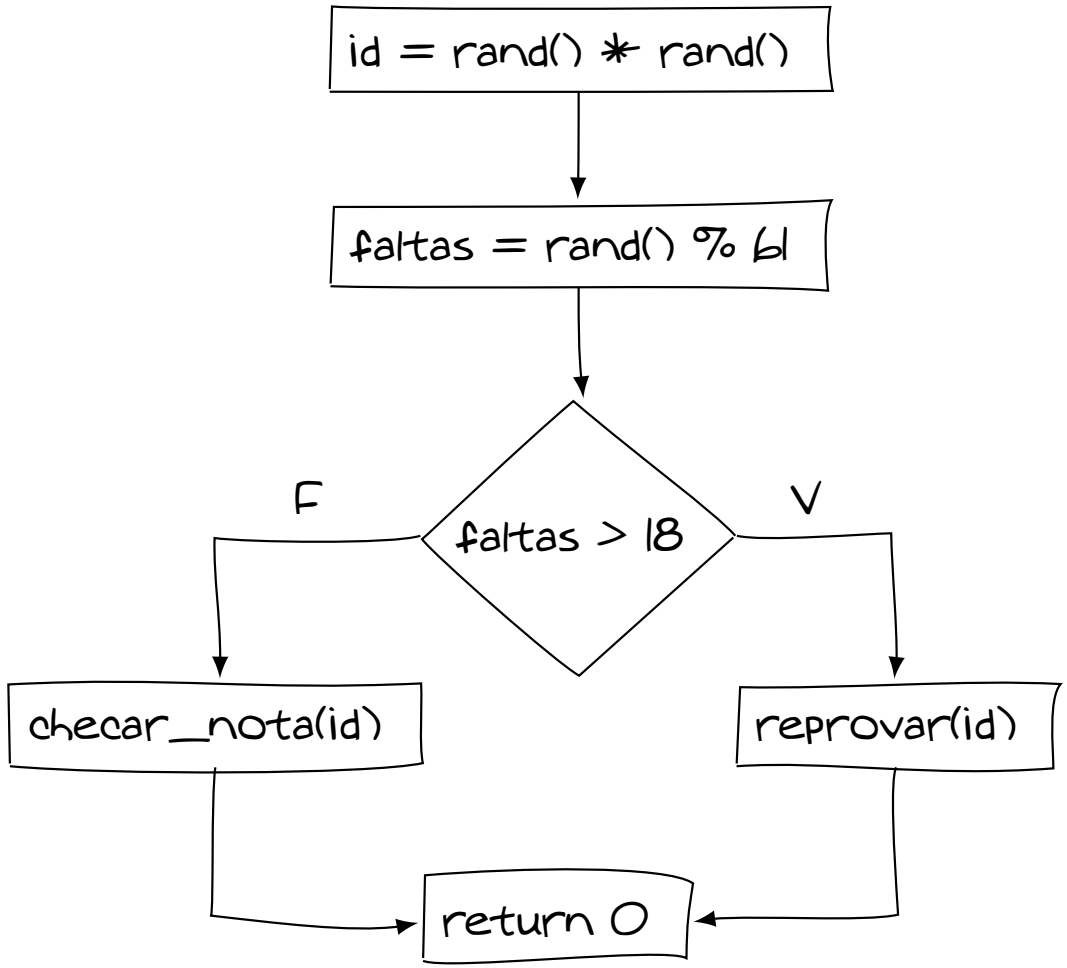
Controle condicional

- Sentença **if**, **else**

```
1   // Inteiros com tamanho fixo
2   #include <stdint.h>
3   // Biblioteca padrão
4   #include <stdlib.h>
... ...
10  // Função principal
11  int main() {
12      // ID do aluno
13      uint32_t id = rand() * rand();
14      // Quantidade de faltas acumuladas
15      uint8_t faltas = rand() % 61;
16      // Se faltas > 18 horas, então reprovar
17      if(faltas > 18) reprovar(id);
18      // Se não, checar nota
19      else checar_nota(id);
20      // Retorno sem erros
21      return 0;
22  }
```

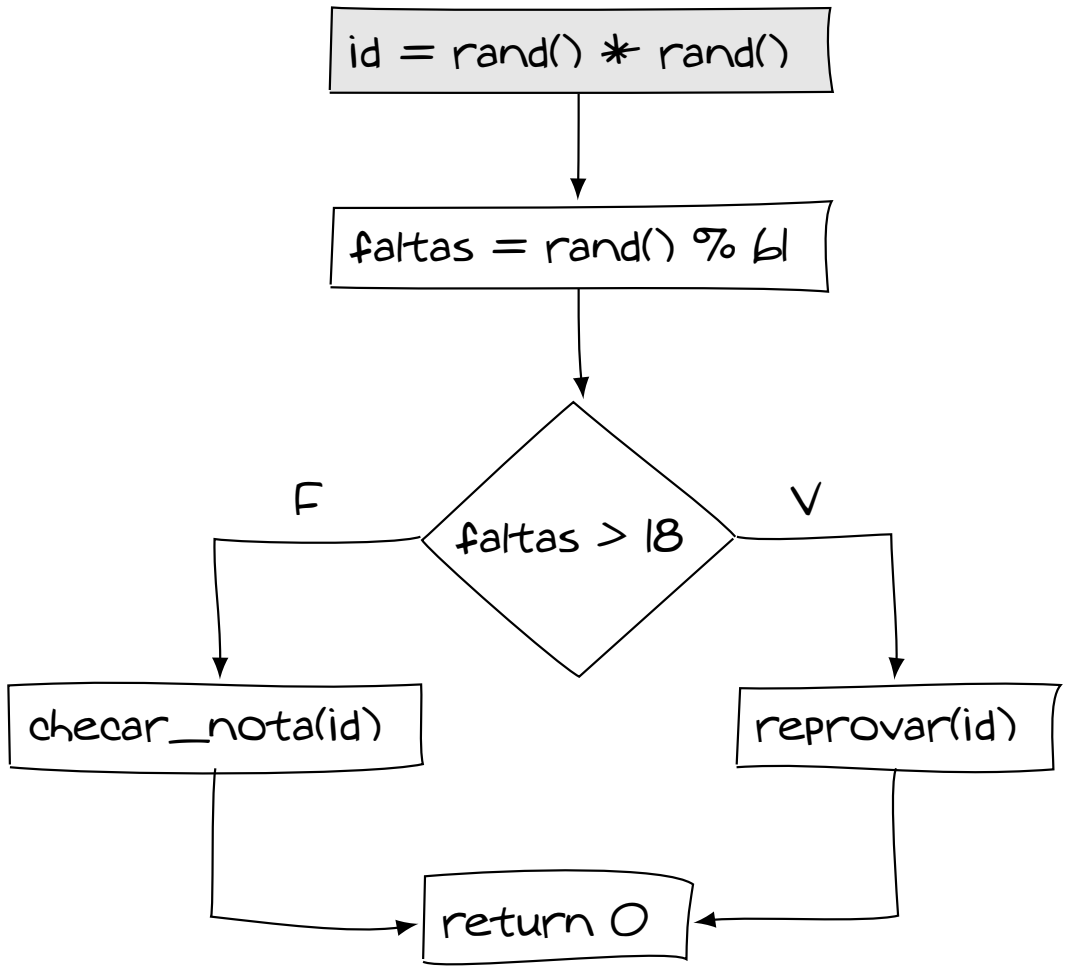
Controle condicional

- Sentença **if**, **else**
  - Fluxo de execução



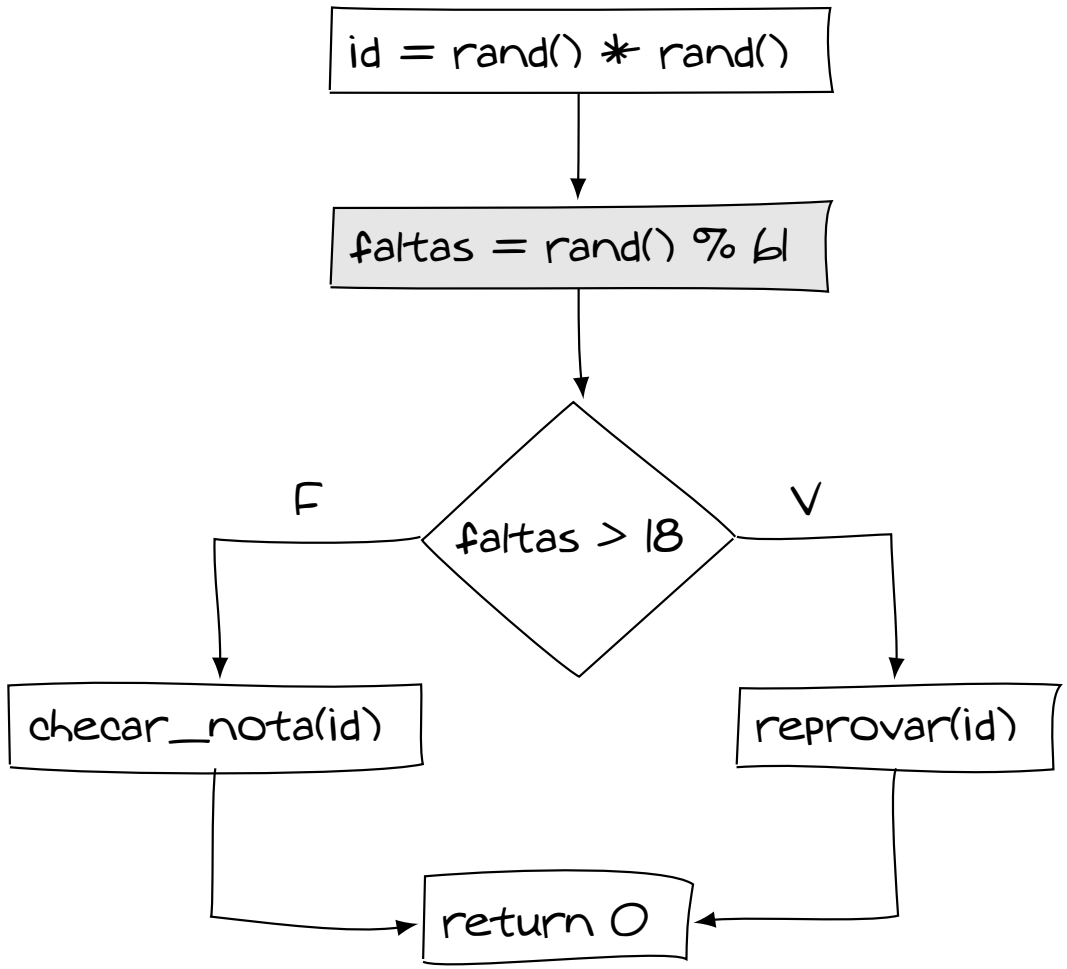
Controle condicional

- Sentença **if**, **else**
  - Fluxo de execução



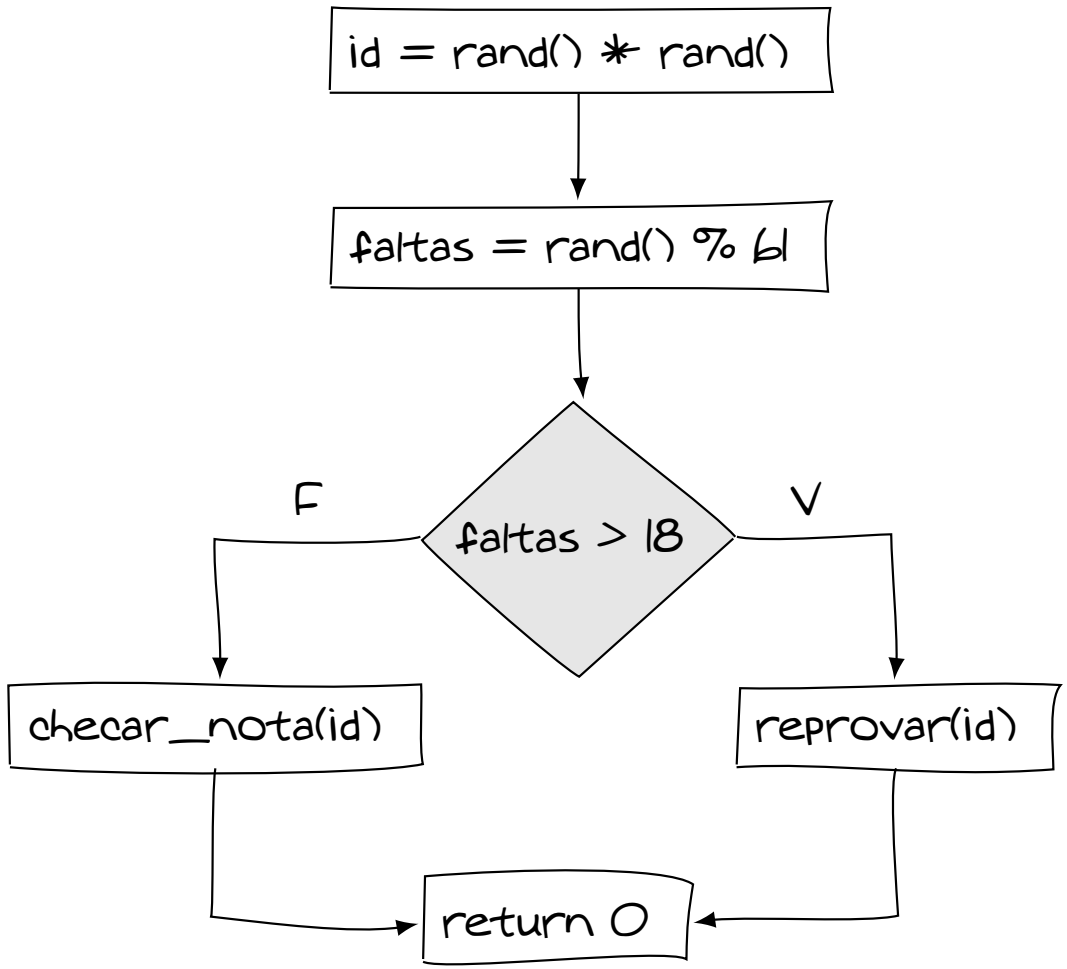
Controle condicional

- Sentença **if**, **else**
  - Fluxo de execução



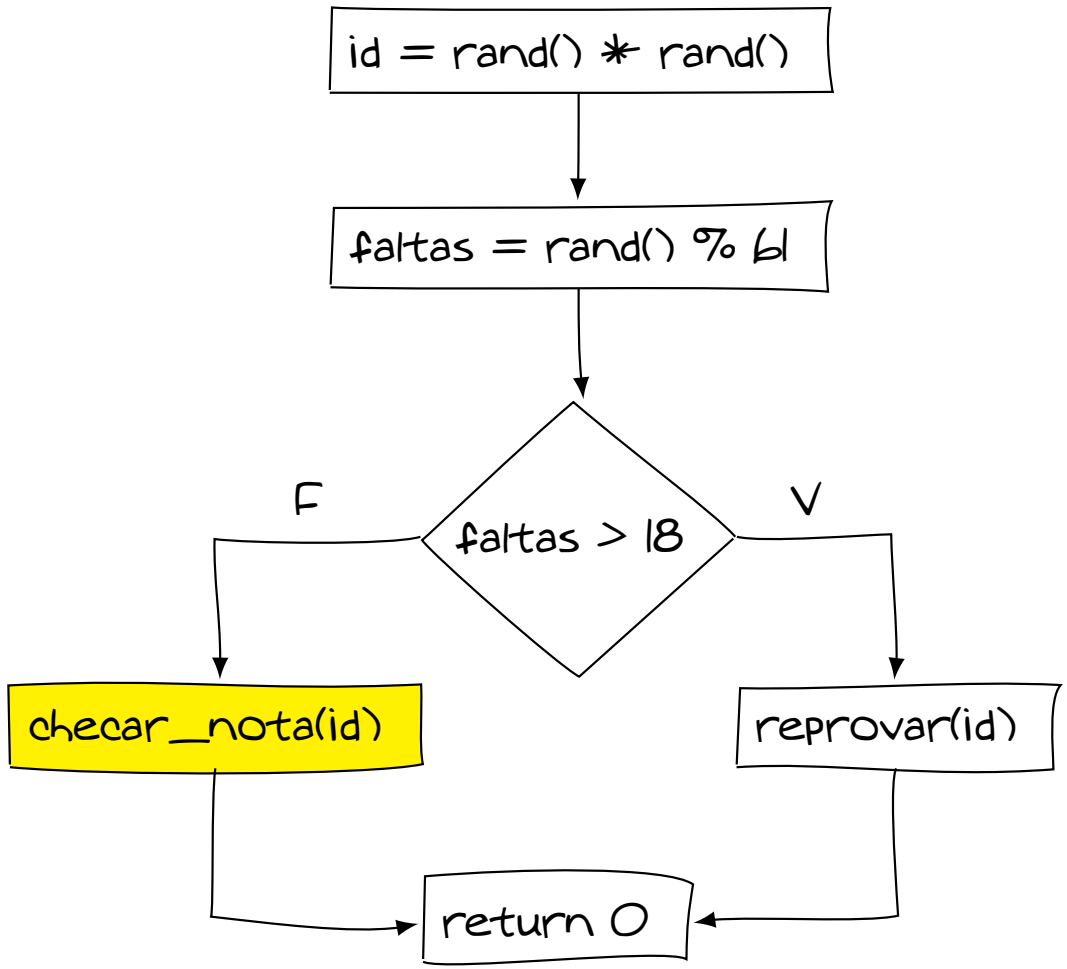
Controle condicional

- Sentença **if**, **else**
  - Fluxo de execução



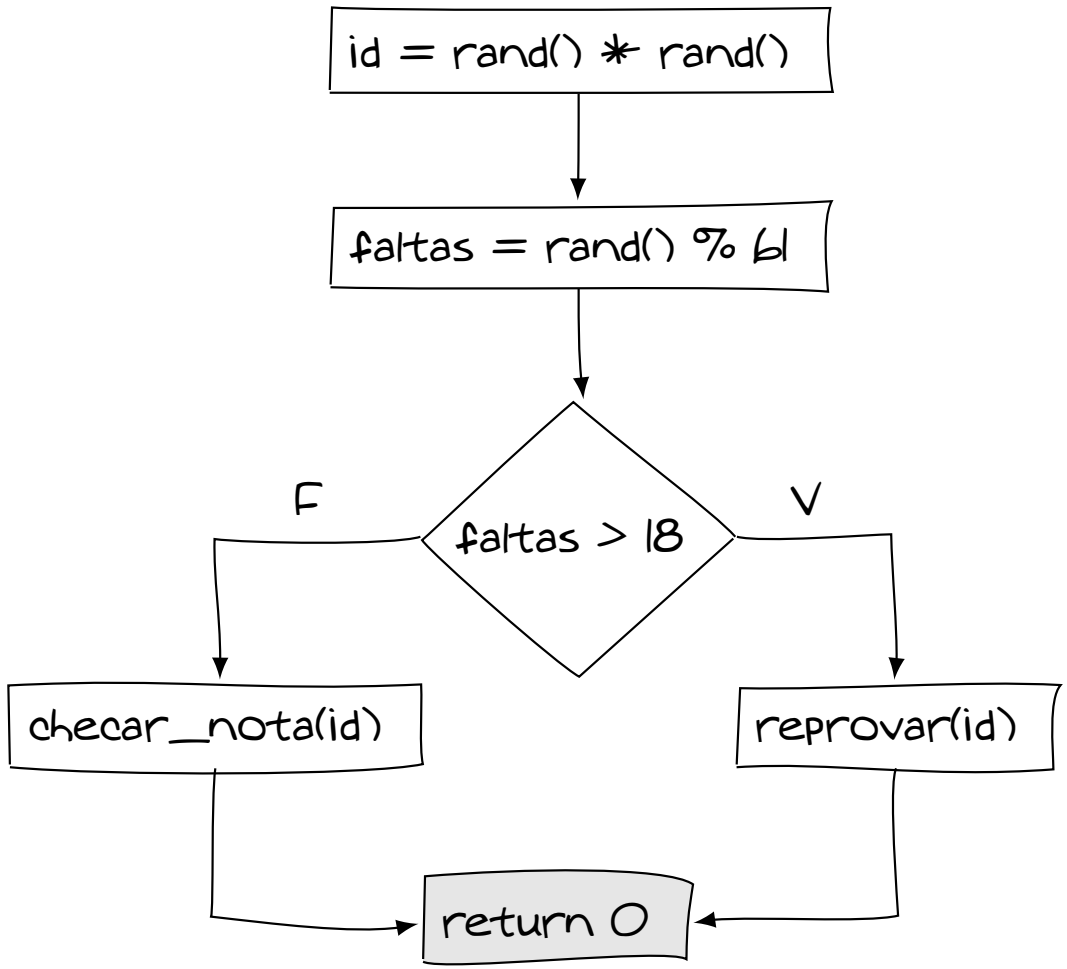
Controle condicional

- Sentença **if**, **else**
  - Fluxo de execução



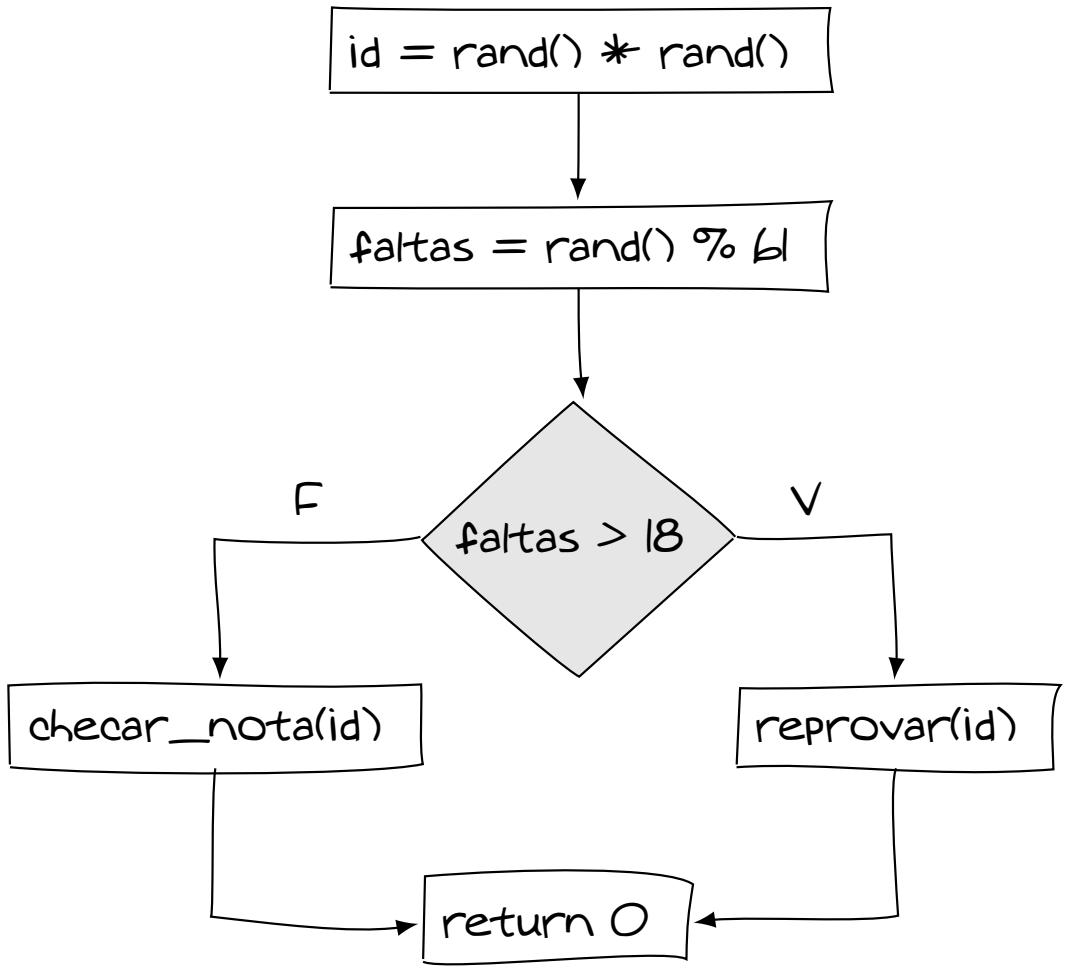
Controle condicional

- Sentença **if**, **else**
  - Fluxo de execução



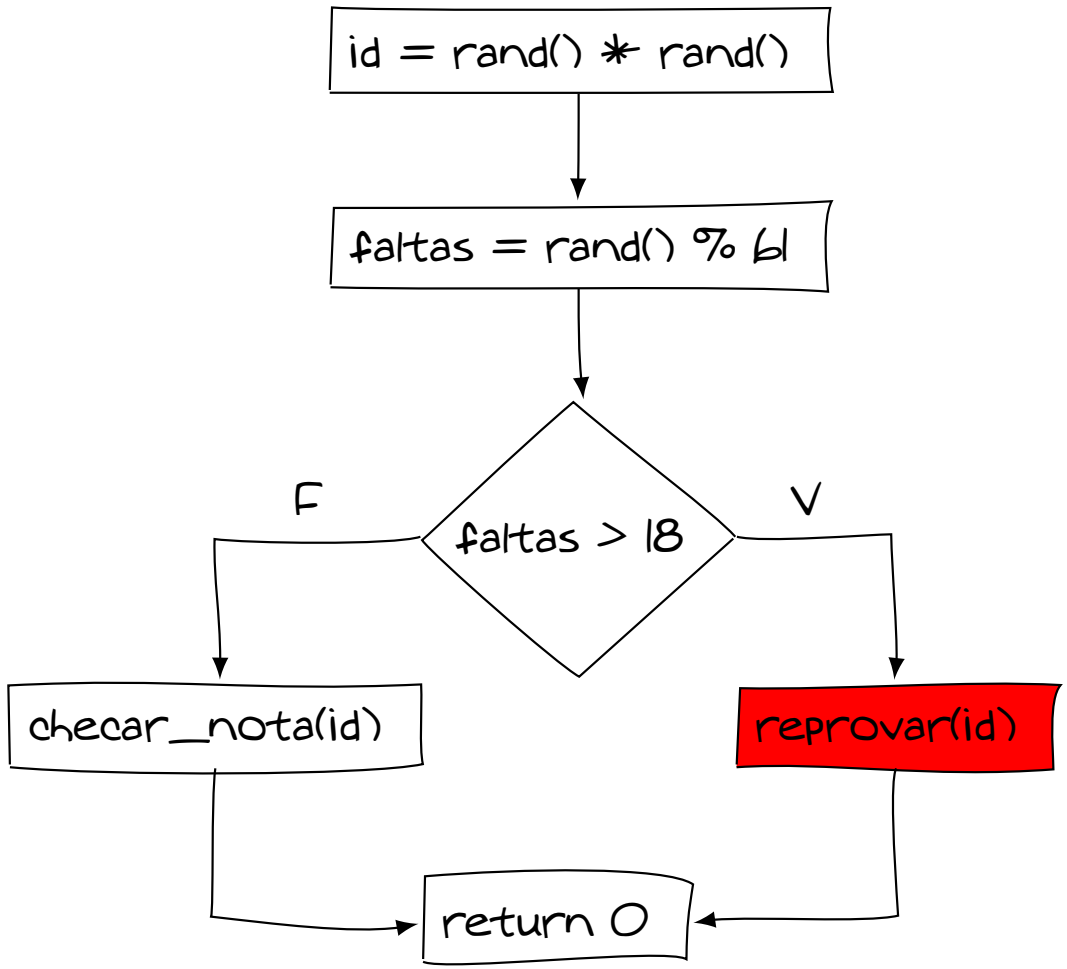
Controle condicional

- Sentença **if**, **else**
  - Fluxo de execução



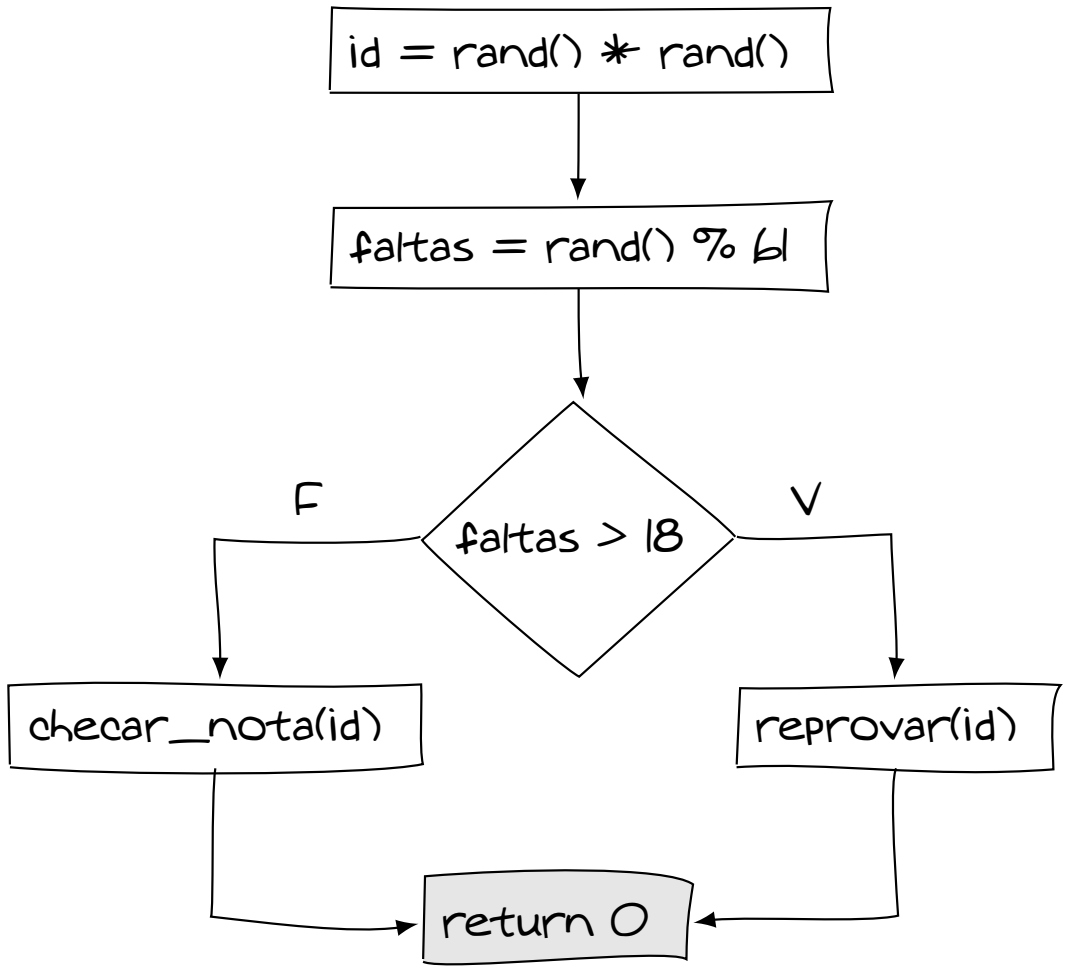
Controle condicional

- Sentença **if**, **else**
  - Fluxo de execução



Controle condicional

- Sentença **if**, **else**
  - Fluxo de execução



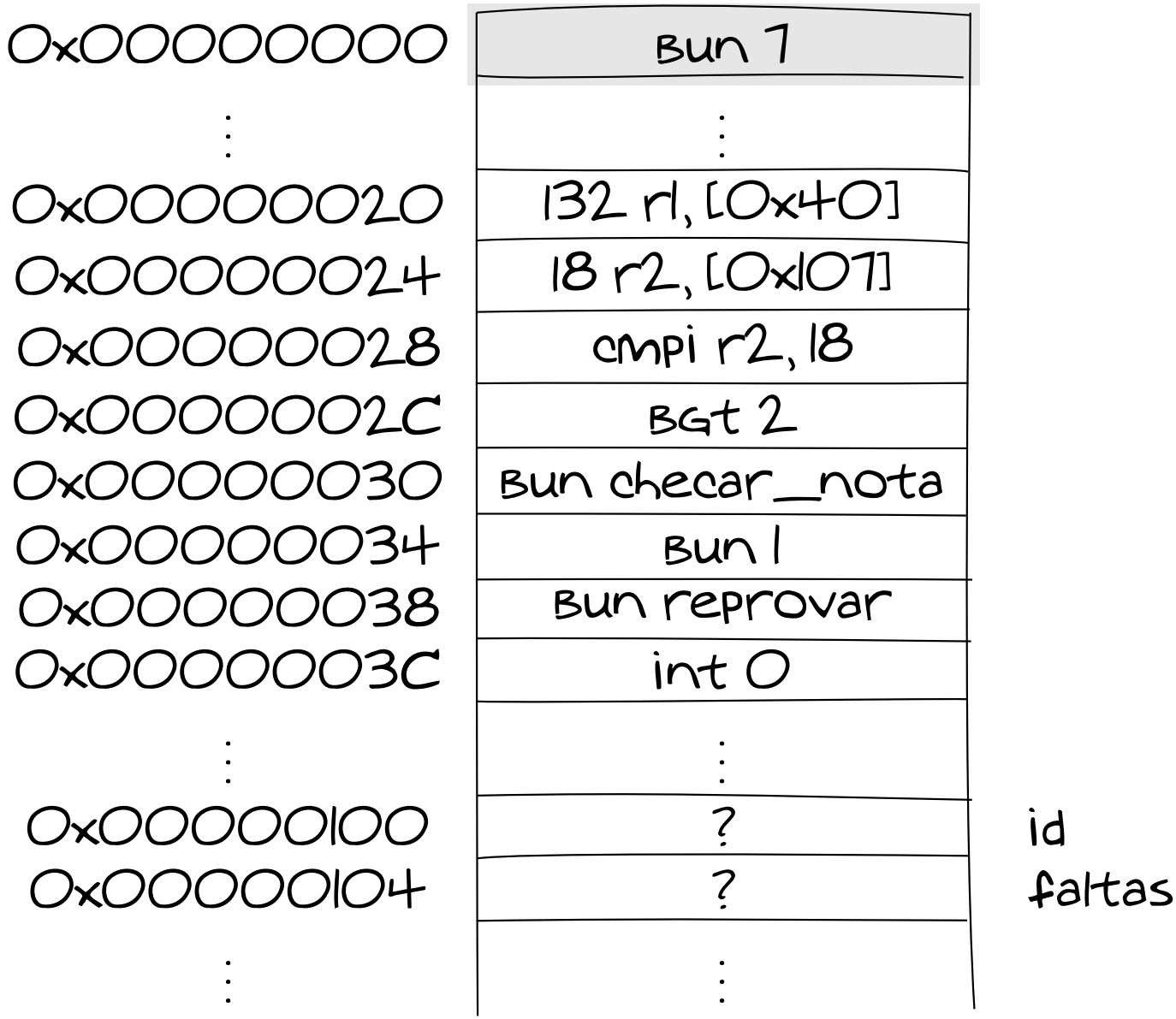
Controle condicional

- Sentença **if**, **else**

```
1  // Função principal
2  main:
3      // r1 = id, r2 = faltas
4      l32 r1, [0x40]
5      l8 r2, [0x107]
6      // faltas ? 18
7      cmpi r2, 18
8      bgt V
9          // faltas <= 18
10     F:  bun checar_nota
11         bun 1
12         // faltas > 18
13     V:  bun reprovar
14     // Fim
15     int 0
```

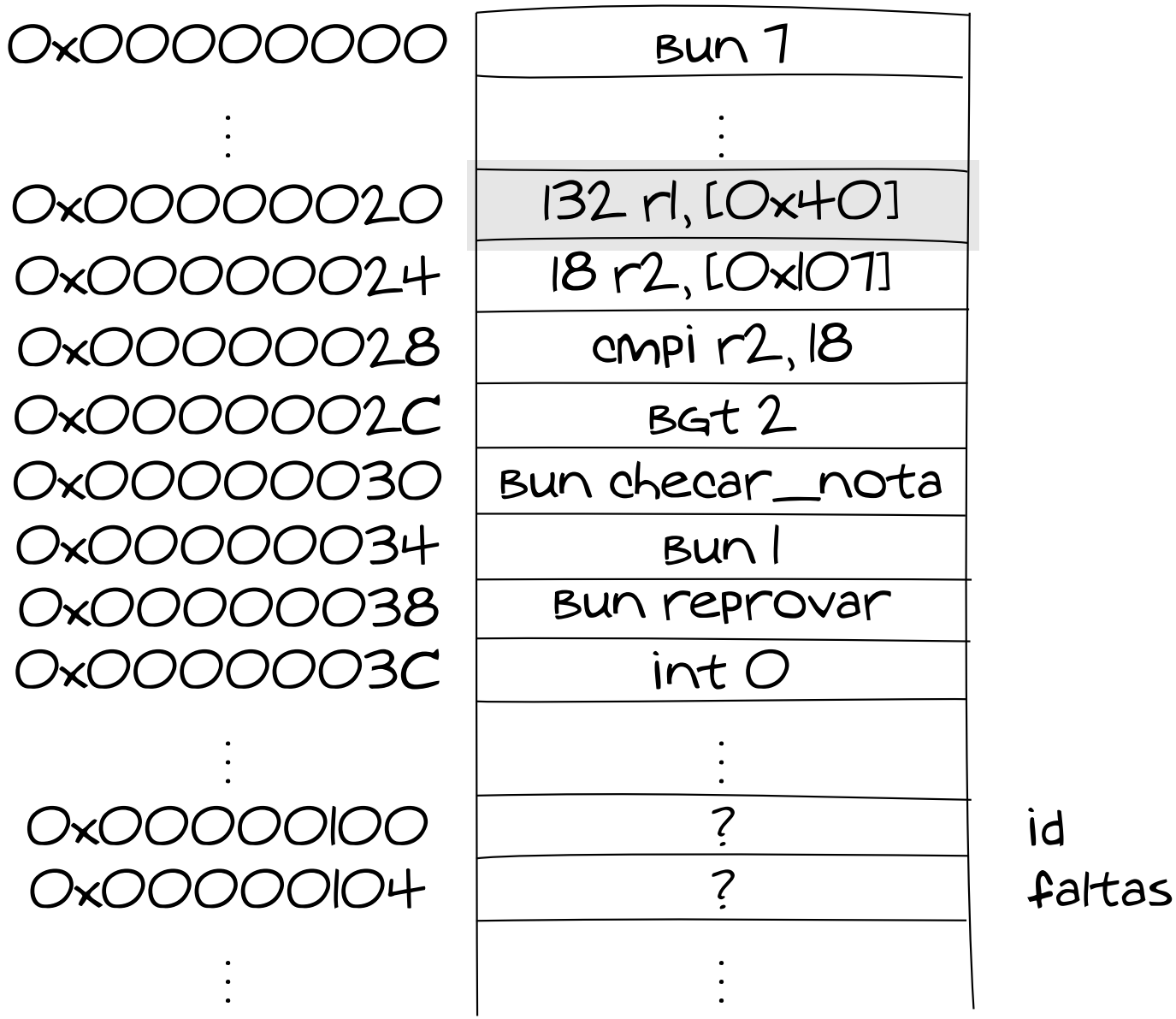
Controle condicional

- Sentença **if**, **else**



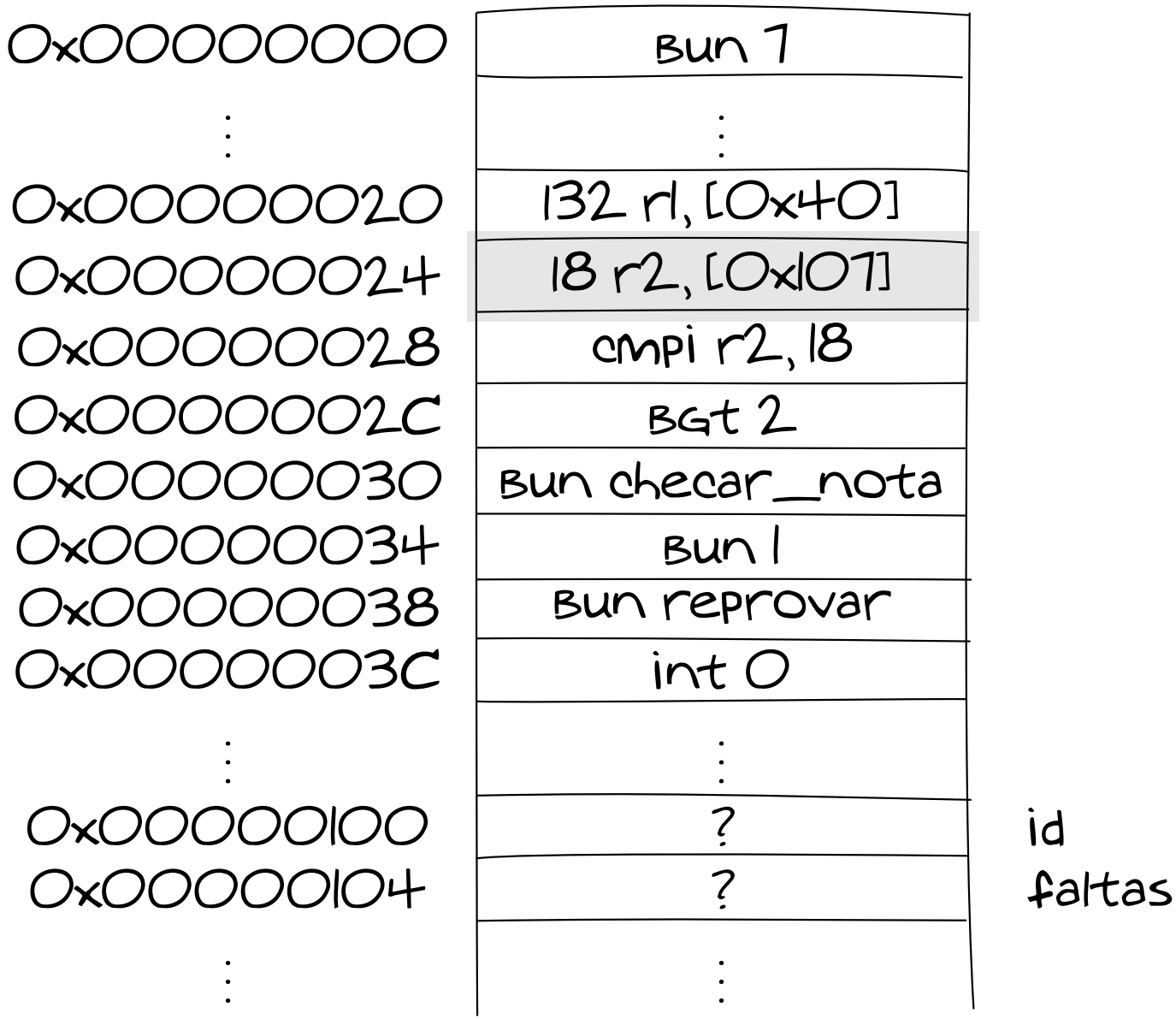
Controle condicional

- Sentença **if**, **else**



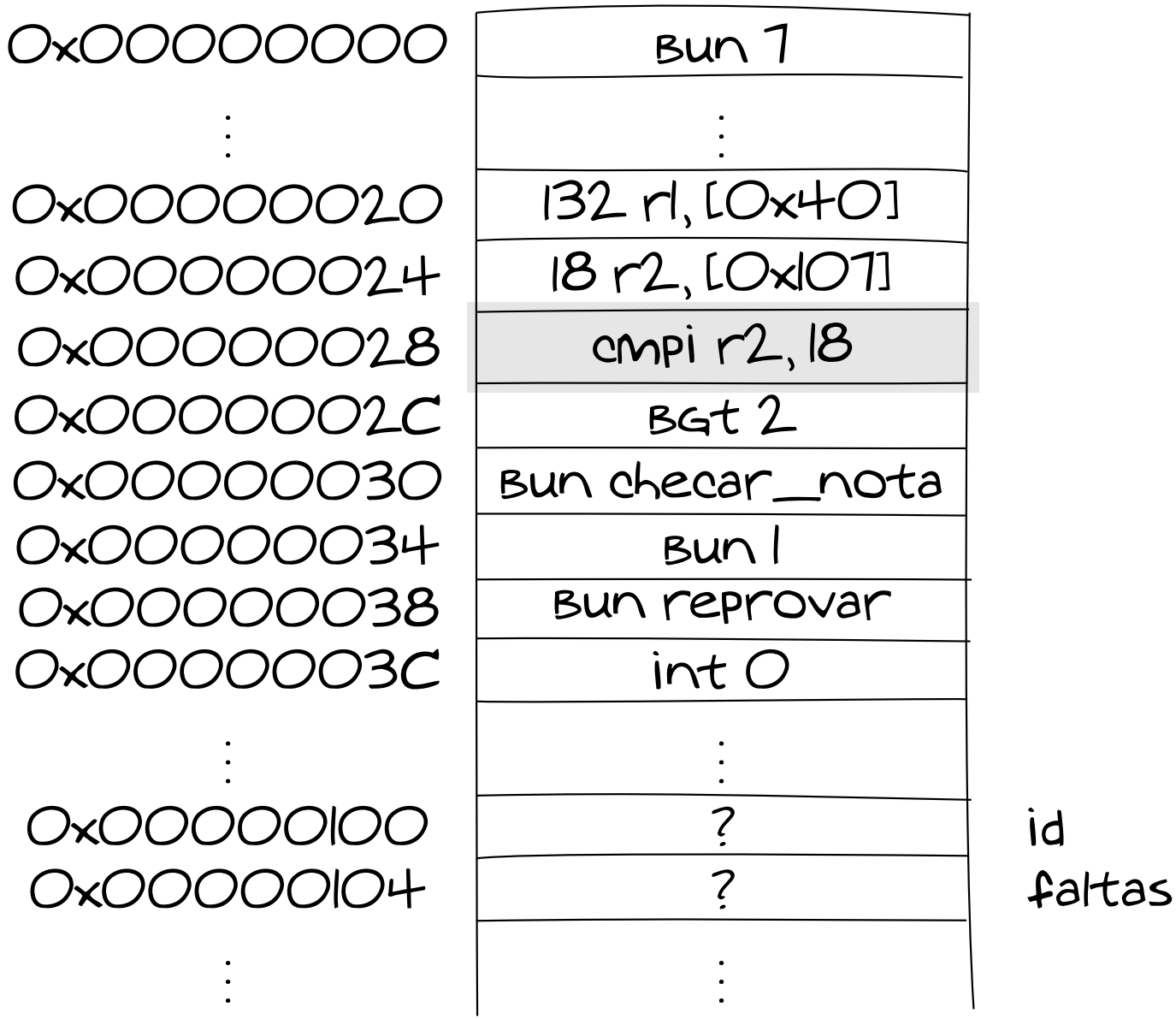
Controle condicional

- Sentença **if**, **else**



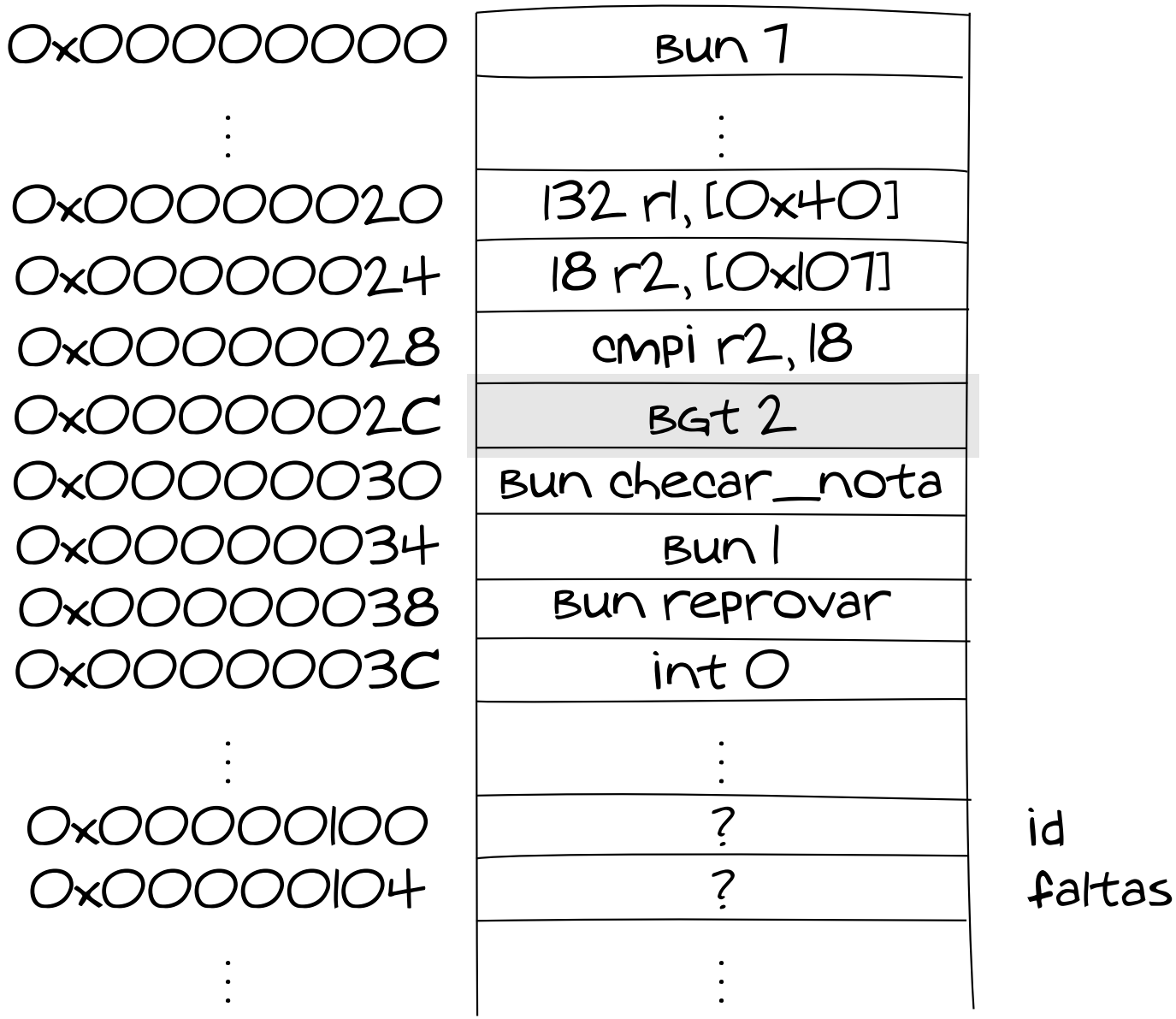
Controle condicional

- Sentença **if**, **else**



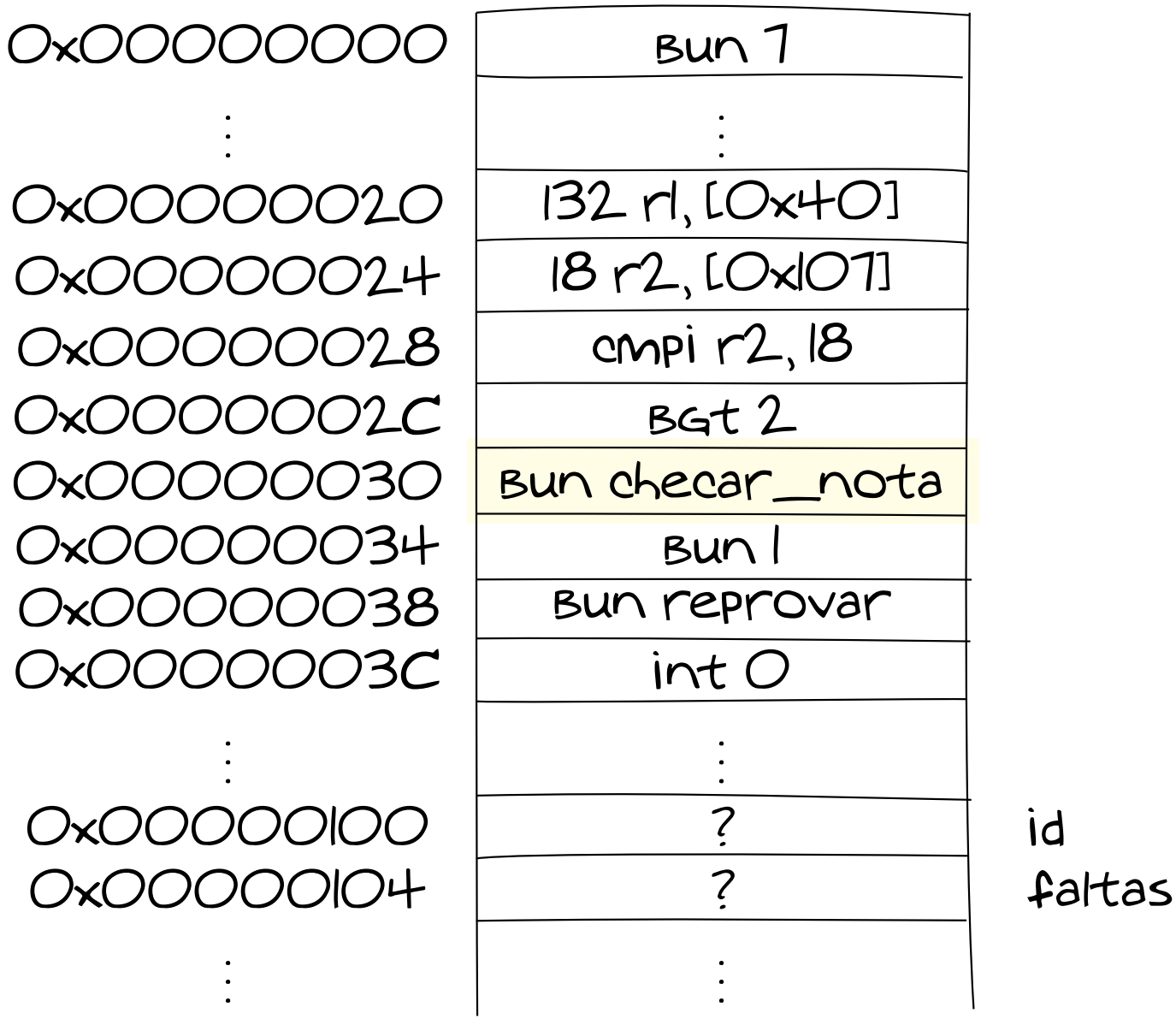
Controle condicional

- Sentença **if**, **else**



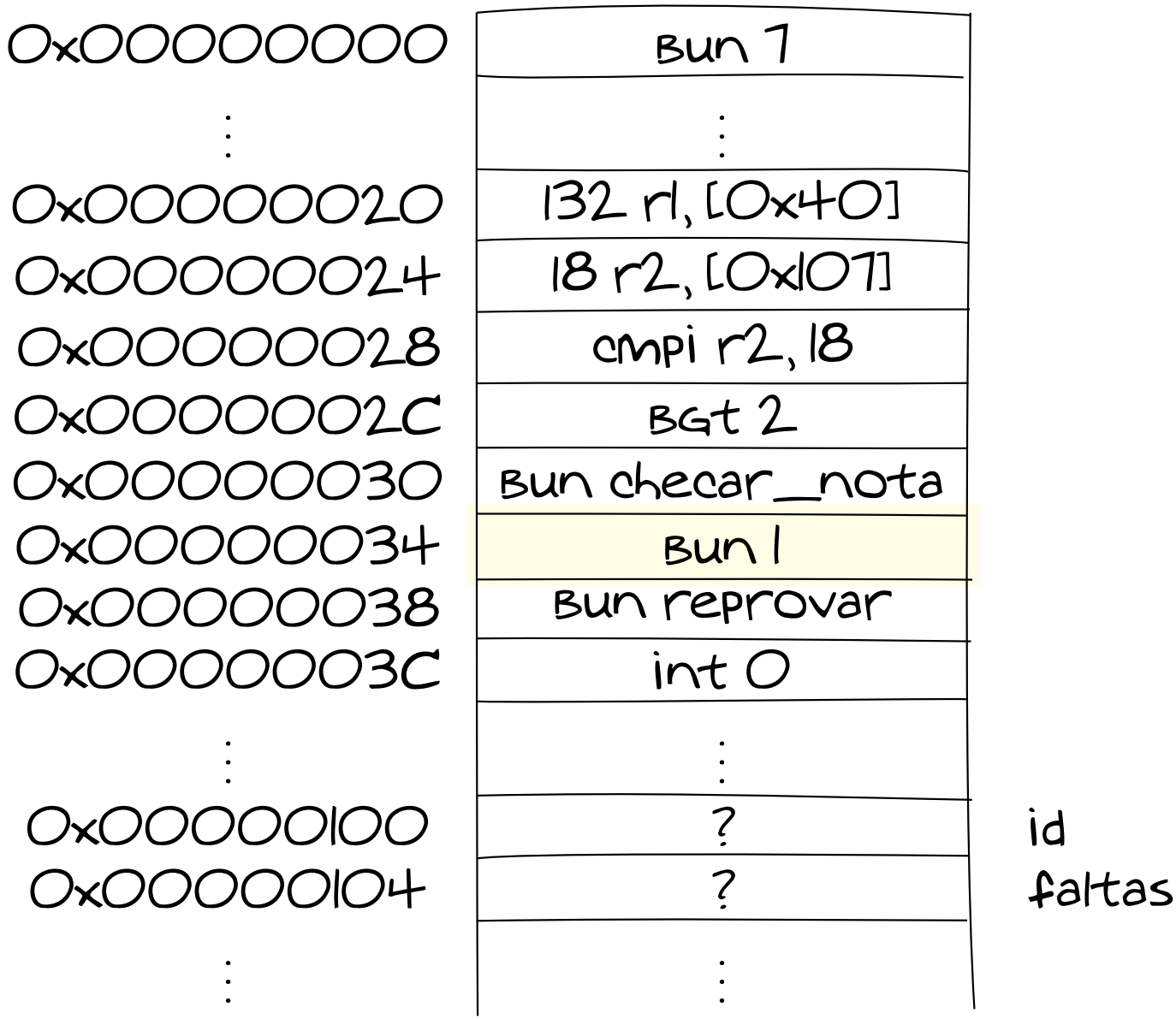
Controle condicional

- Sentença **if**, **else**



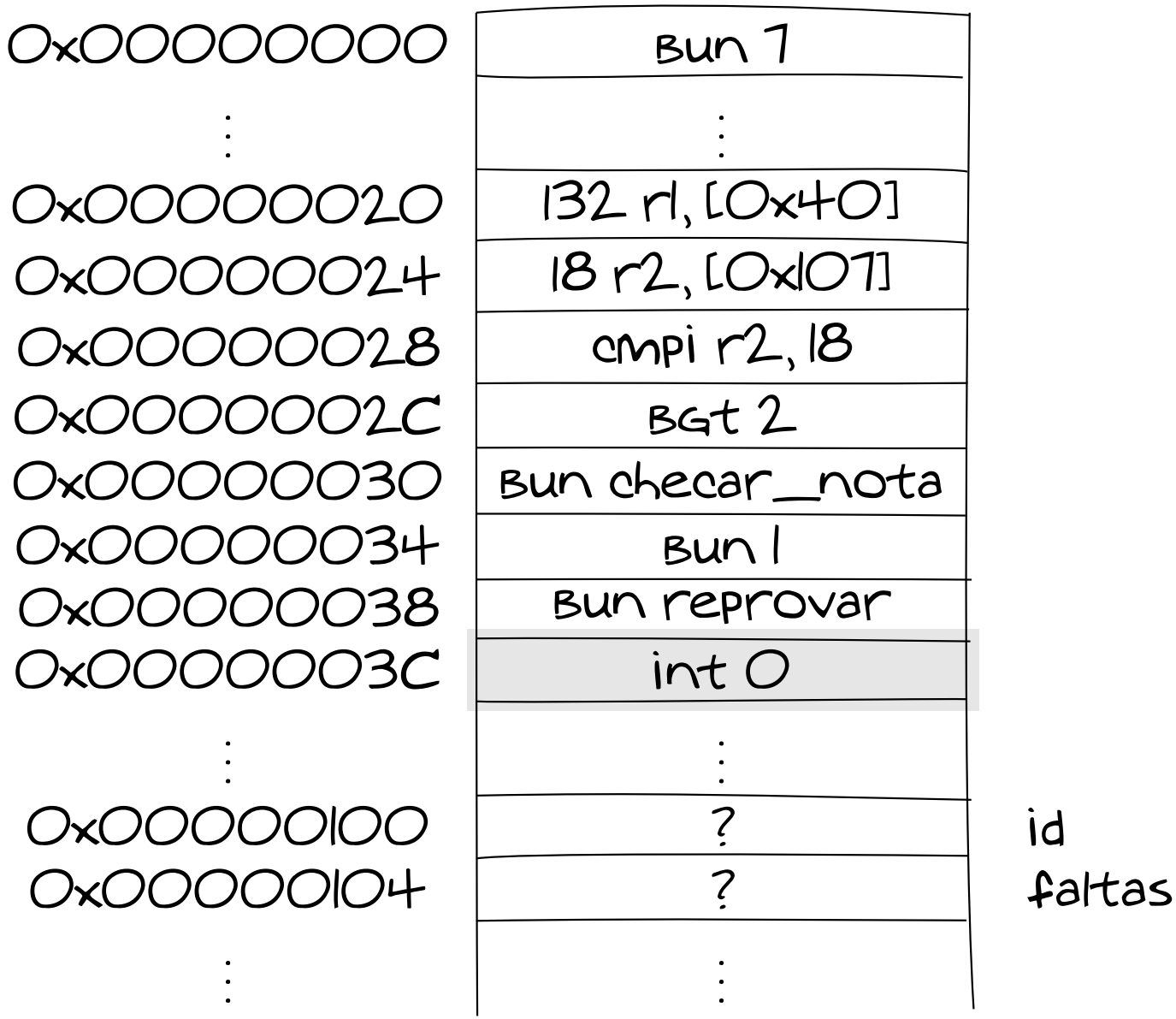
Controle condicional

- Sentença **if**, **else**



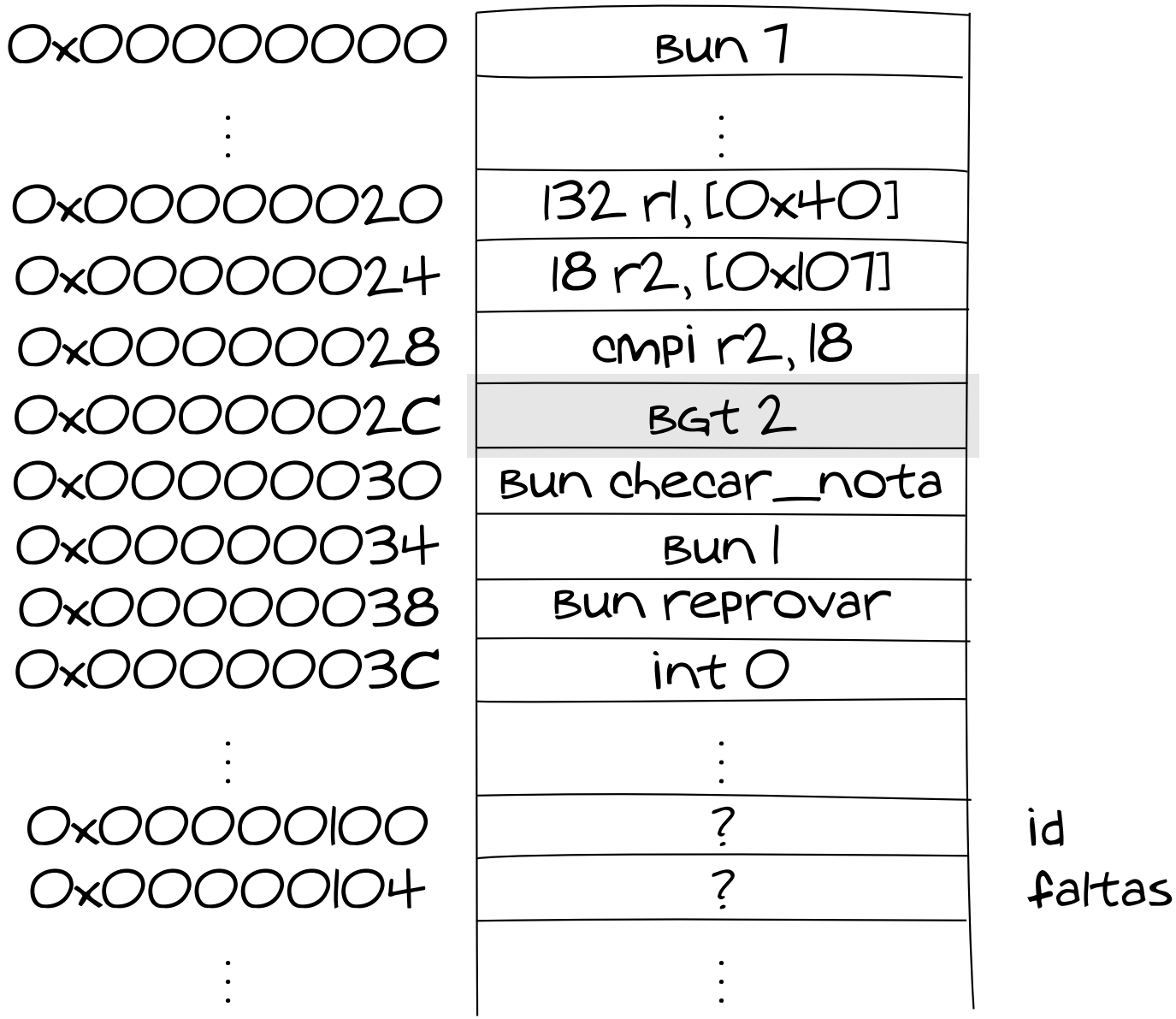
Controle condicional

- Sentença **if**, **else**



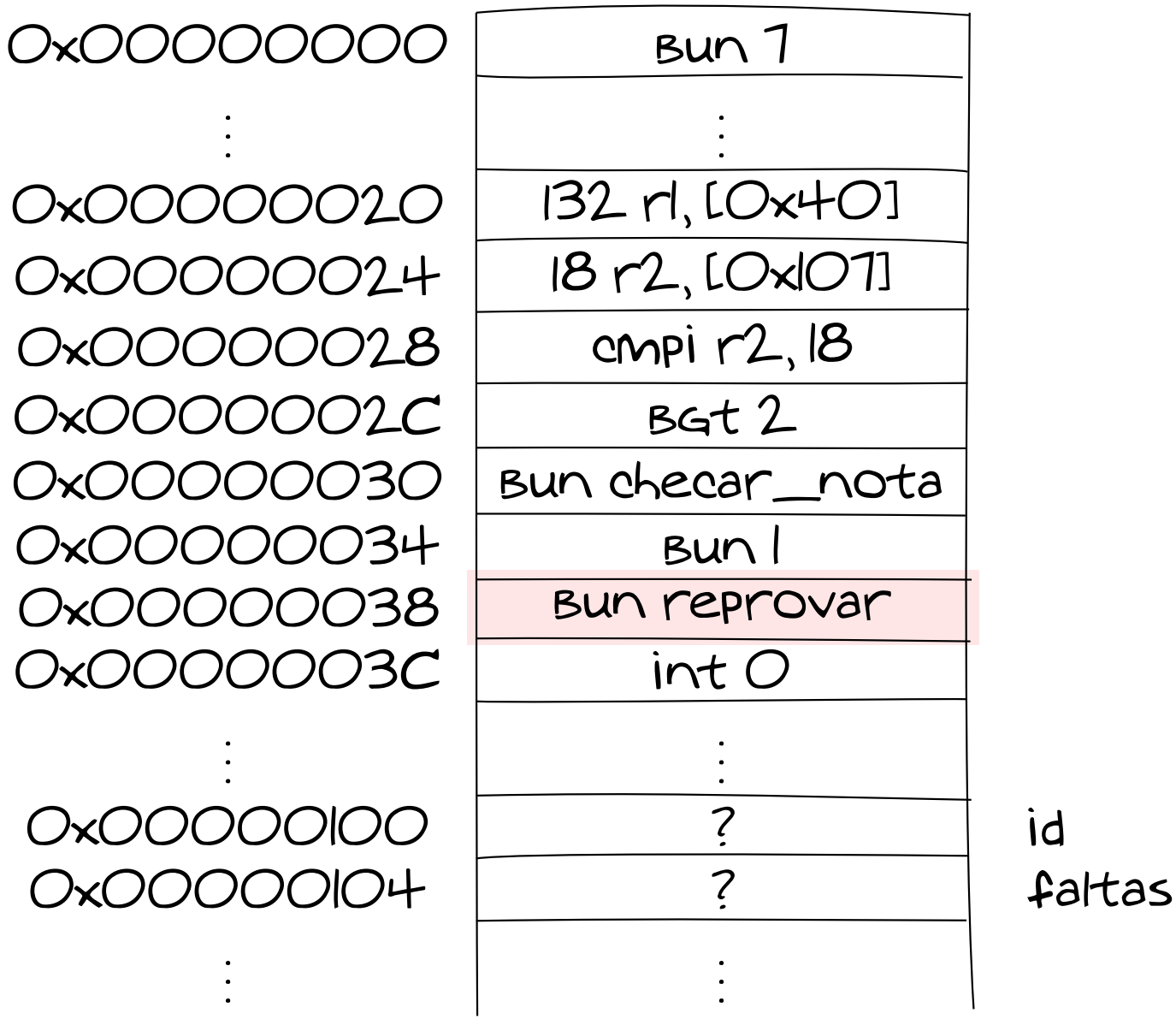
Controle condicional

- Sentença **if**, **else**



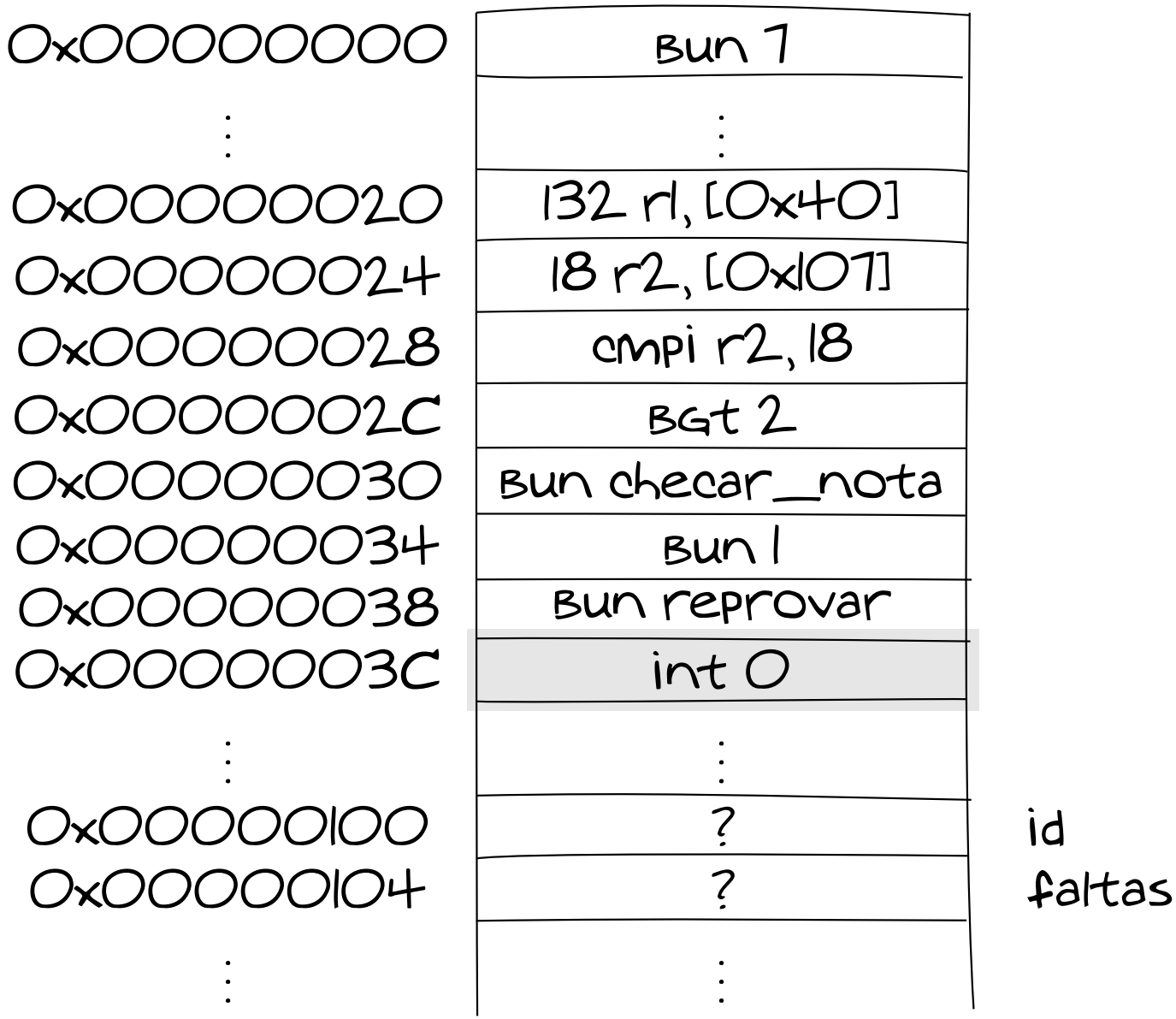
Controle condicional

- Sentença **if**, **else**



Controle condicional

- Sentença **if**, **else**



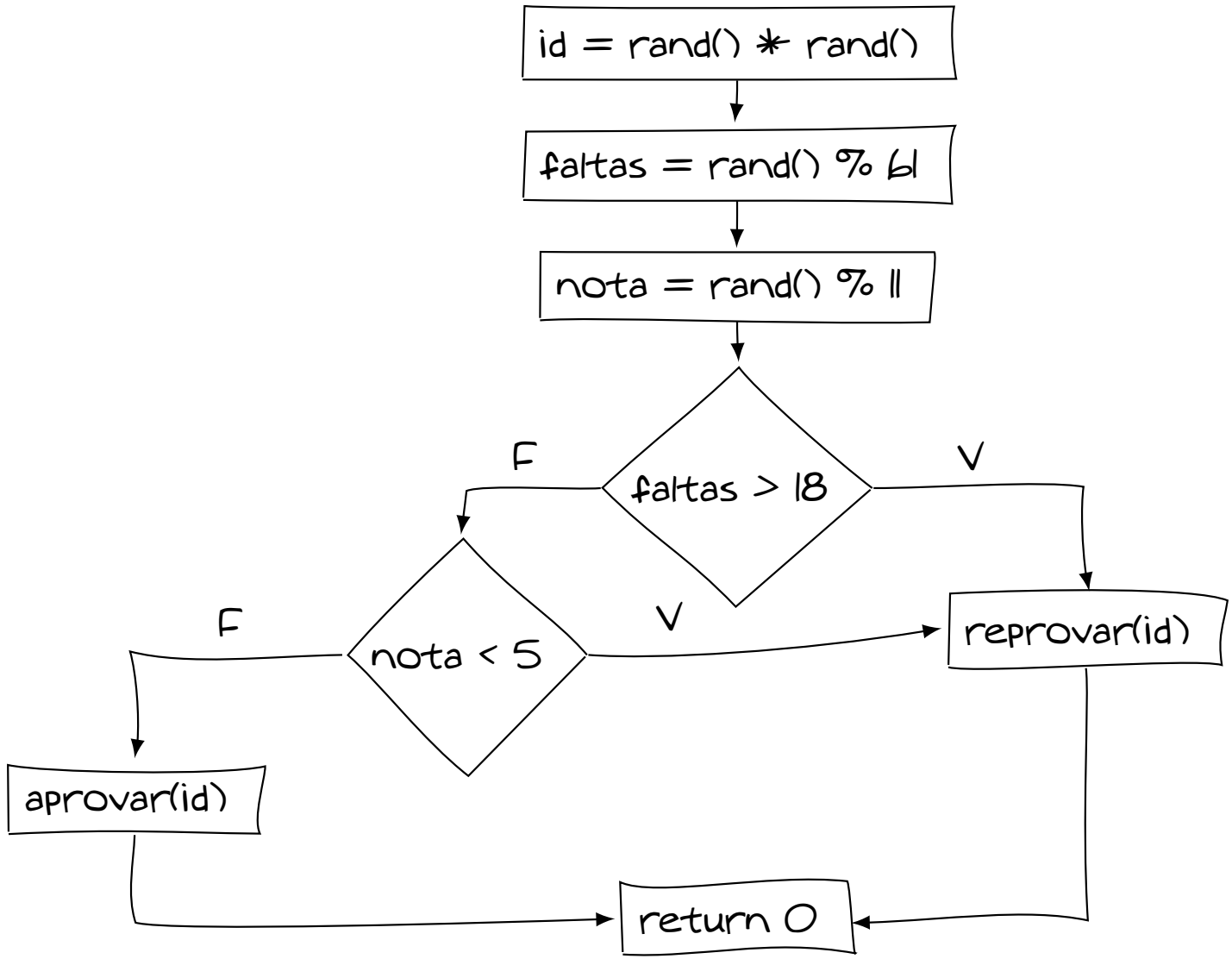
Controle condicional

- Sentença **if**, **else if**, **else**

```
1   // Inteiros com tamanho fixo
2   #include <stdint.h>
... ...
10  // Função principal
11  int main() {
12      // ID do aluno
13      uint32_t id = rand() * rand();
14      // Quantidade de faltas acumuladas e nota final
15      uint8_t faltas = rand() % 61, nota = rand() % 11;
16      // Se faltas > 18 horas, então reprovar
17      if(faltas > 18) reprovar(id);
18      // Se não, se nota < 5, então reprovar
19      else if(nota < 5) reprovar(id);
20      // Se não, aprovar
21      else aprovar(id);
22      // Retorno sem erros
23      return 0;
24  }
```

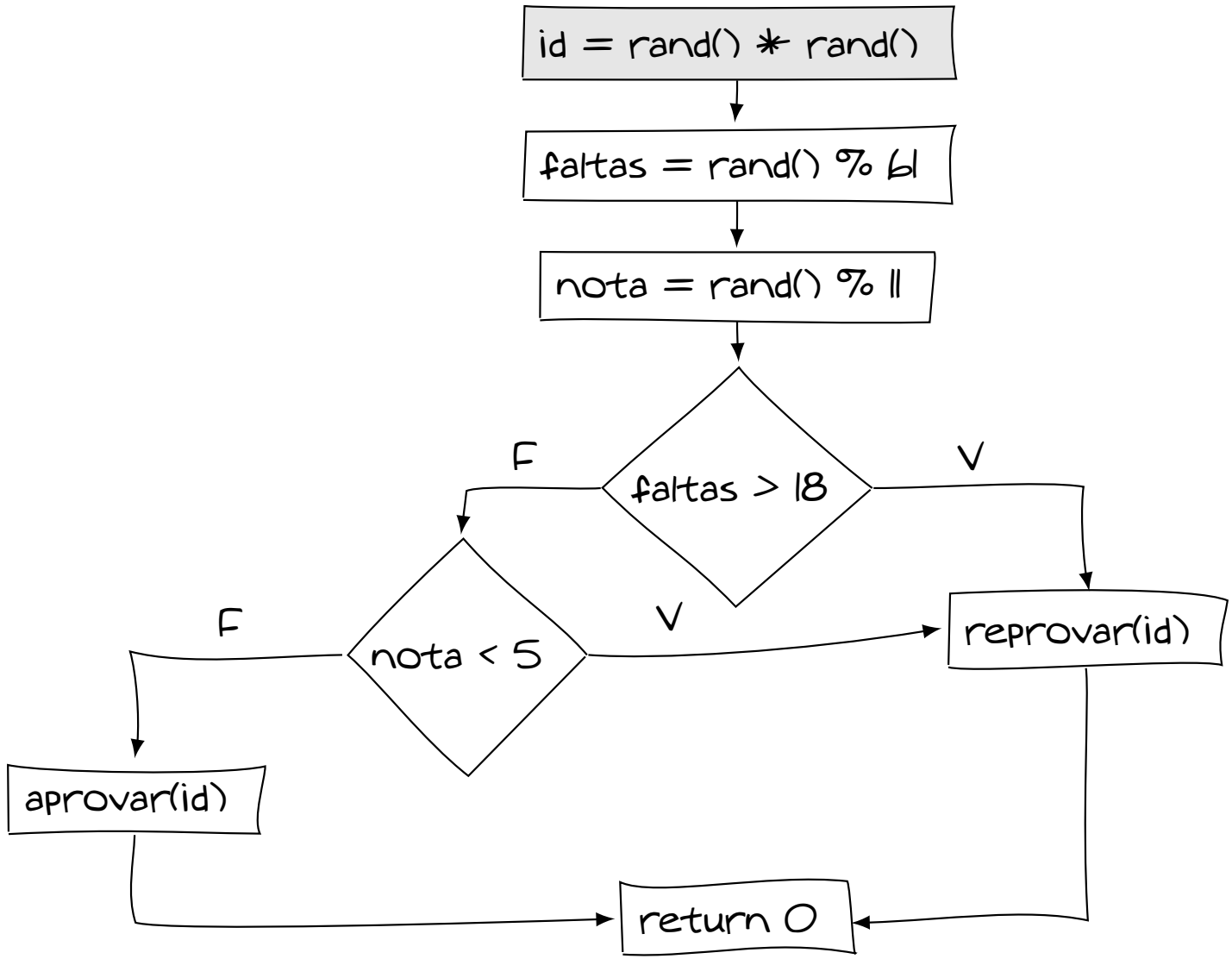
Controle condicional

- Sentença **if**, **else if**, **else**
  - Fluxo de execução



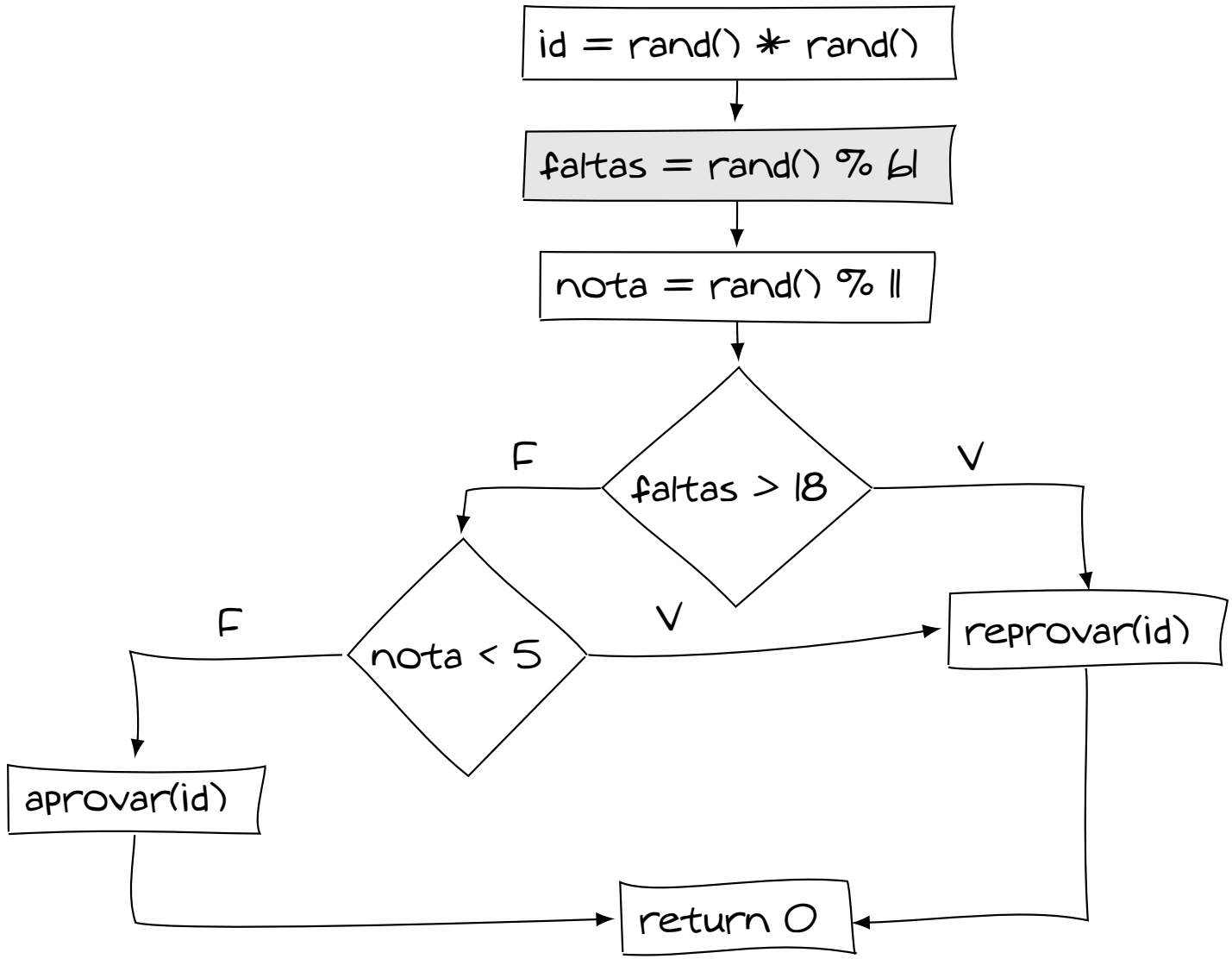
Controle condicional

- Sentença **if**, **else if**, **else**
  - Fluxo de execução



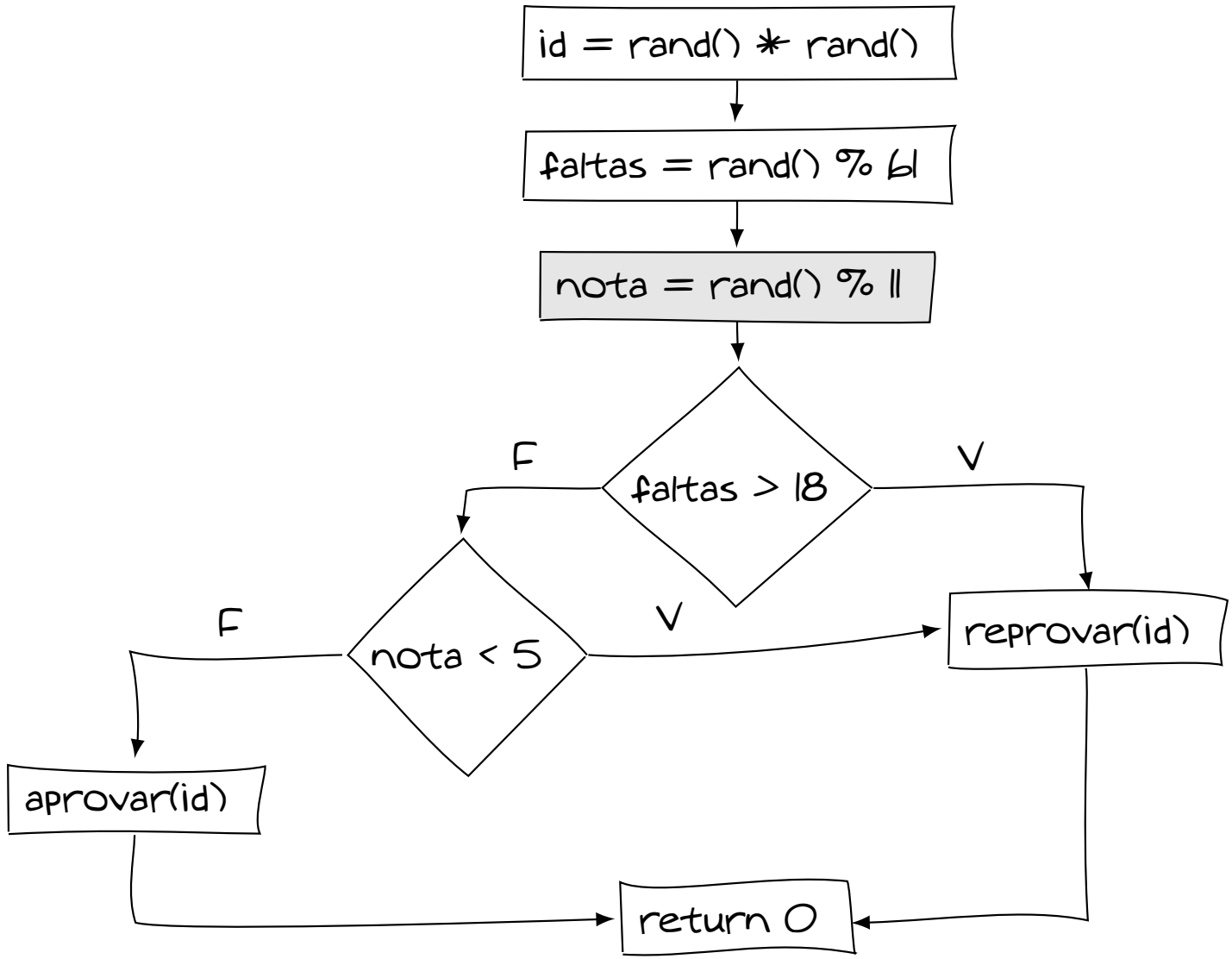
Controle condicional

- Sentença **if**, **else if**, **else**
  - Fluxo de execução



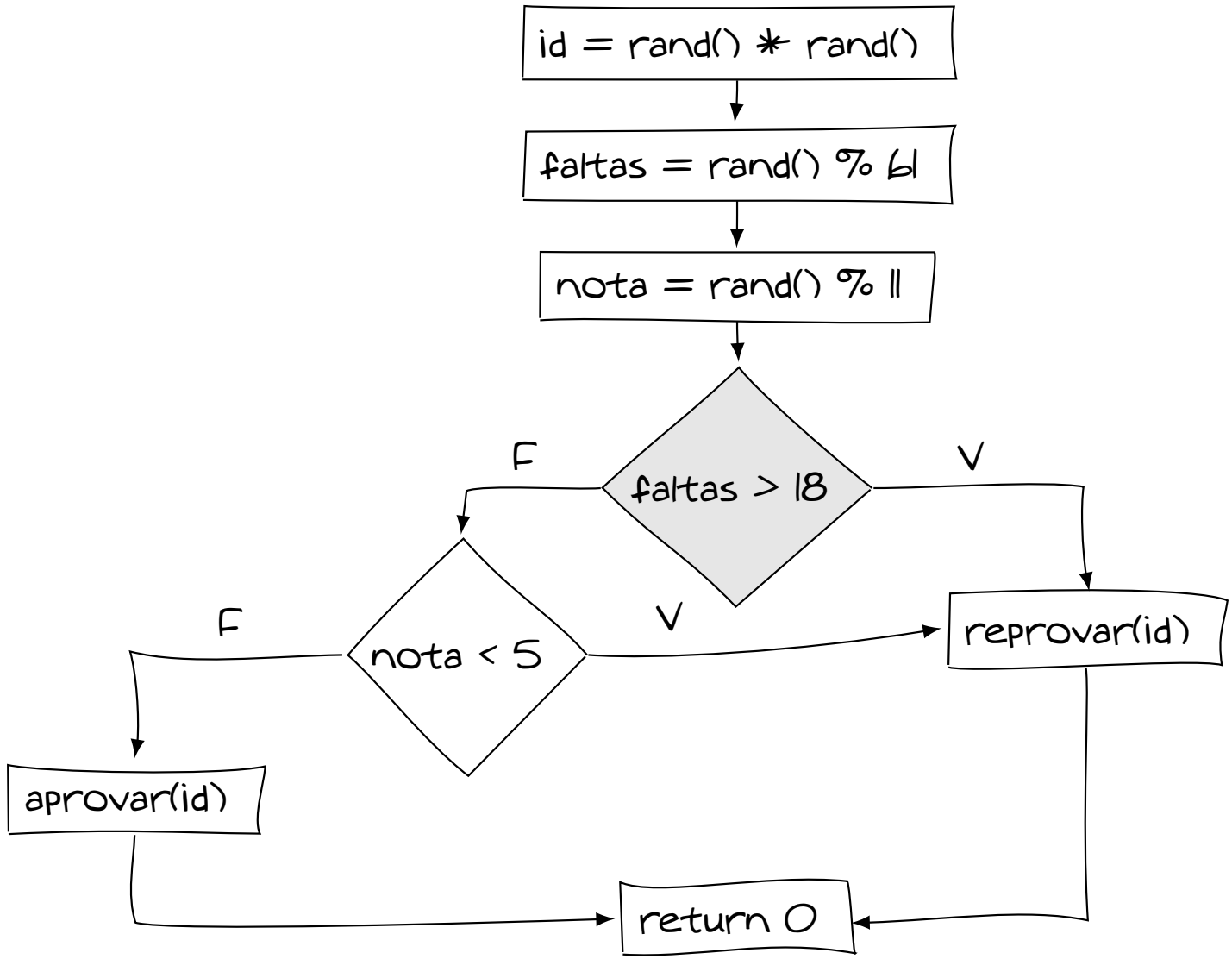
Controle condicional

- Sentença **if**, **else if**, **else**
  - Fluxo de execução



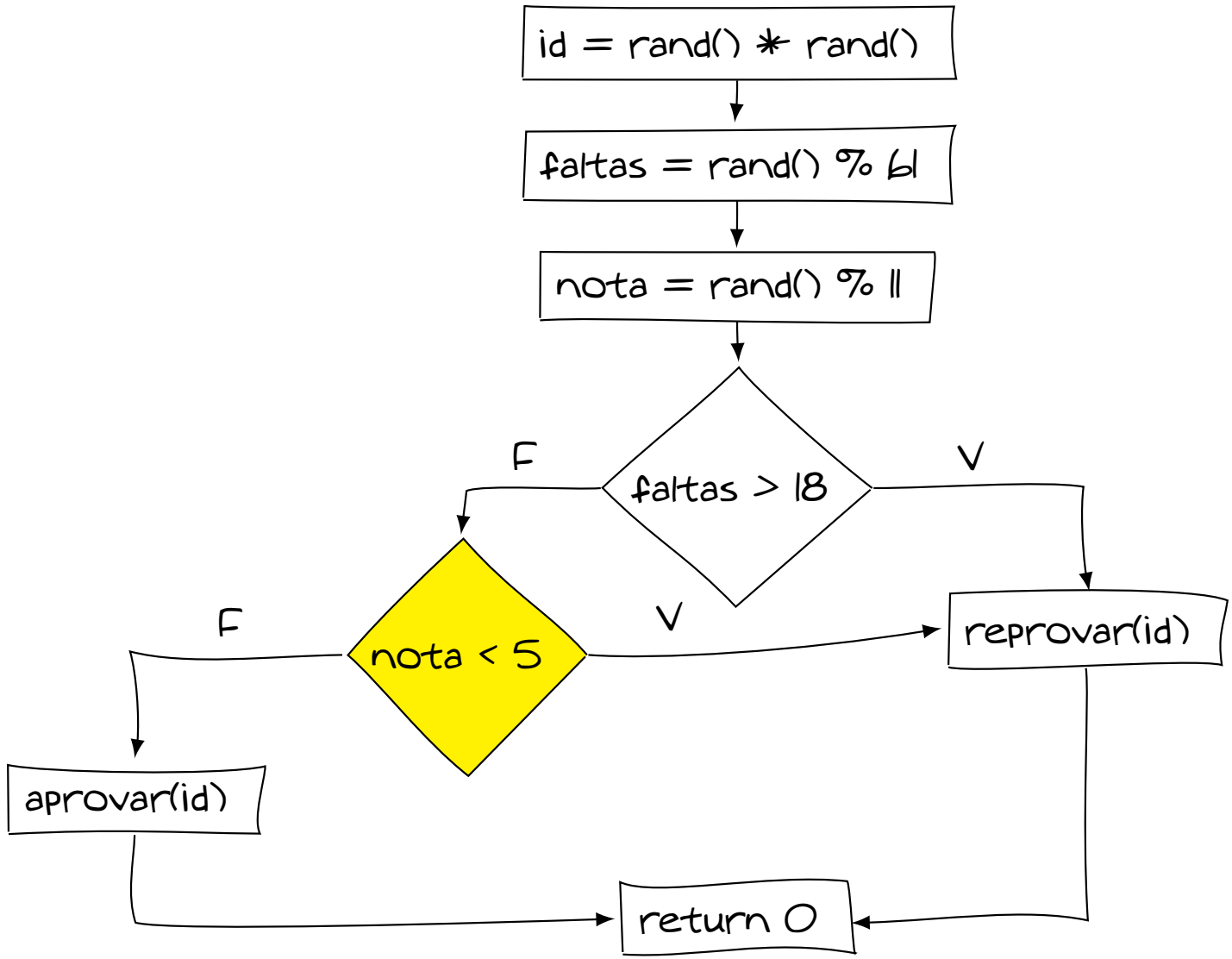
Controle condicional

- Sentença **if**, **else if**, **else**
  - Fluxo de execução



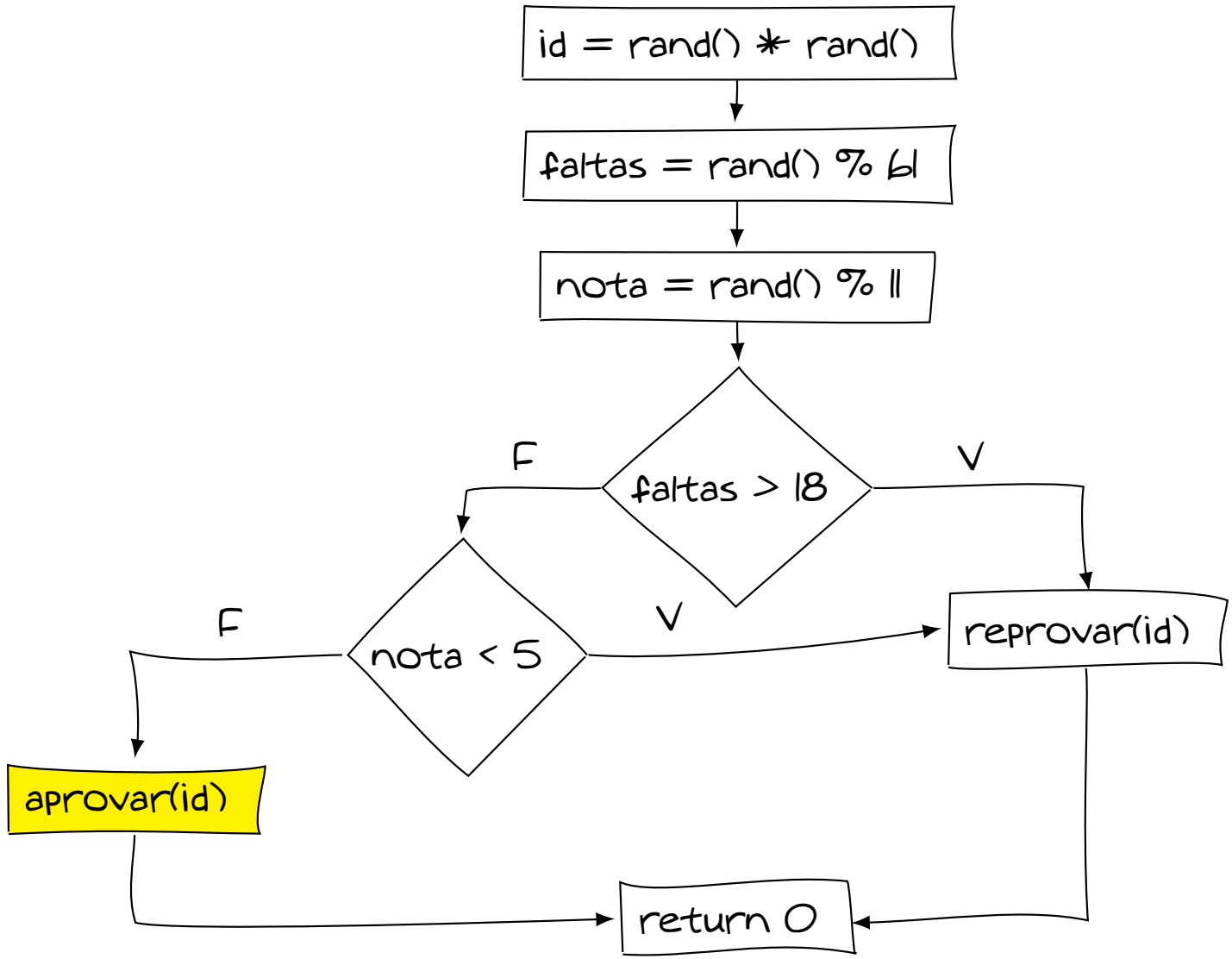
Controle condicional

- Sentença **if**, **else if**, **else**
  - Fluxo de execução



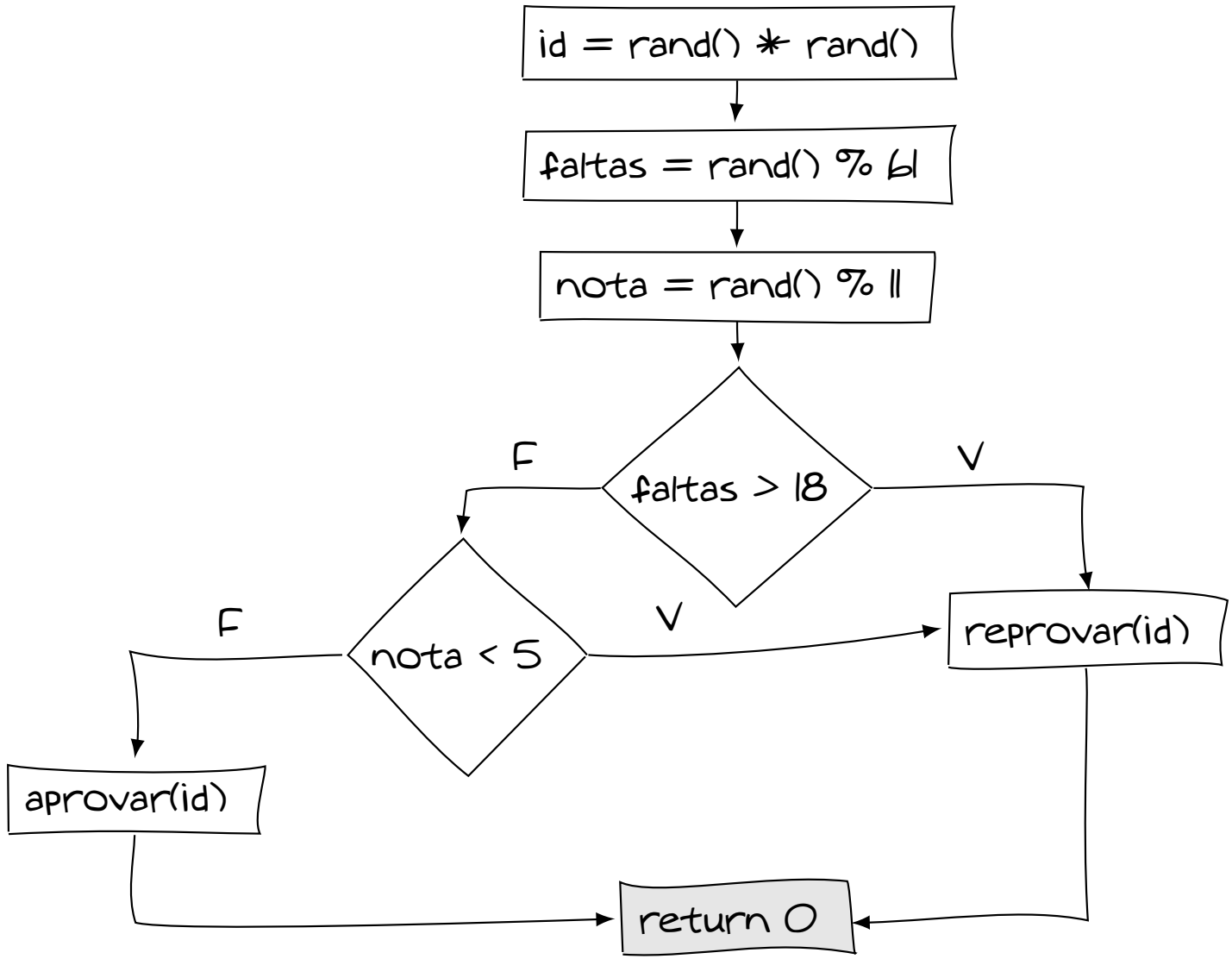
Controle condicional

- Sentença **if**, **else if**, **else**
  - Fluxo de execução



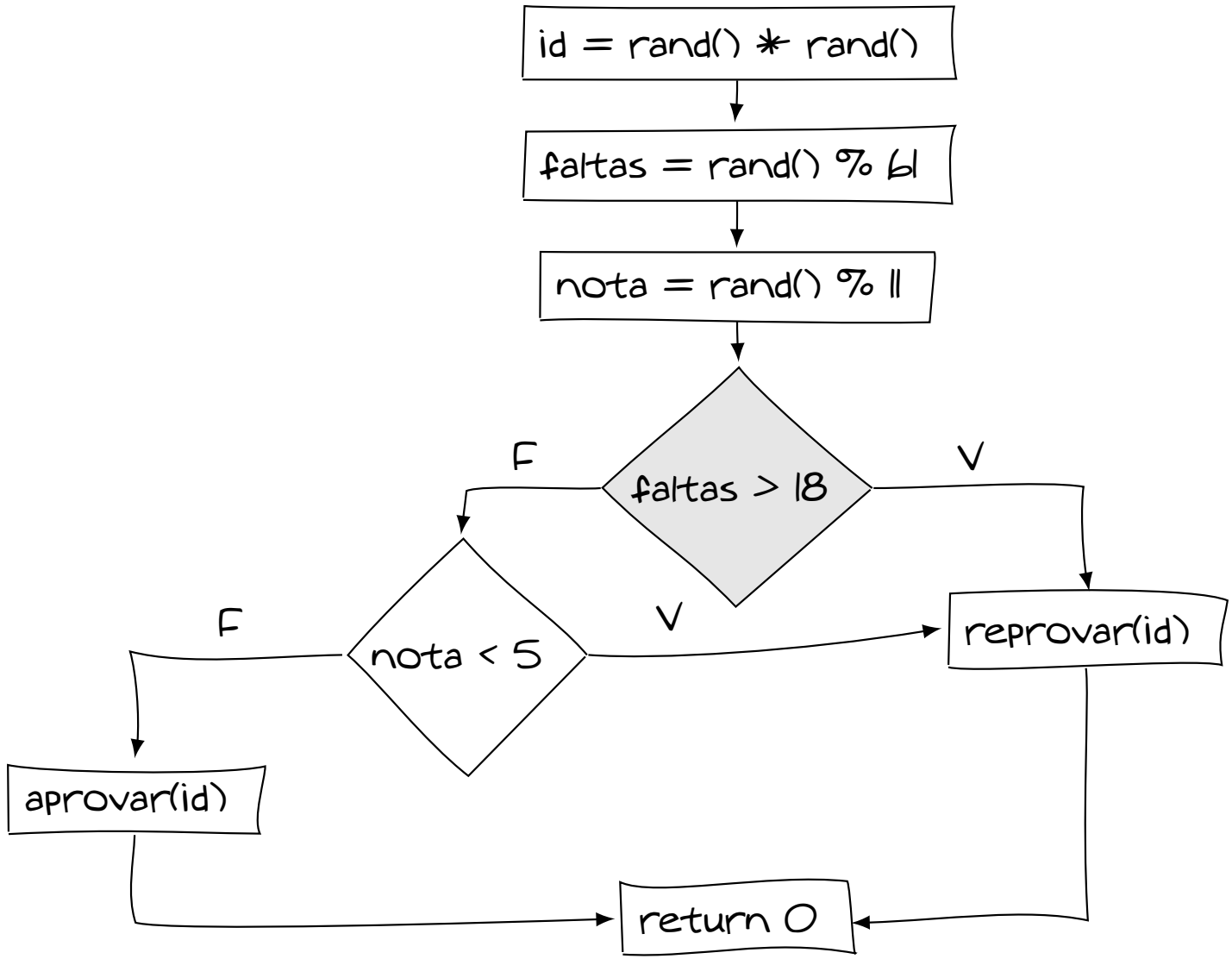
Controle condicional

- Sentença **if**, **else if**, **else**
  - Fluxo de execução



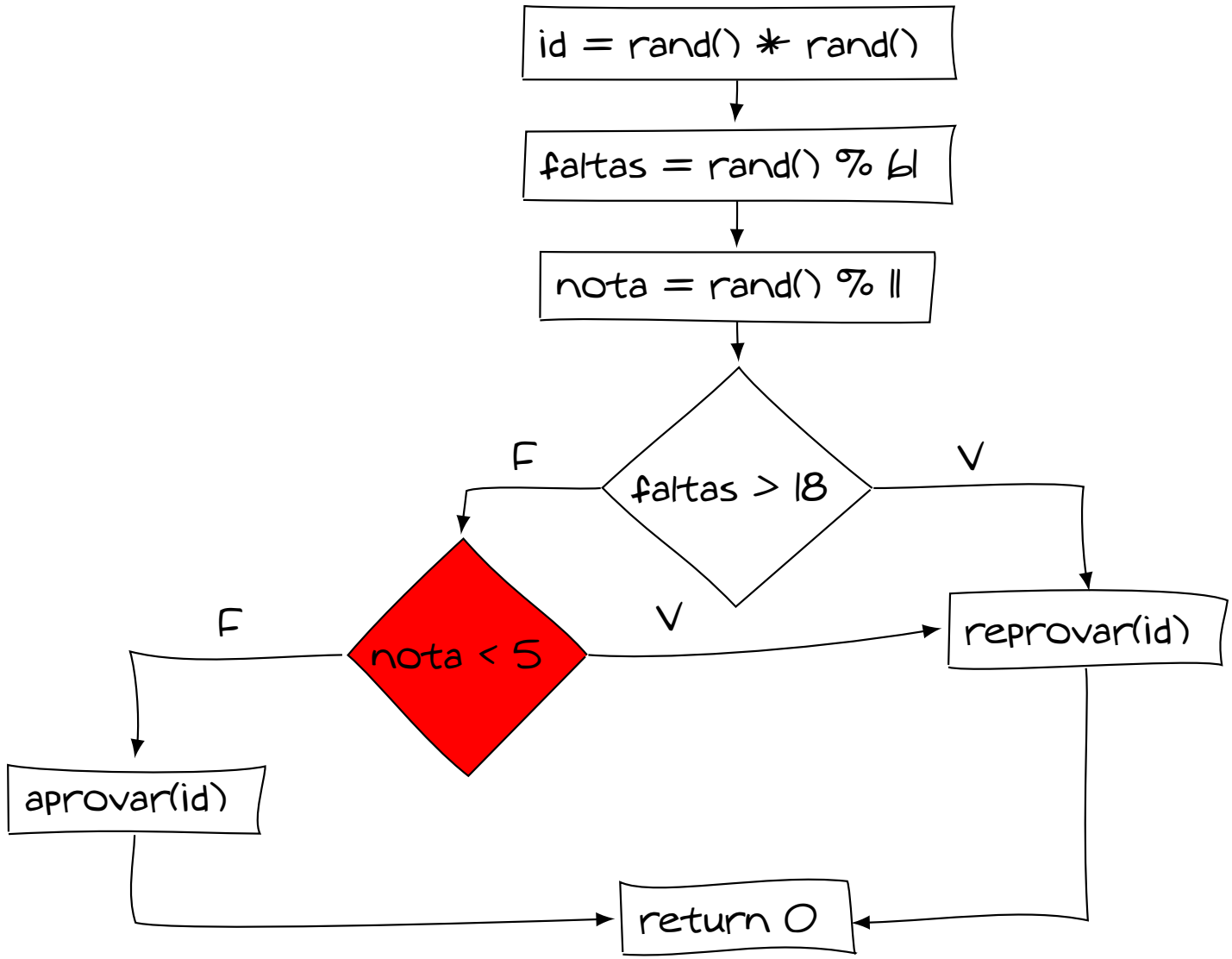
Controle condicional

- Sentença **if**, **else if**, **else**
  - Fluxo de execução



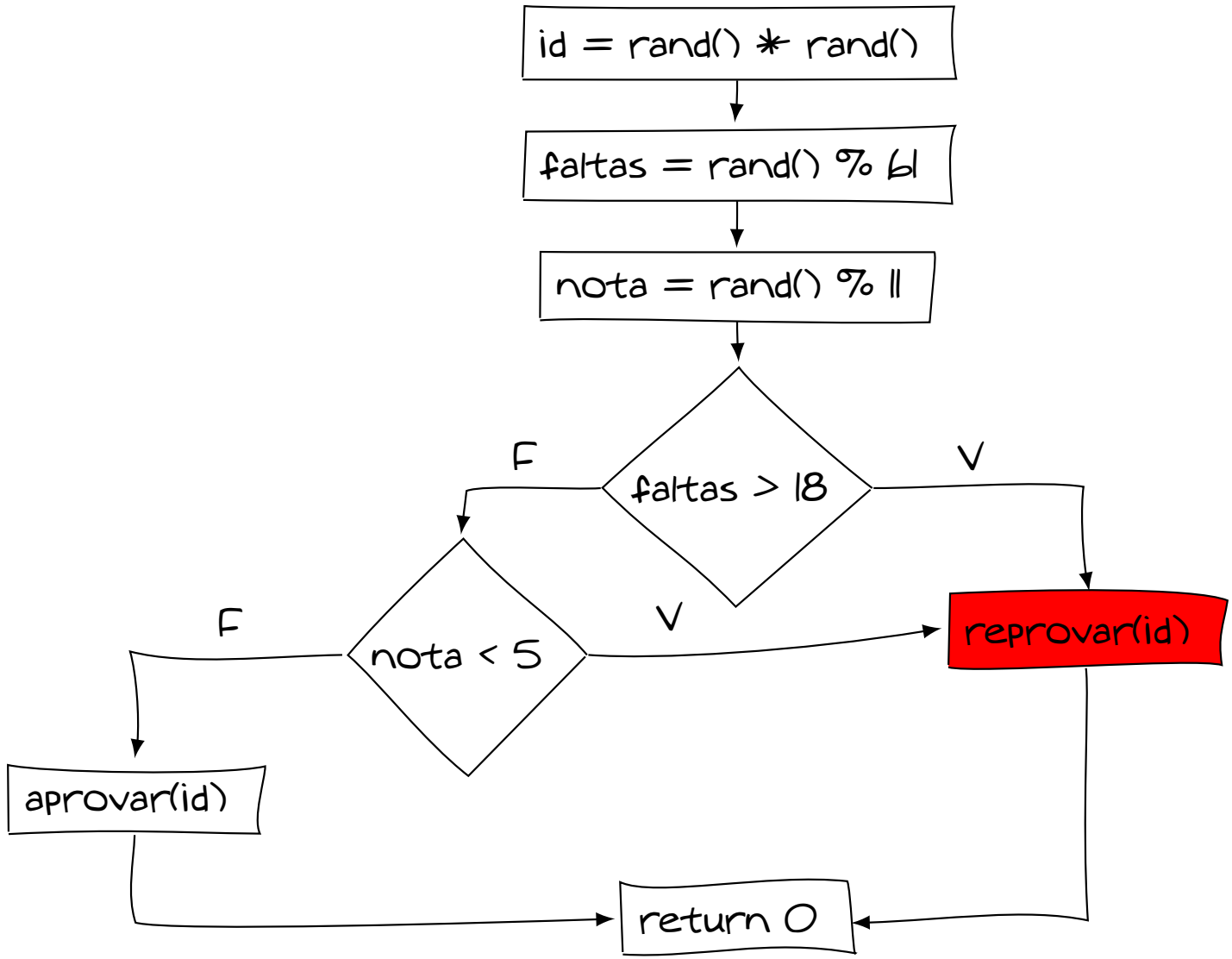
Controle condicional

- Sentença **if**, **else if**, **else**
  - Fluxo de execução



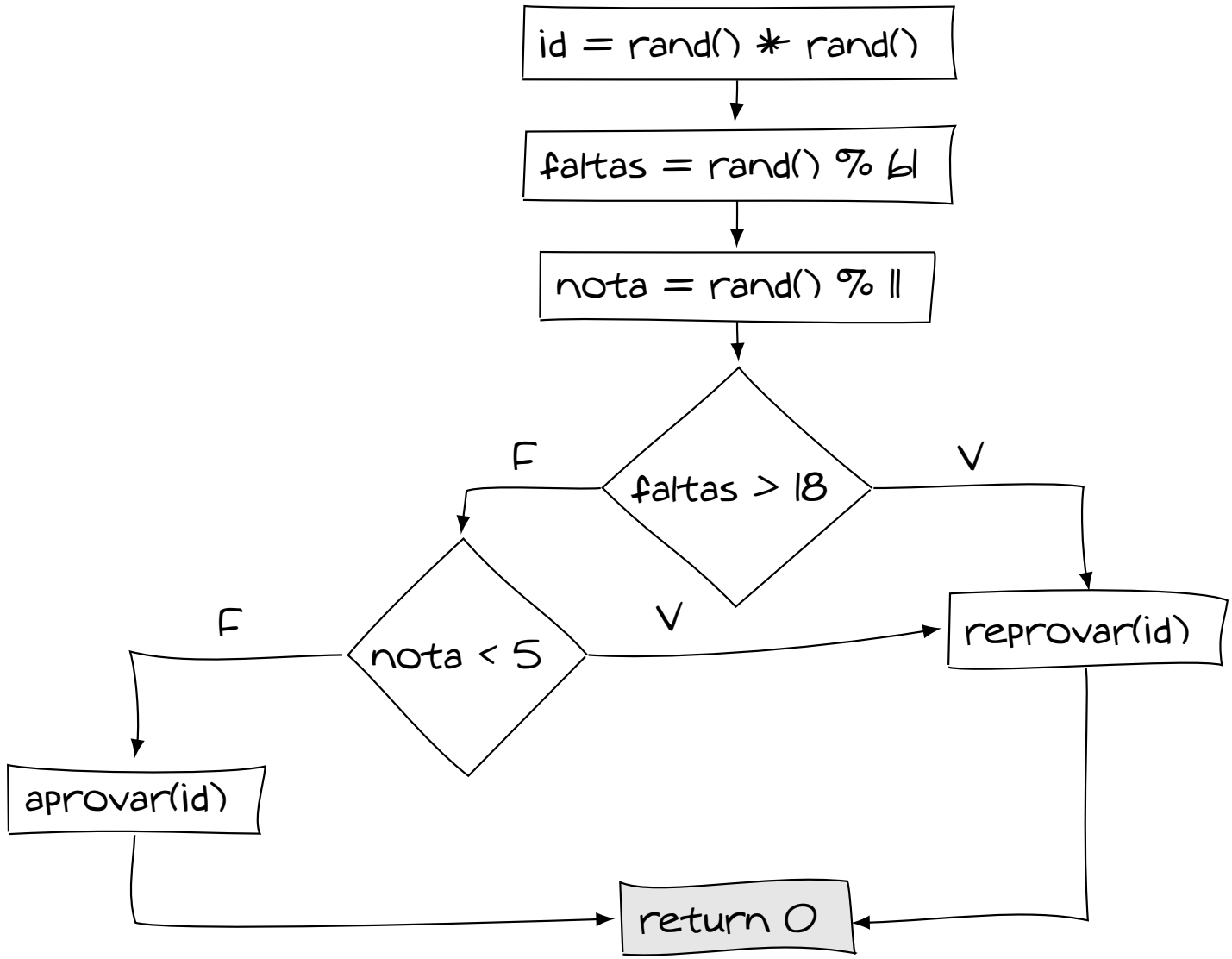
Controle condicional

- Sentença **if**, **else if**, **else**
  - Fluxo de execução



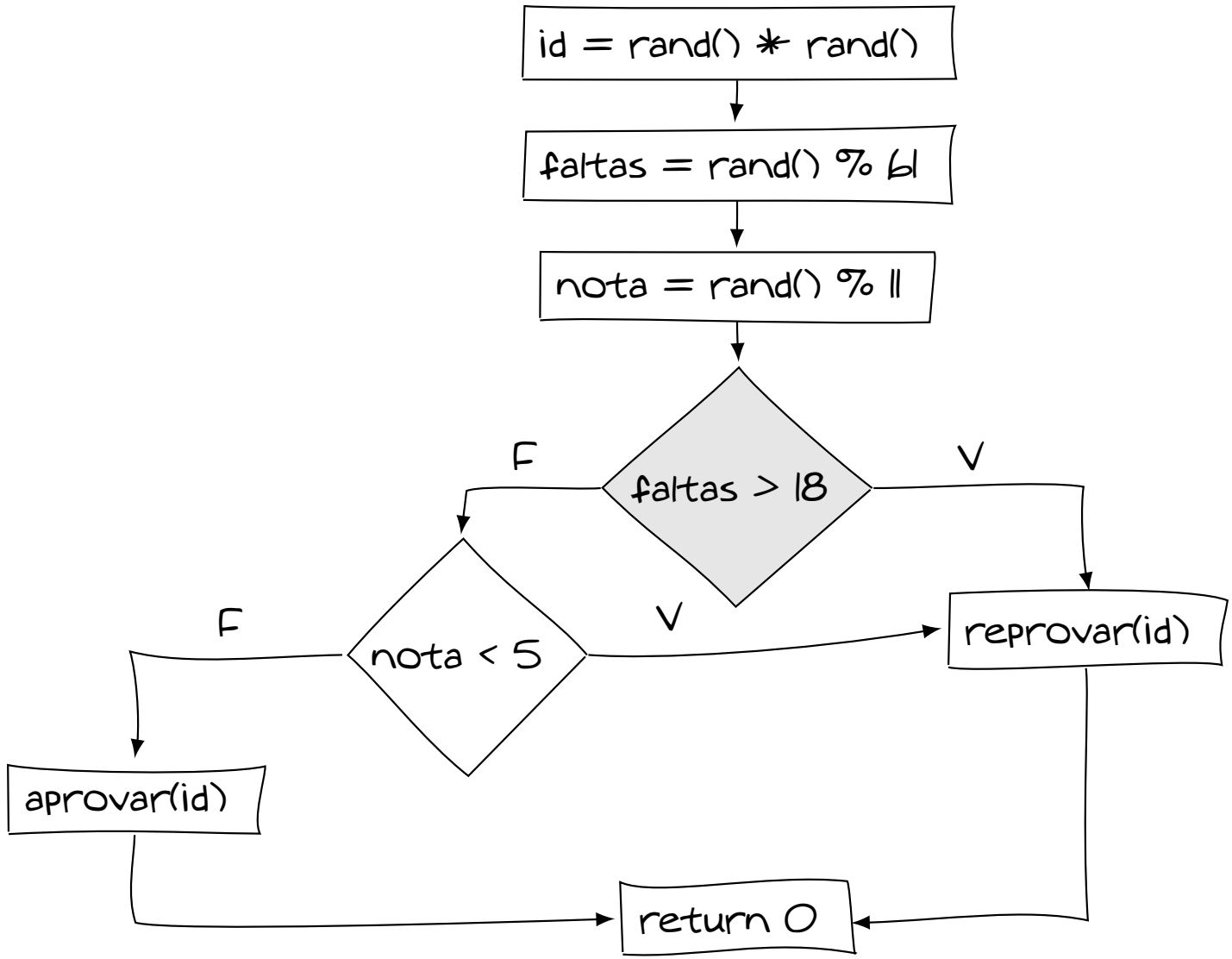
Controle condicional

- Sentença **if**, **else if**, **else**
  - Fluxo de execução



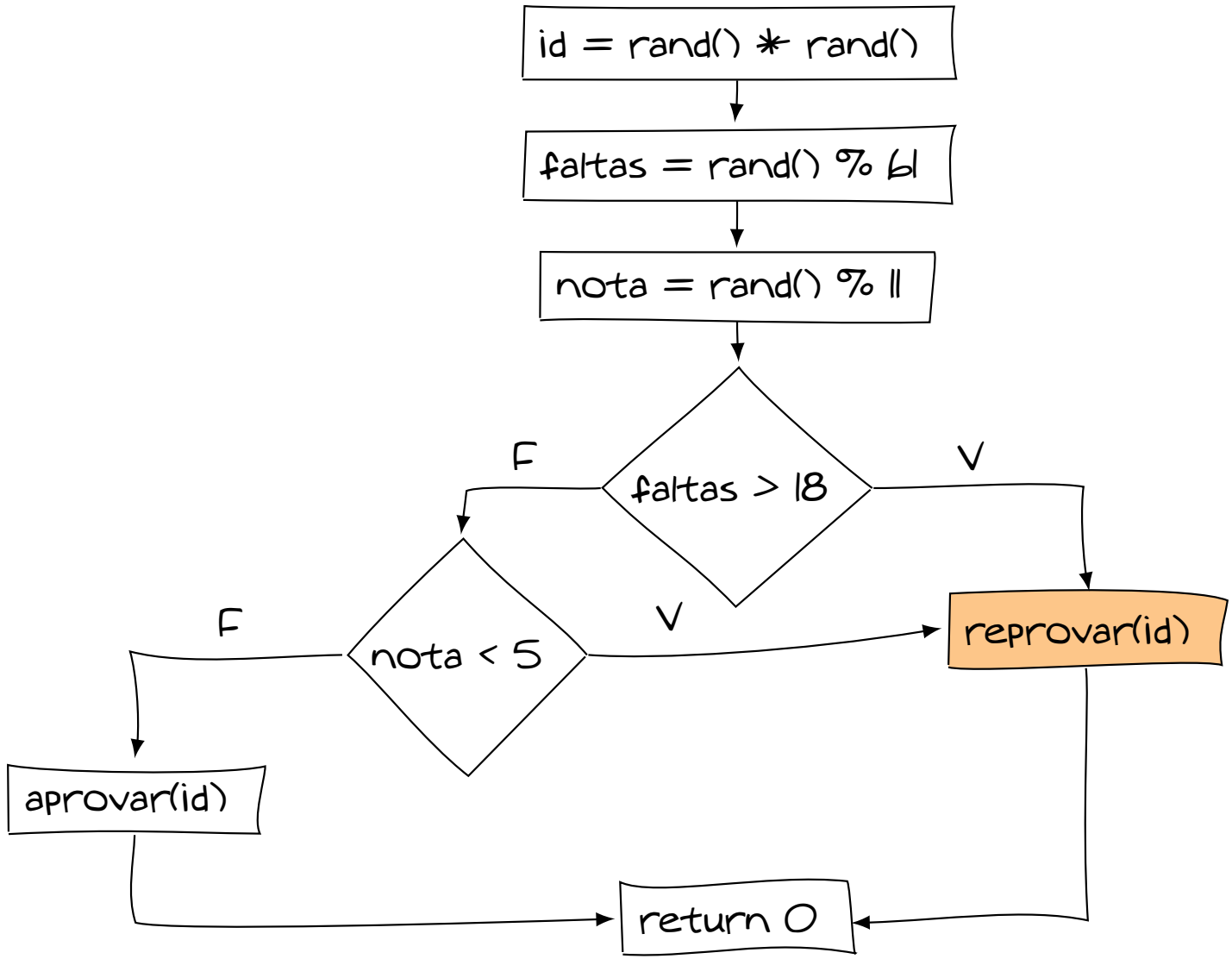
Controle condicional

- Sentença **if**, **else if**, **else**
  - Fluxo de execução



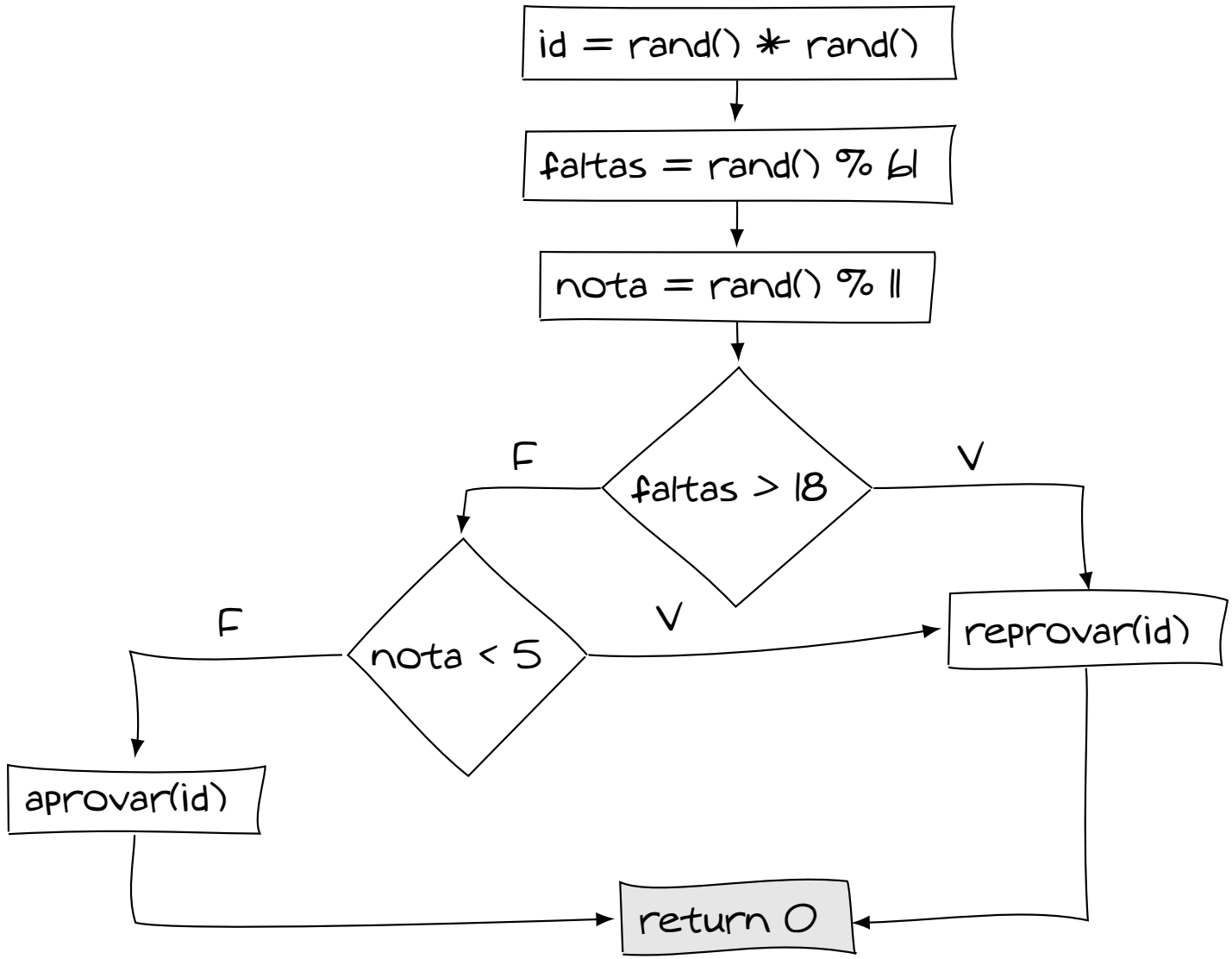
Controle condicional

- Sentença **if**, **else if**, **else**
  - Fluxo de execução



Controle condicional

- Sentença **if**, **else if**, **else**
  - Fluxo de execução



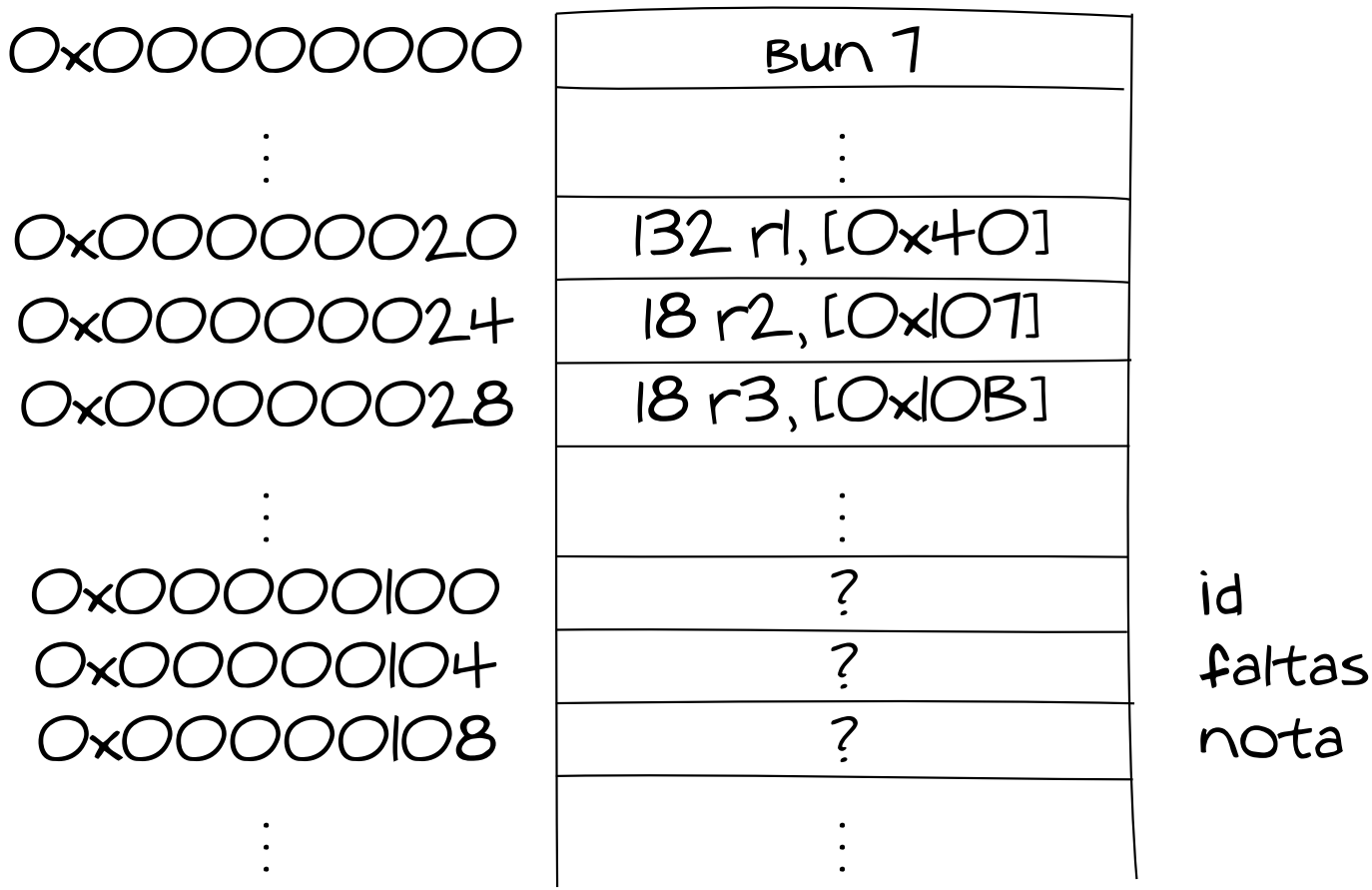
Controle condicional

- Sentença **if**, **else if**, **else**

```
1  // Função principal
2  main:
3      // r1 = id, r2 = faltas, r3 = nota
4      l32 r1, [0x40]
5      l8 r2, [0x107]
6      l8 r3, [0x10B]
7      // faltas ? 18
8      cmpi r2, 18
9      bgt V
10         // nota ? 5
11     F:  cmpi r3, 5
12         blt V
13         // faltas <= 18 and nota >= 5
14         bun aprovar
15         bun 1
16         // faltas > 18 or nota < 5
17     V:  bun reprovar
18     // Fim
19     int 0
```

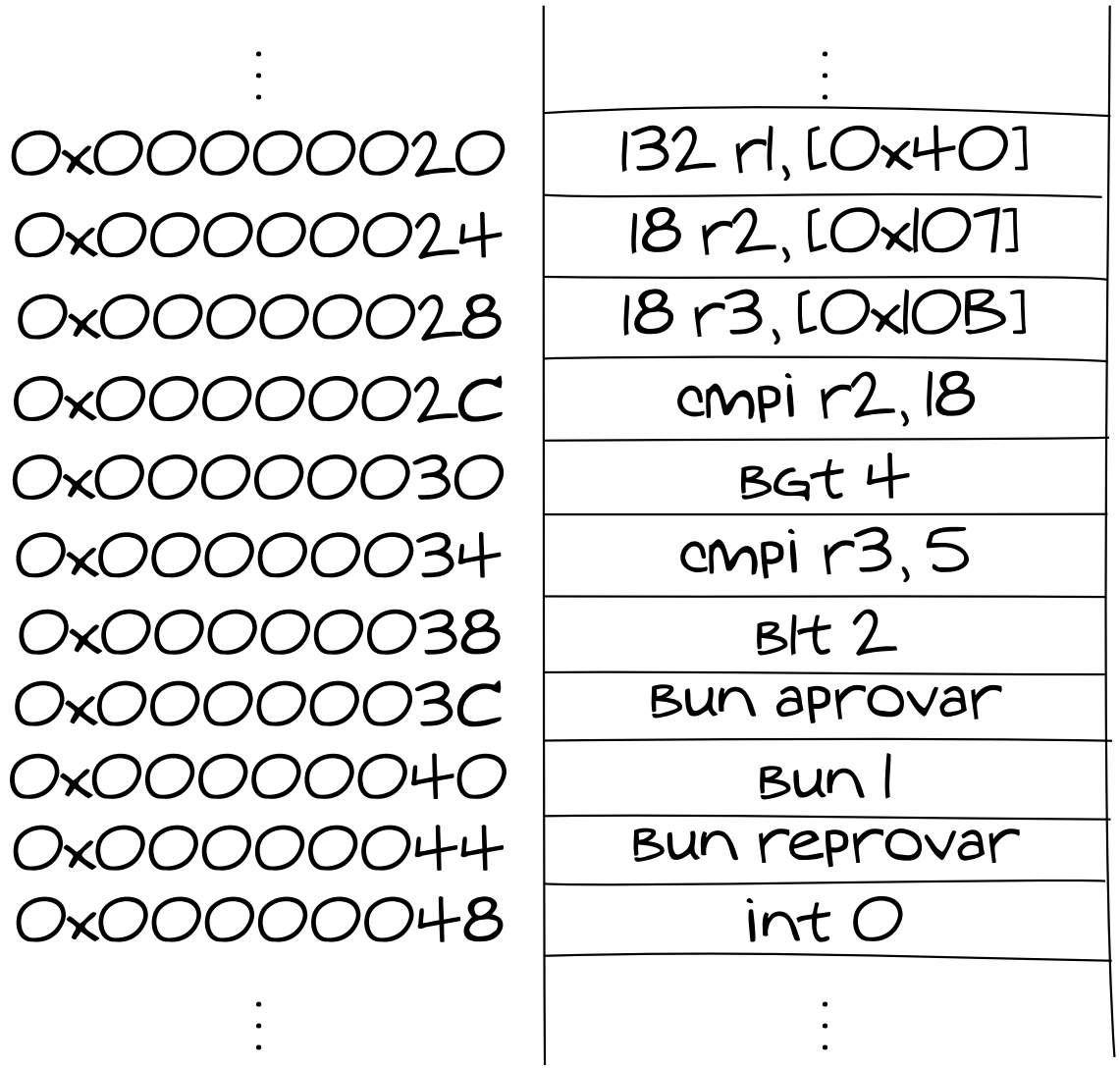
Controle condicional

- Sentença **if**, **else if**, **else**



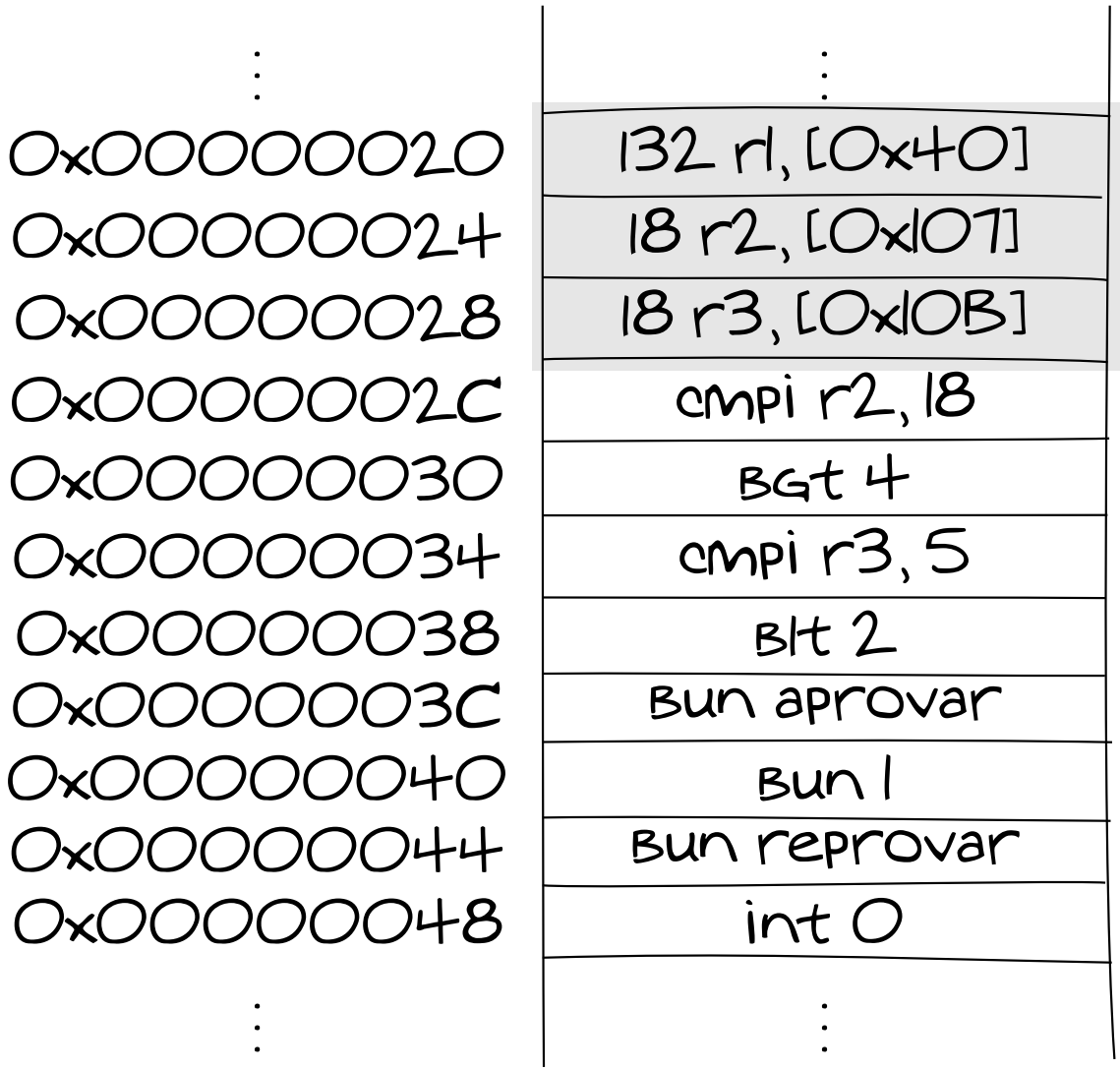
Controle condicional

- Sentença **if**, **else if**, **else**



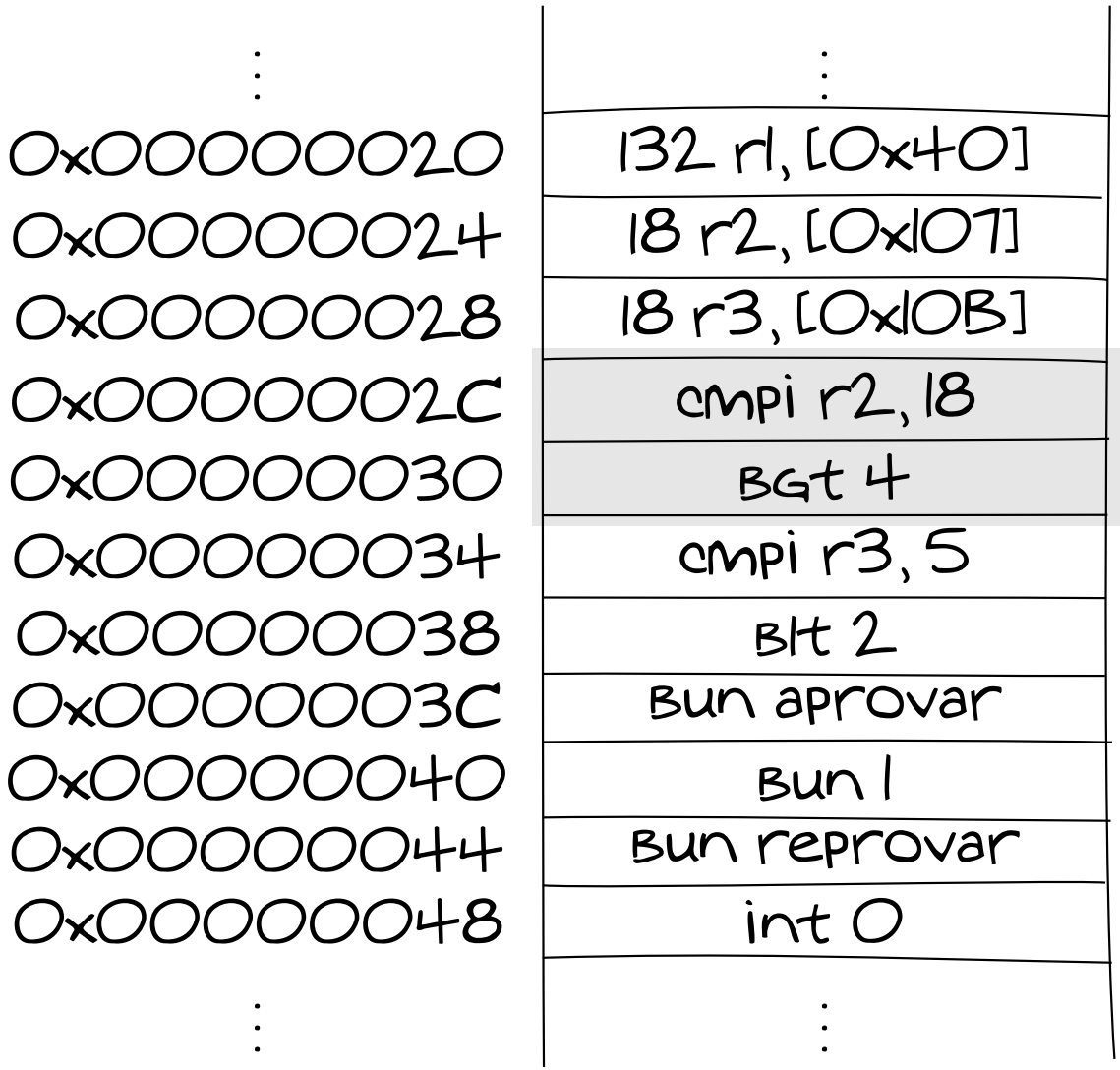
Controle condicional

- Sentença **if**, **else if**, **else**



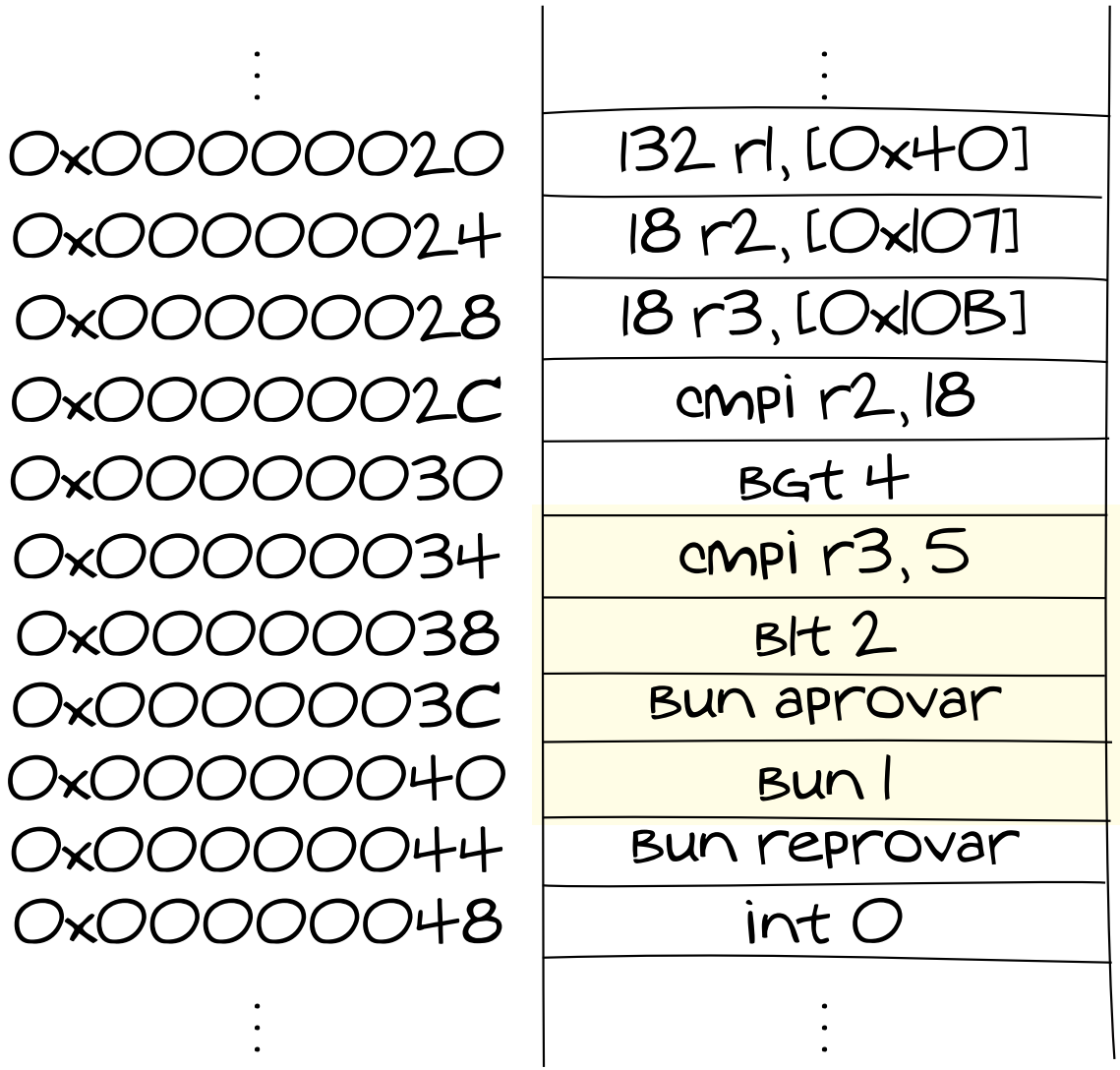
Controle condicional

- Sentença **if**, **else if**, **else**



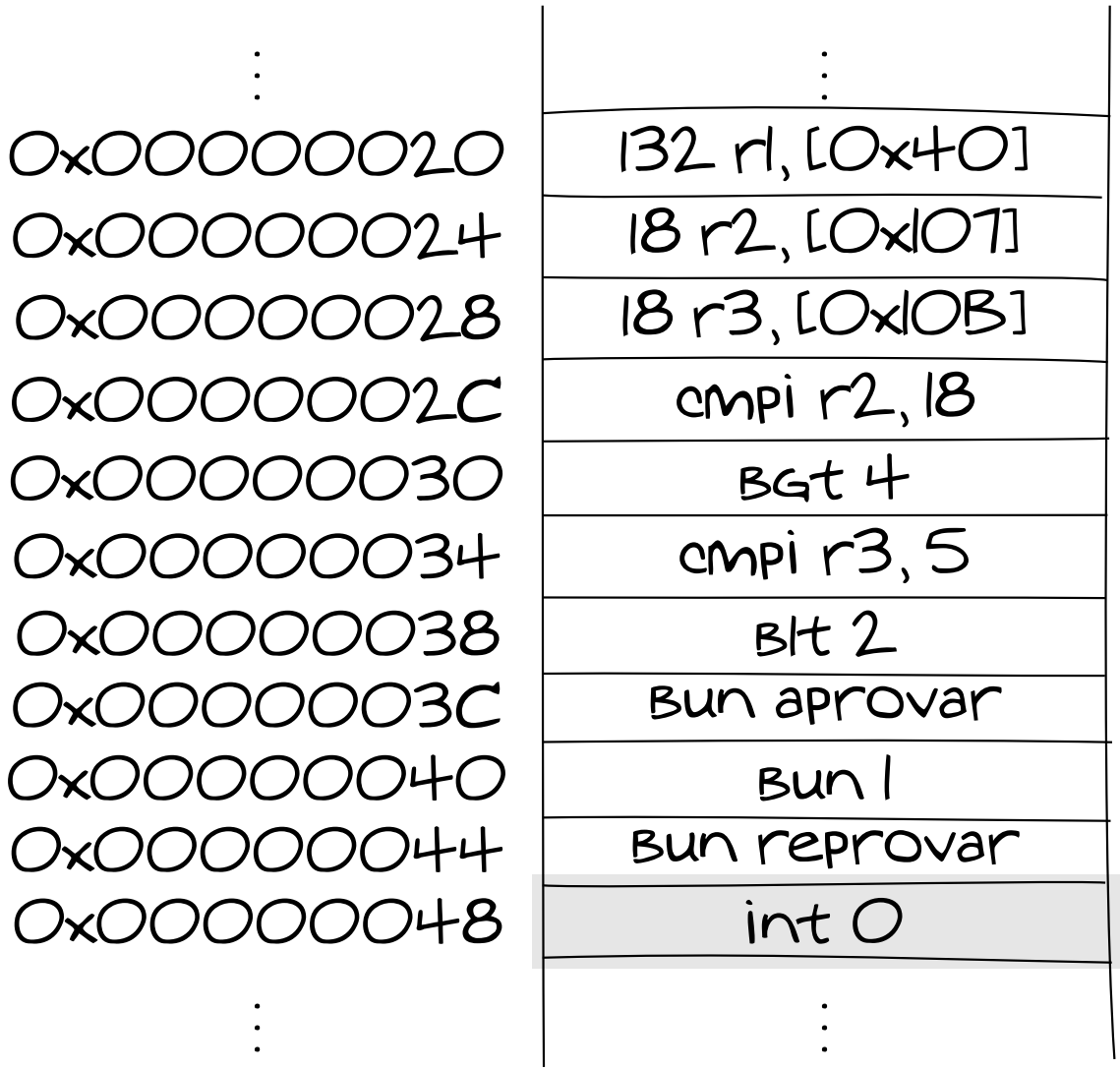
Controle condicional

- Sentença **if**, **else if**, **else**



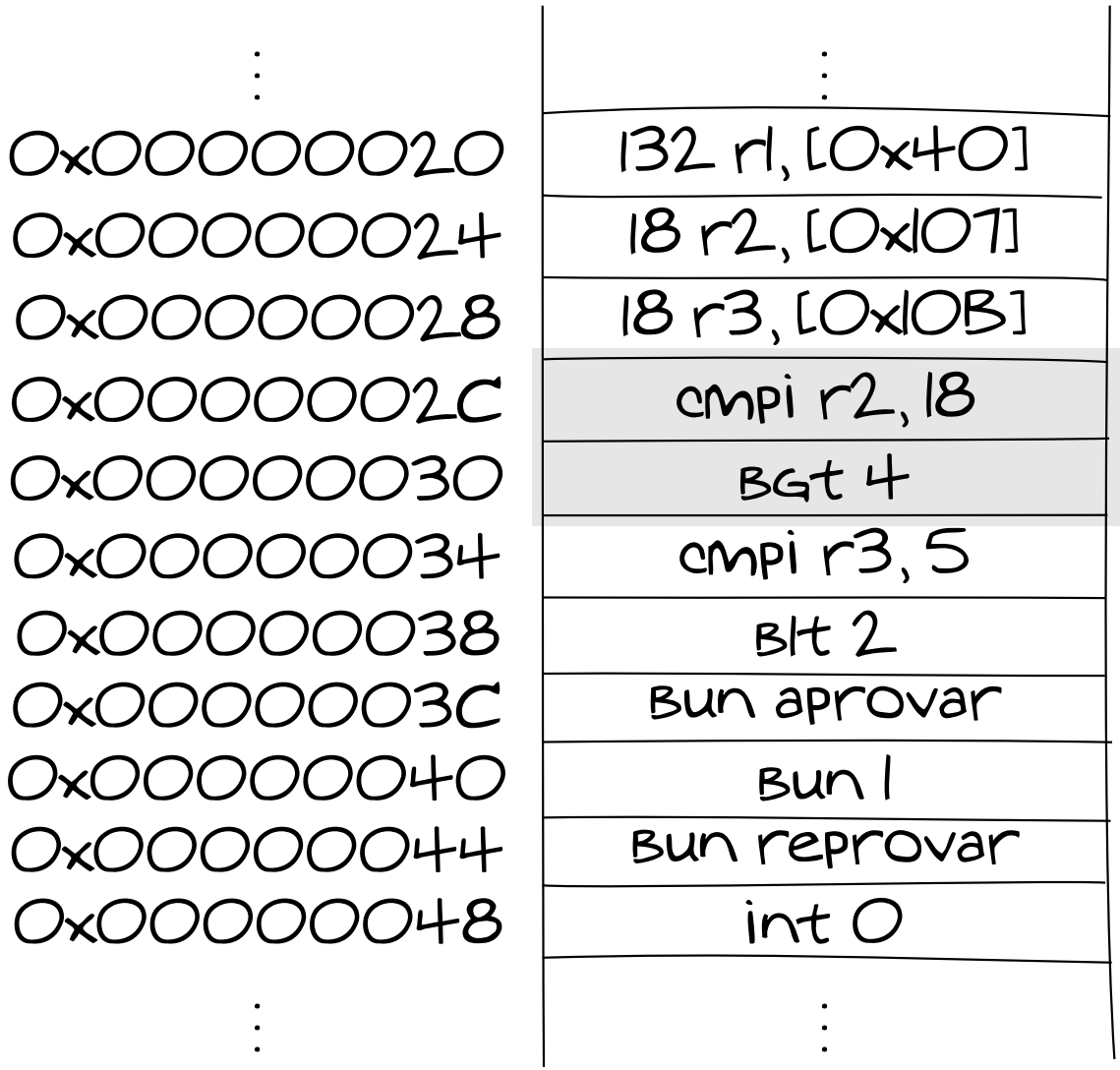
Controle condicional

- Sentença **if**, **else if**, **else**



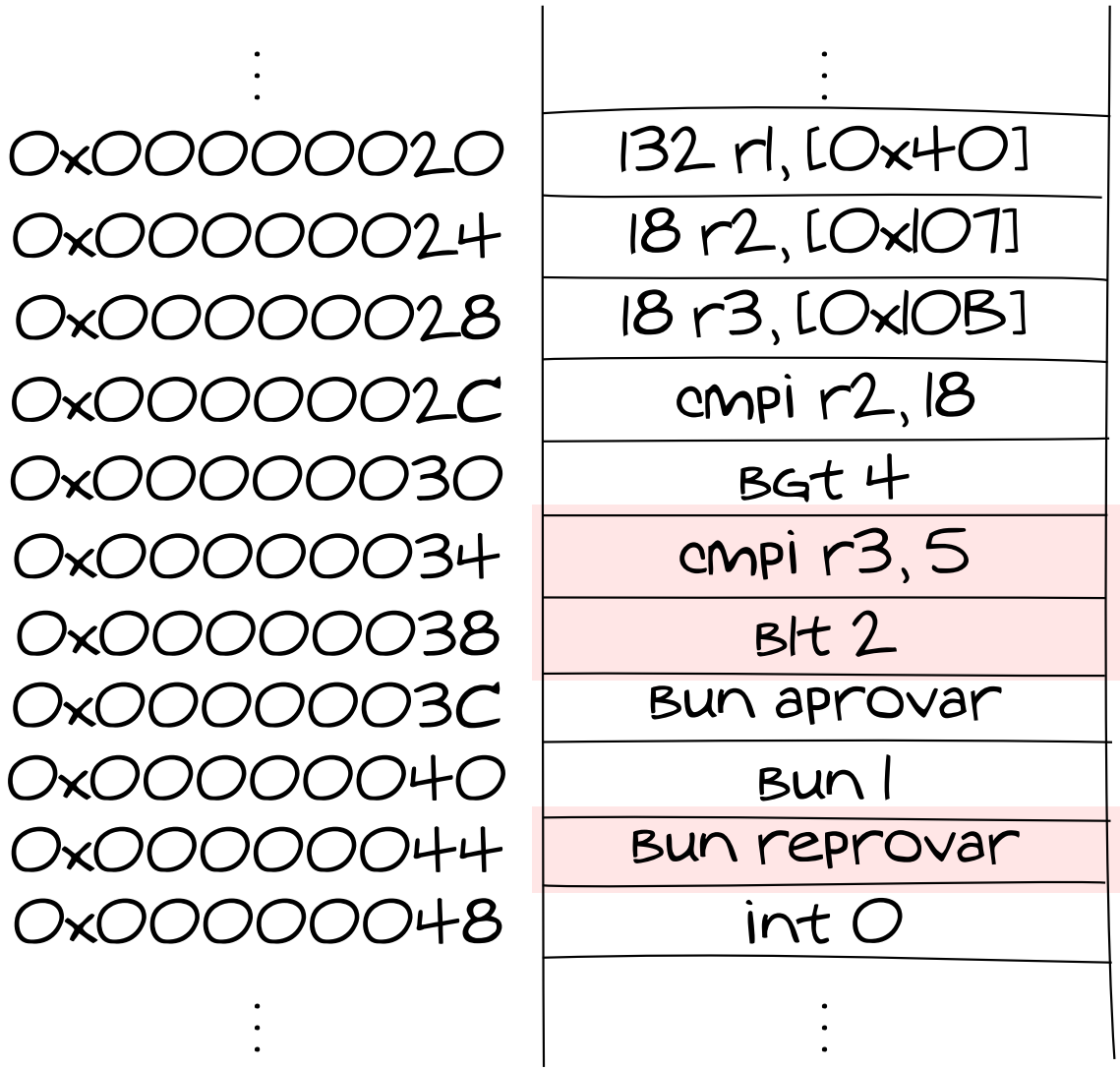
Controle condicional

- Sentença **if**, **else if**, **else**



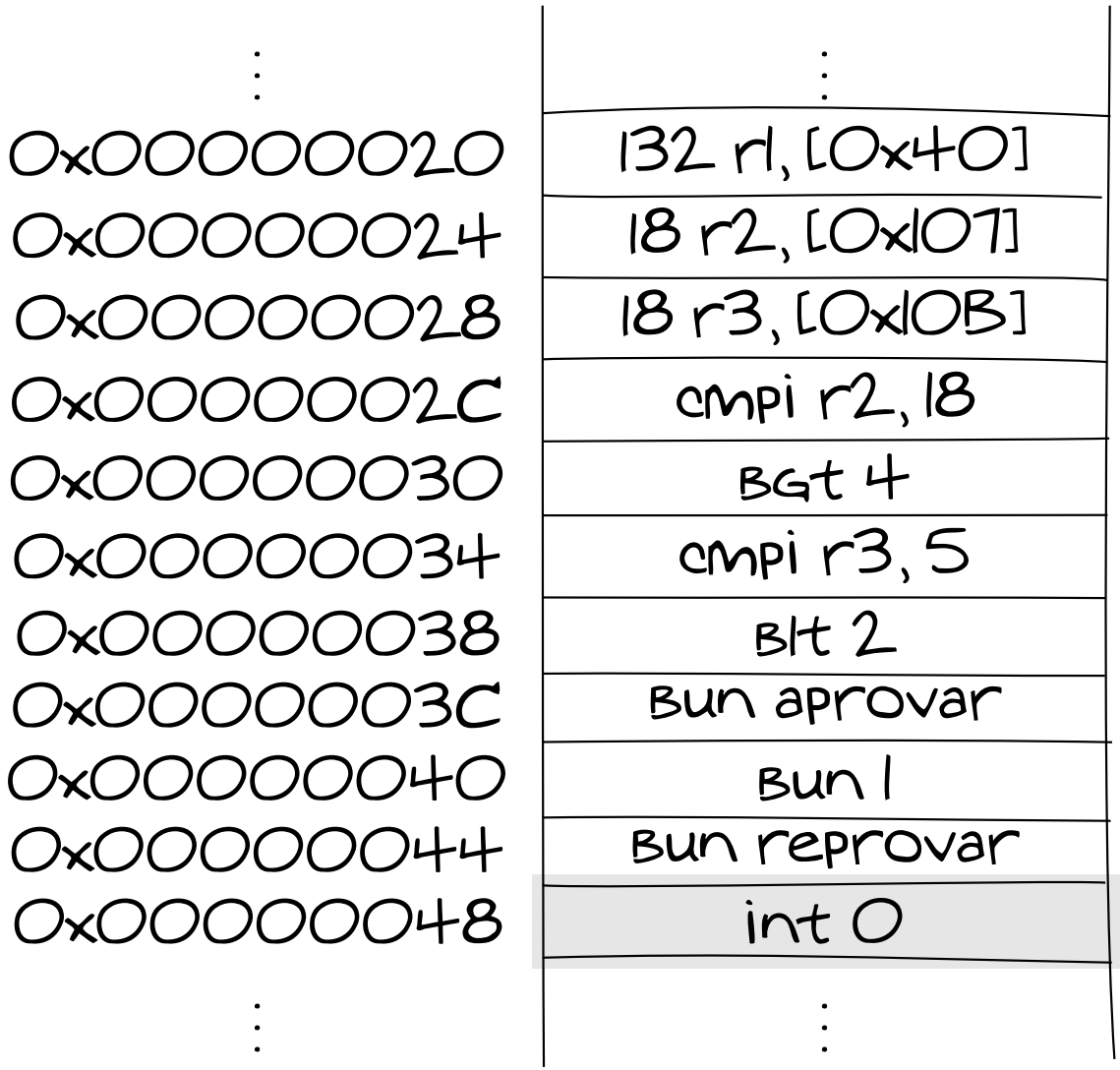
Controle condicional

- Sentença **if**, **else if**, **else**



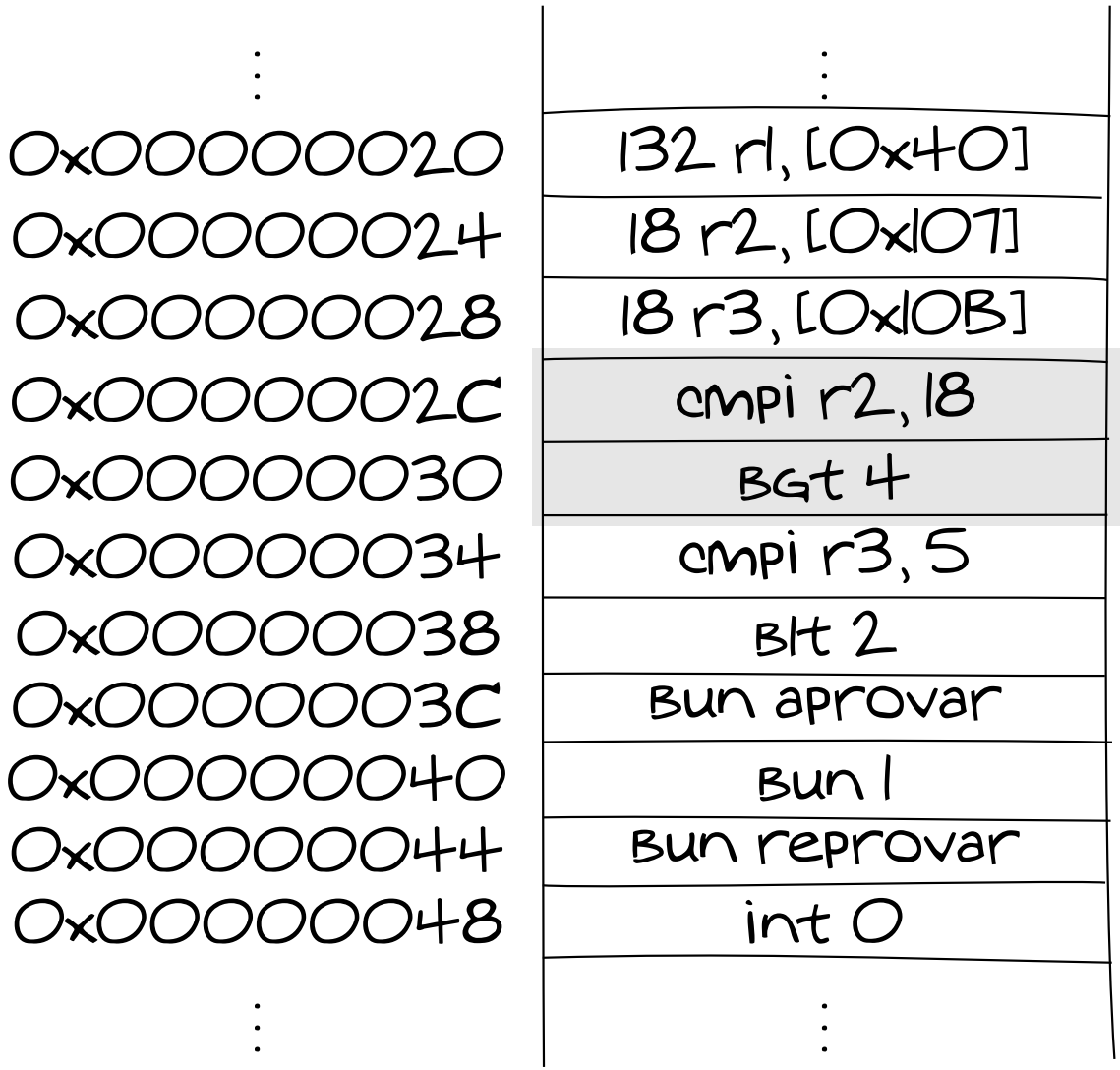
Controle condicional

- Sentença **if**, **else if**, **else**



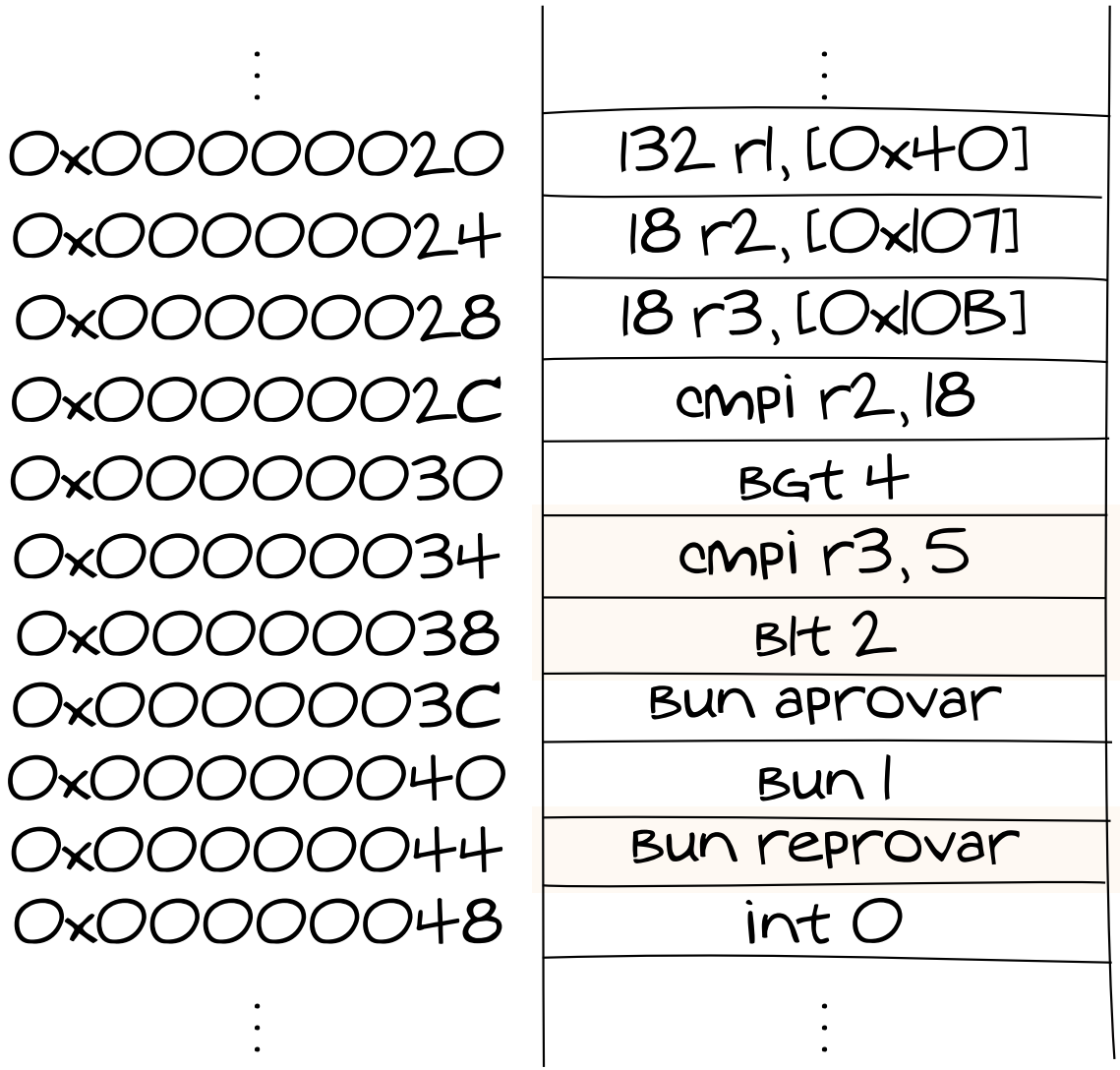
Controle condicional

- Sentença **if**, **else if**, **else**



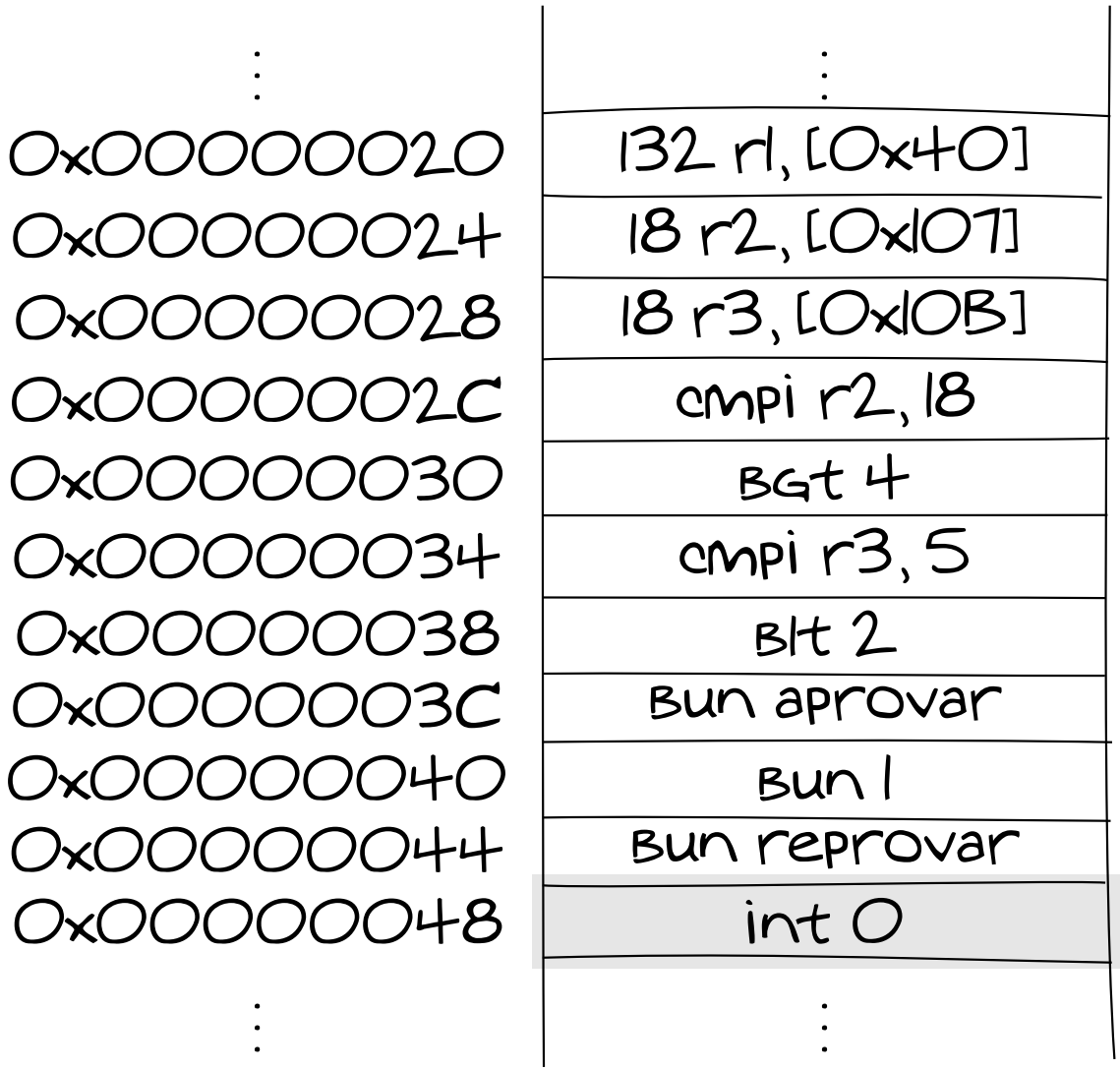
Controle condicional

- Sentença **if**, **else if**, **else**



Controle condicional

- Sentença **if**, **else if**, **else**



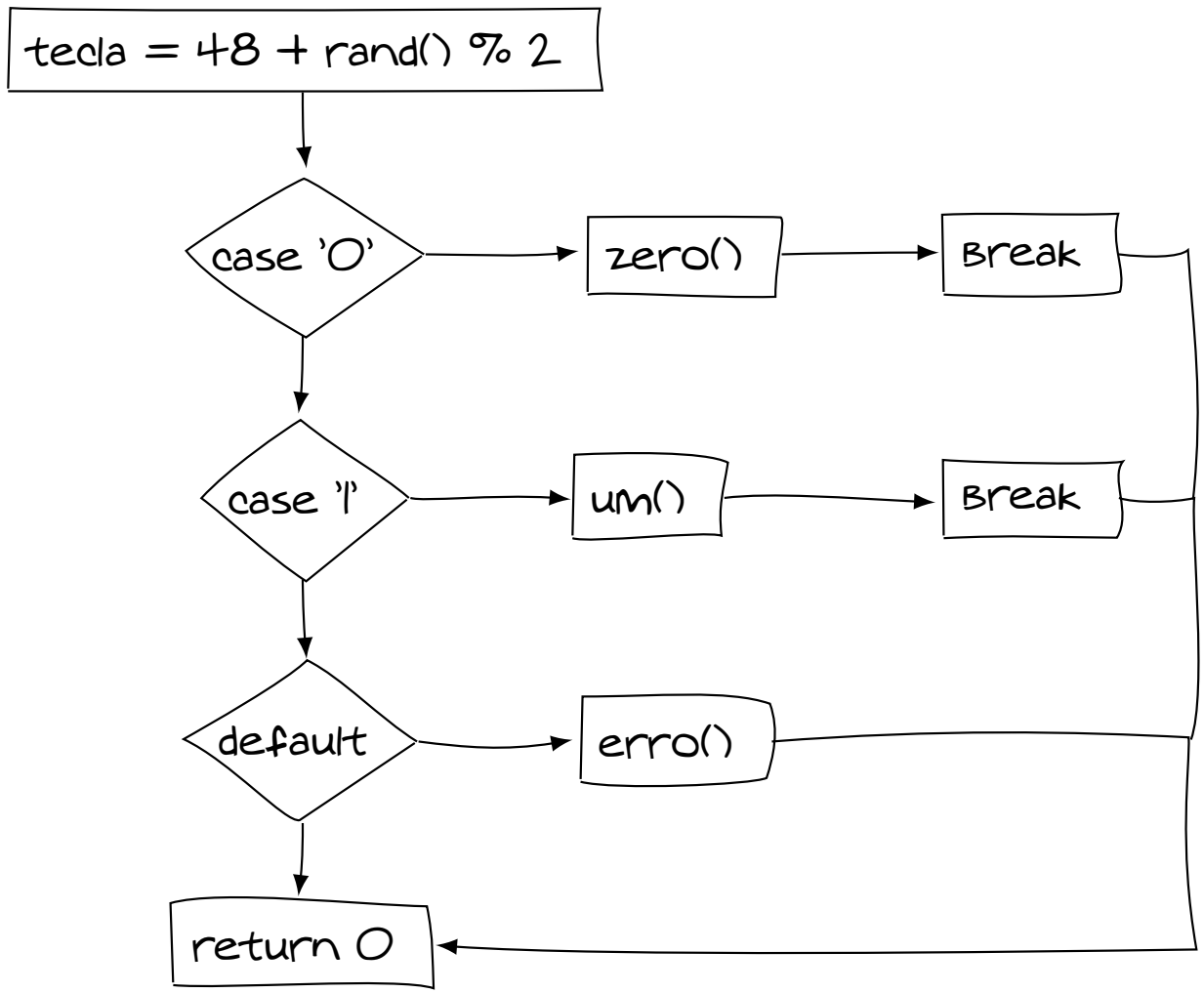
Controle condicional

- Sentença **switch**

```
1   // Inteiros com tamanho fixo
2   #include <stdint.h>
... ...
10  // Função principal
11  int main() {
12      // Tecla binária (0 ou 1)
13      uint8_t tecla = 48 + rand() % 2;
14      // Selecionando tecla
15      switch(tecla) {
16          // '0'
17          case '0': zero(); break;
18          // '1'
19          case '1': um(); break;
20          // Diferente de '0' ou '1'
21          default: erro();
22      }
23      // Retorno sem erros
24      return 0;
25  }
```

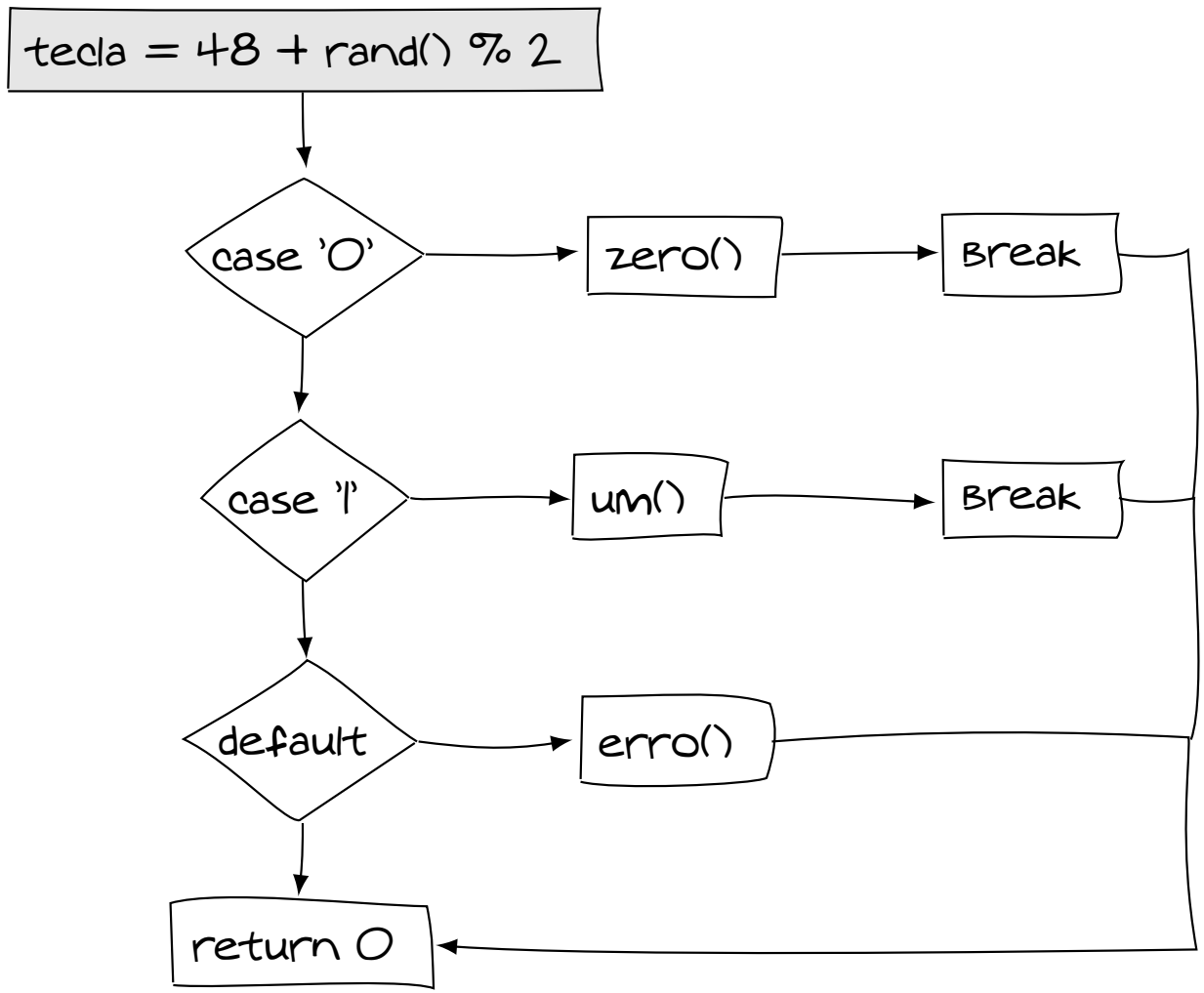
Controle condicional

- Sentença **switch**
  - Fluxo de execução



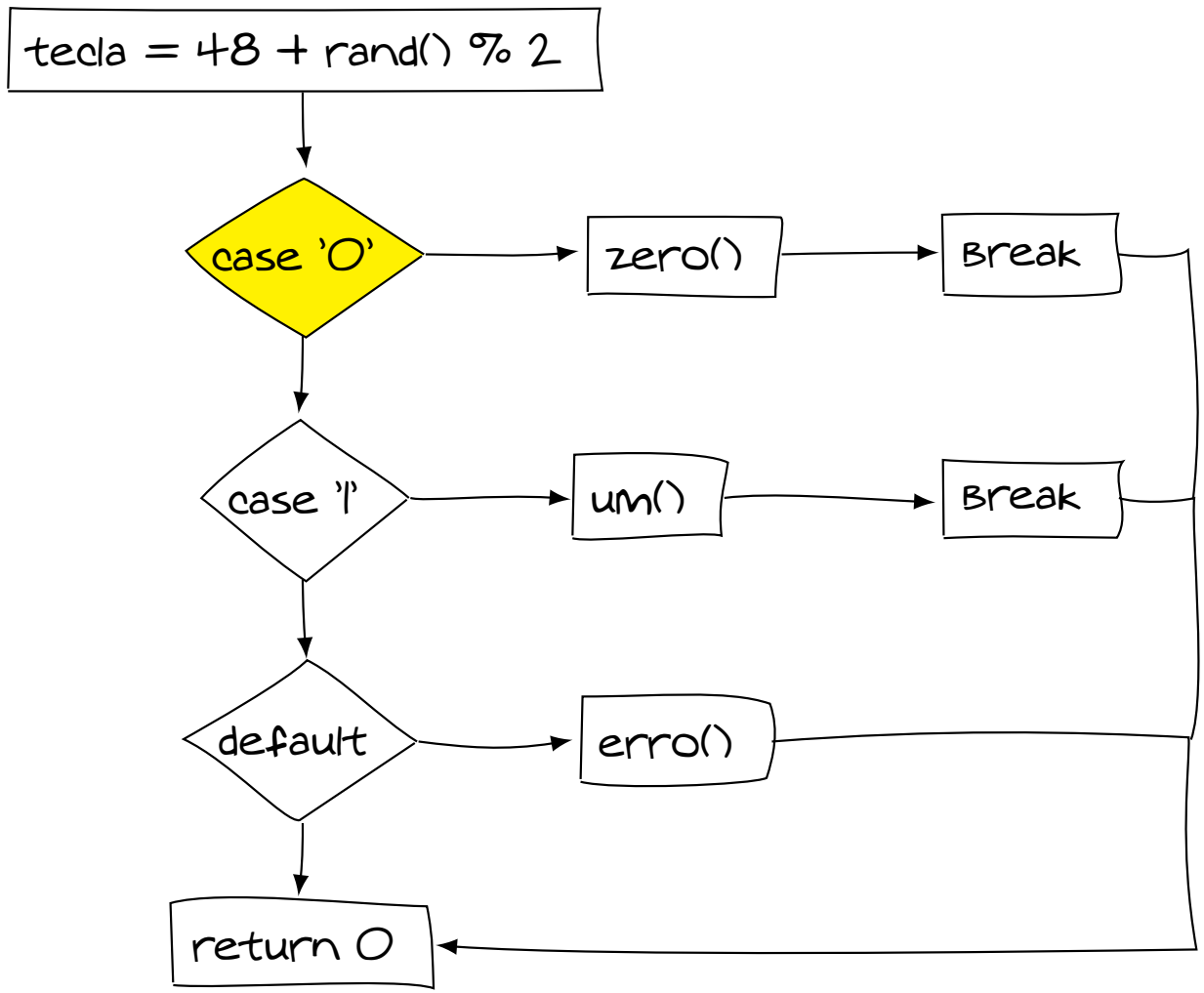
Controle condicional

- Sentença **switch**
  - Fluxo de execução



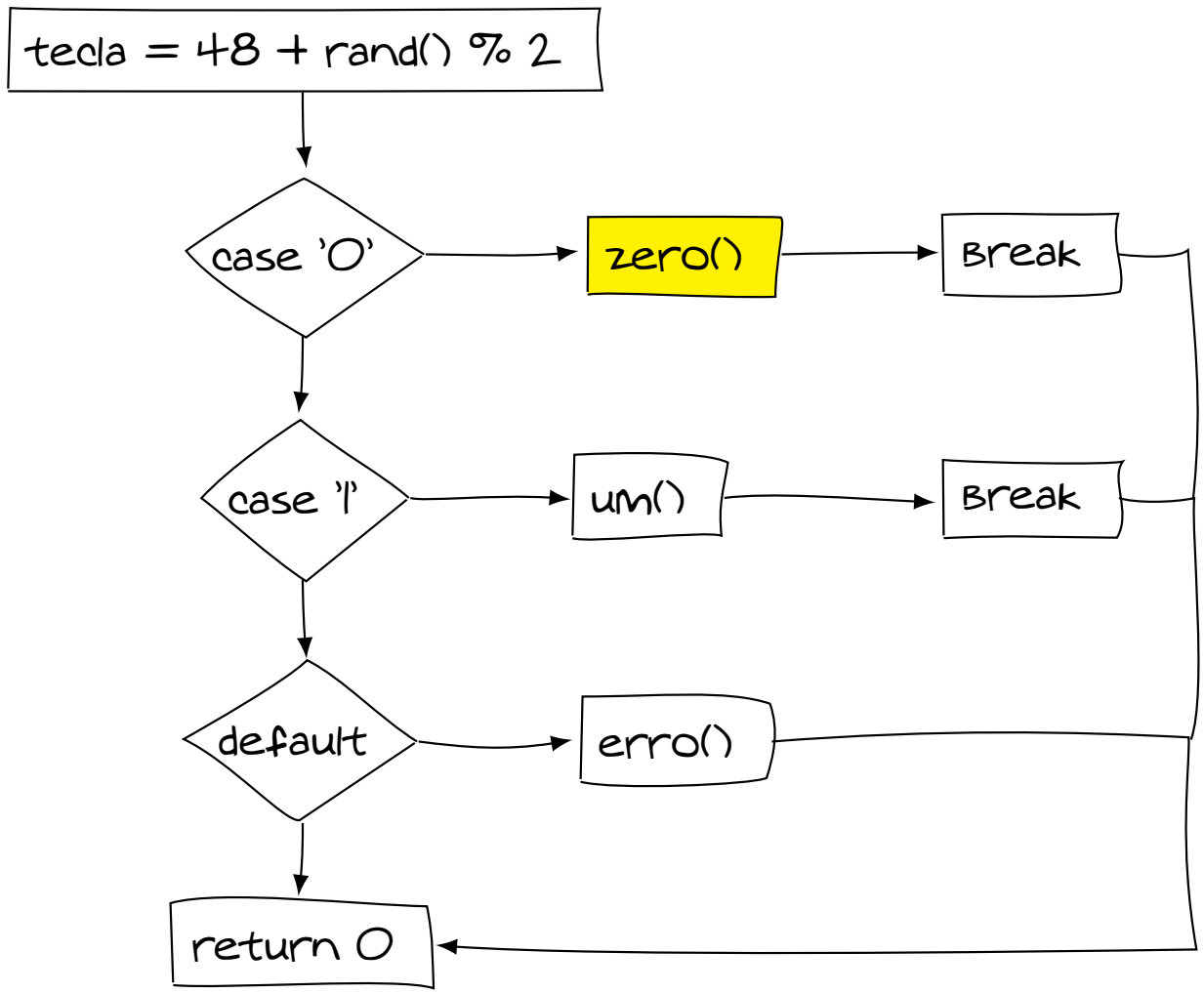
Controle condicional

- Sentença **switch**
  - Fluxo de execução



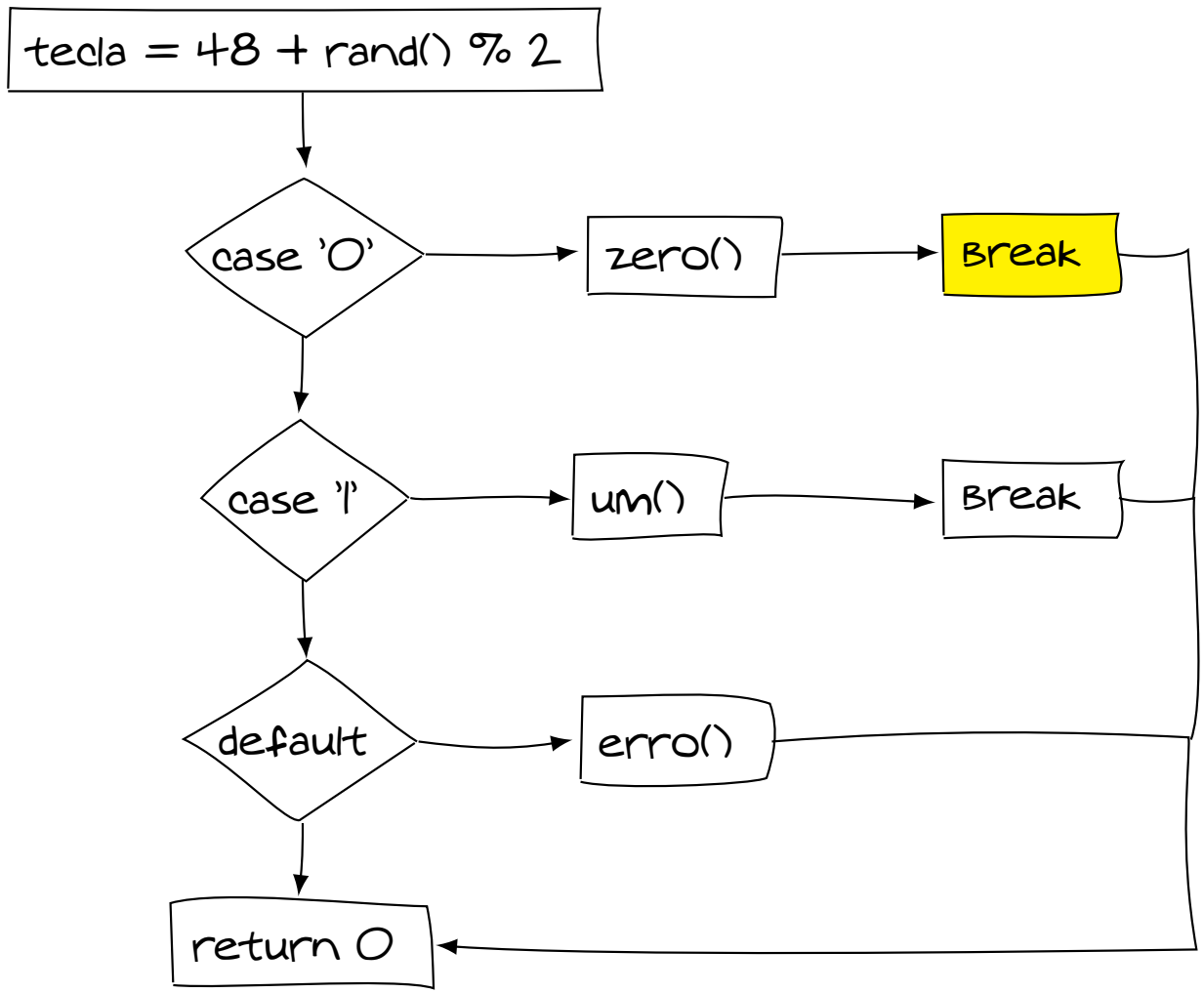
Controle condicional

- Sentença **switch**
  - Fluxo de execução



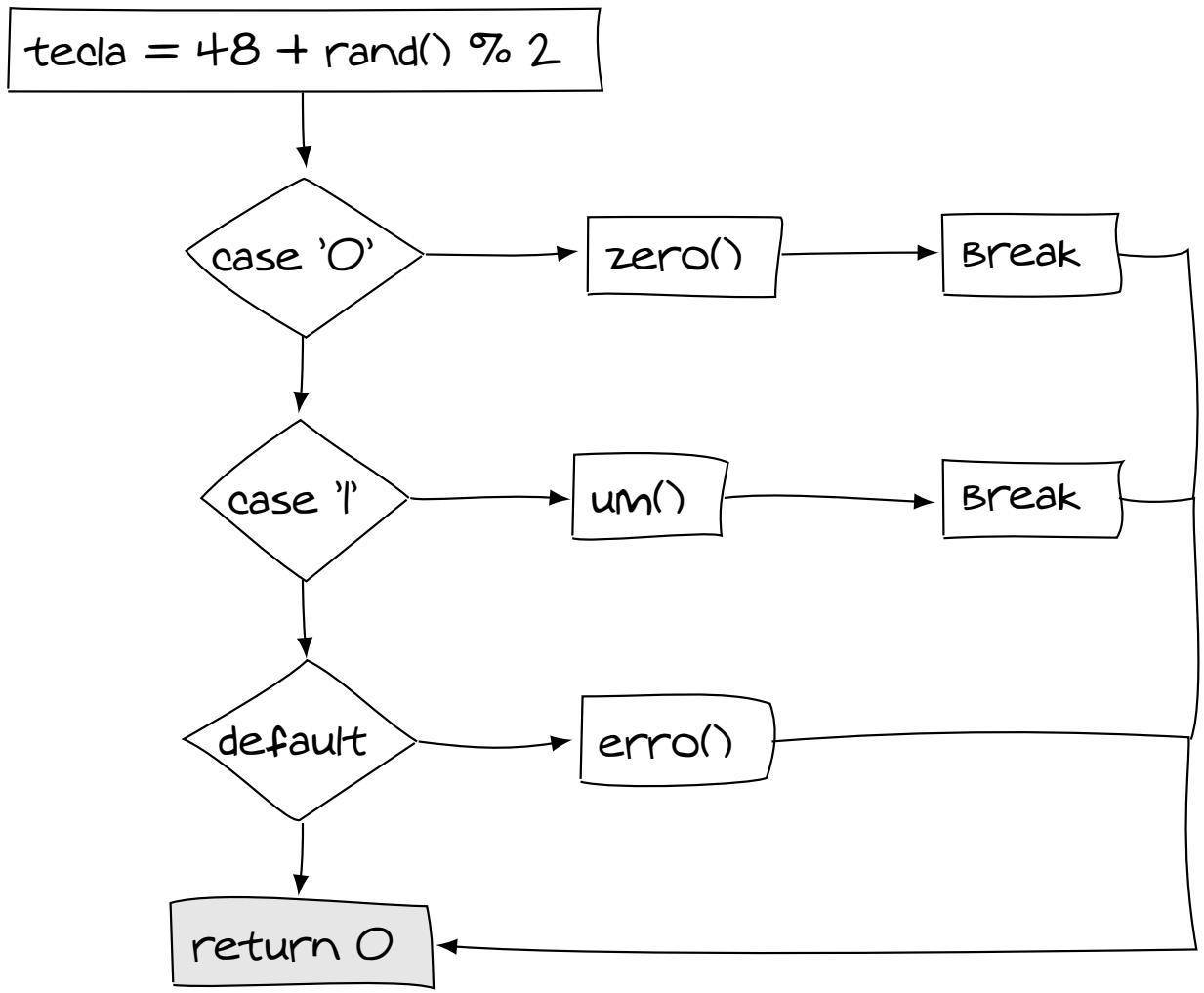
Controle condicional

- Sentença **switch**
  - Fluxo de execução



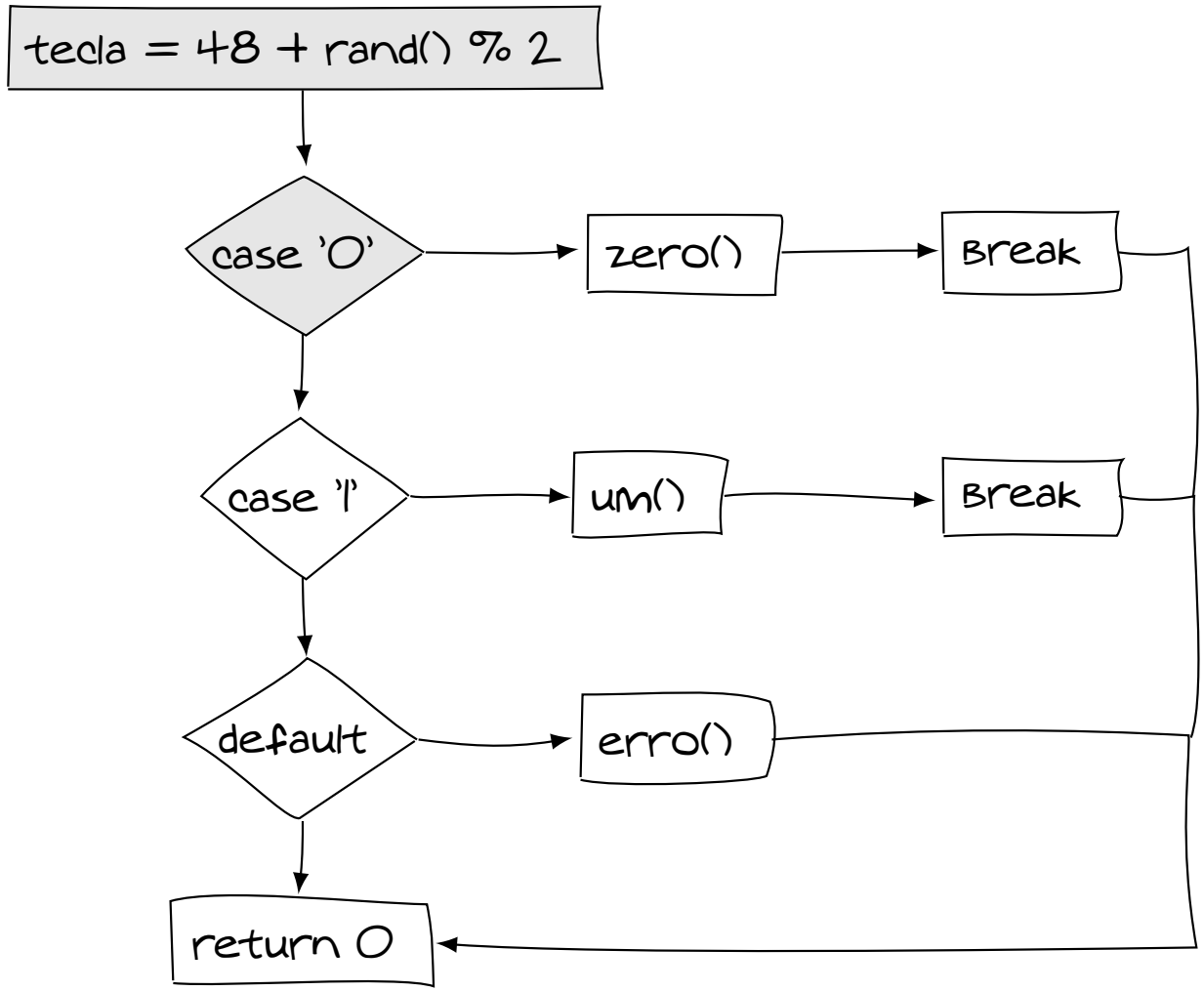
Controle condicional

- Sentença **switch**
  - Fluxo de execução



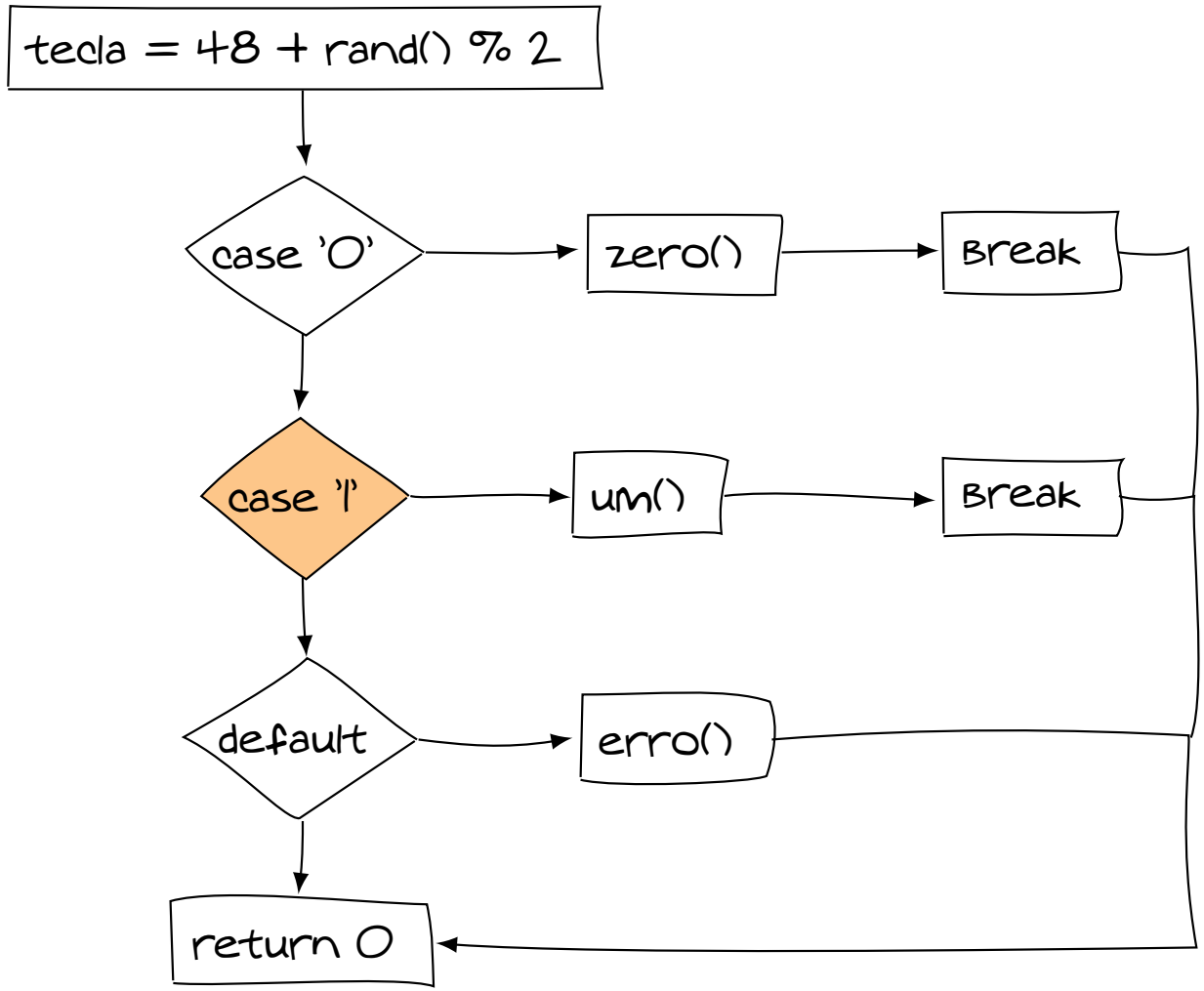
Controle condicional

- Sentença **switch**
  - Fluxo de execução



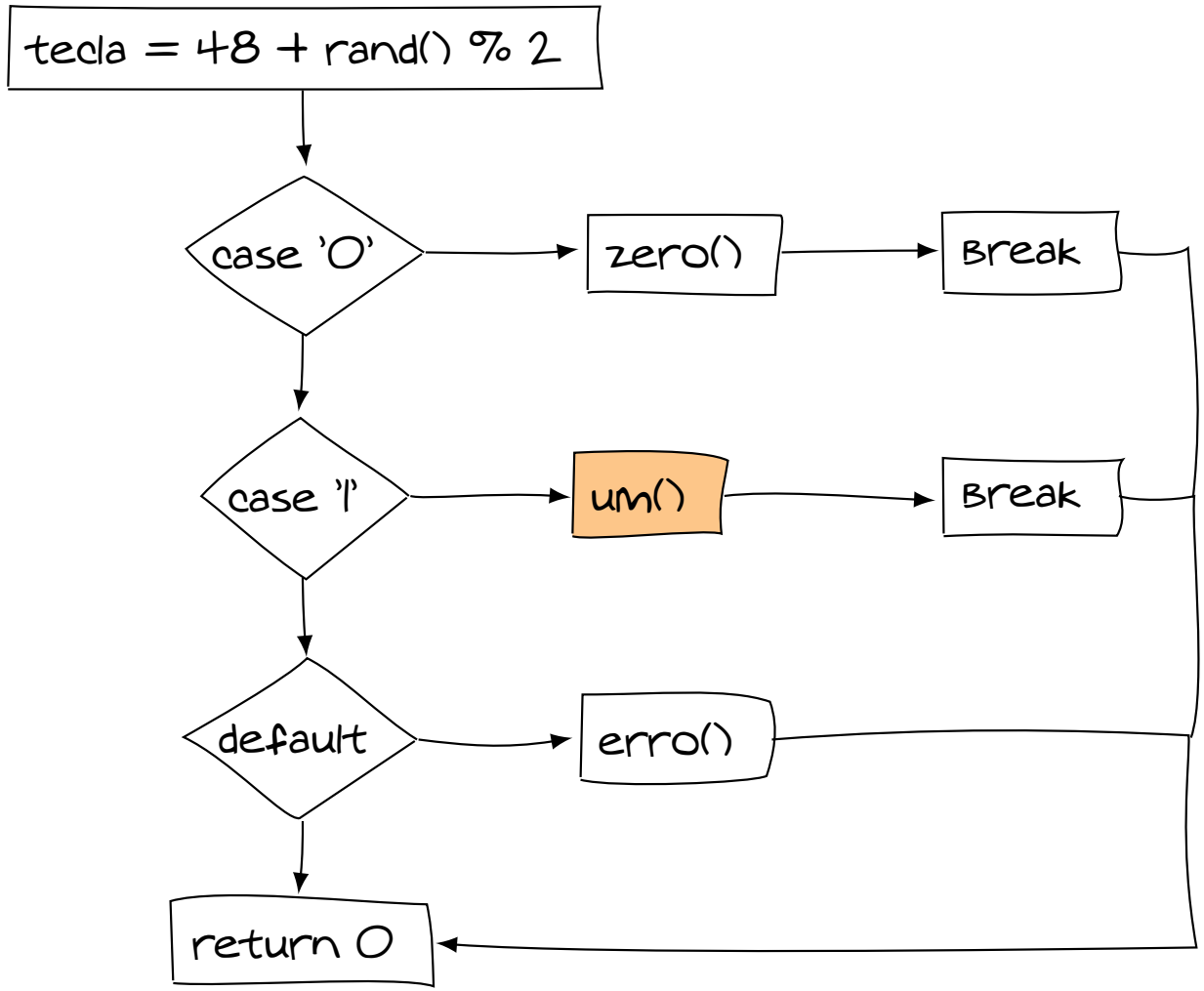
Controle condicional

- Sentença **switch**
  - Fluxo de execução



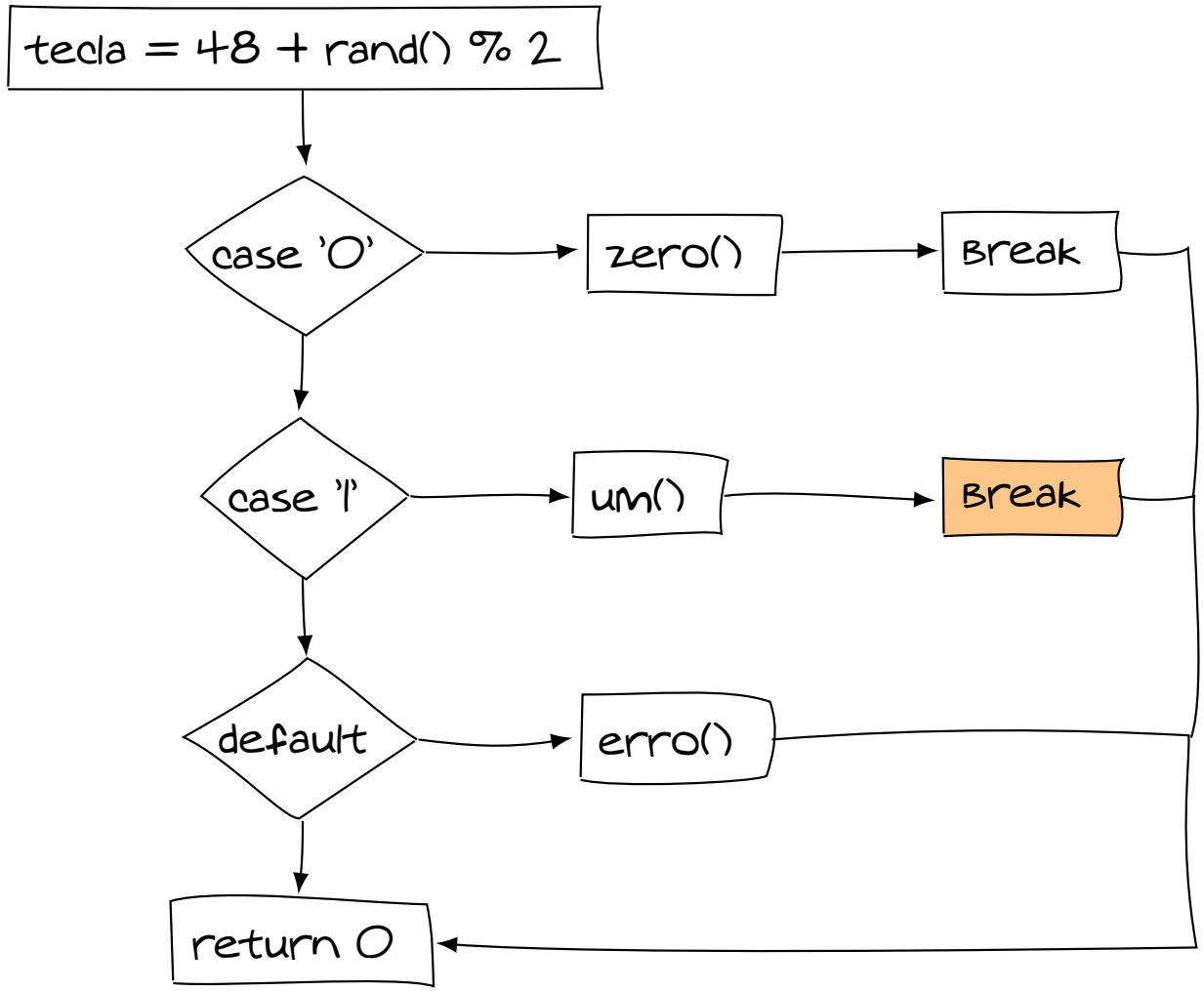
Controle condicional

- Sentença **switch**
  - Fluxo de execução



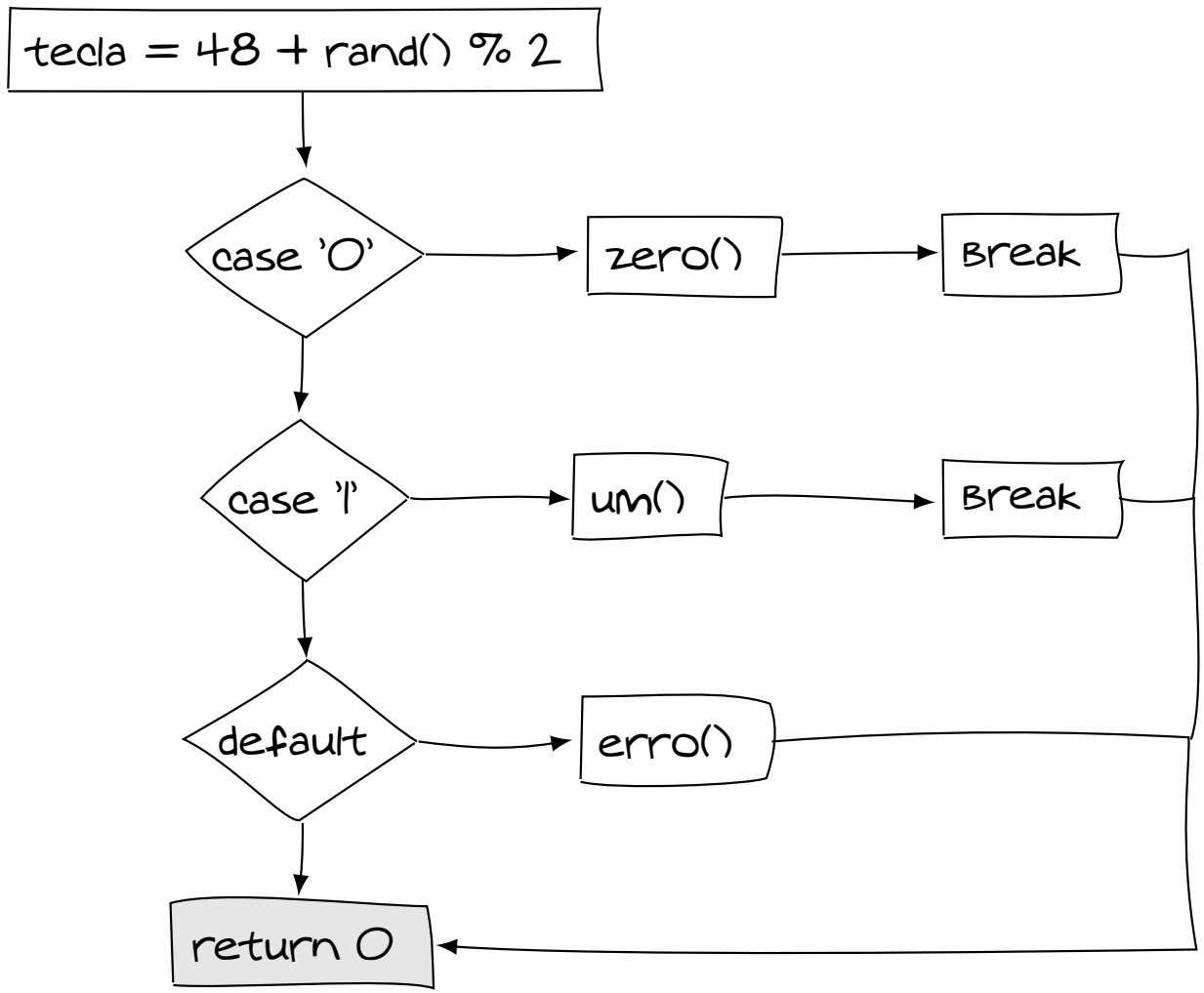
Controle condicional

- Sentença **switch**
  - Fluxo de execução



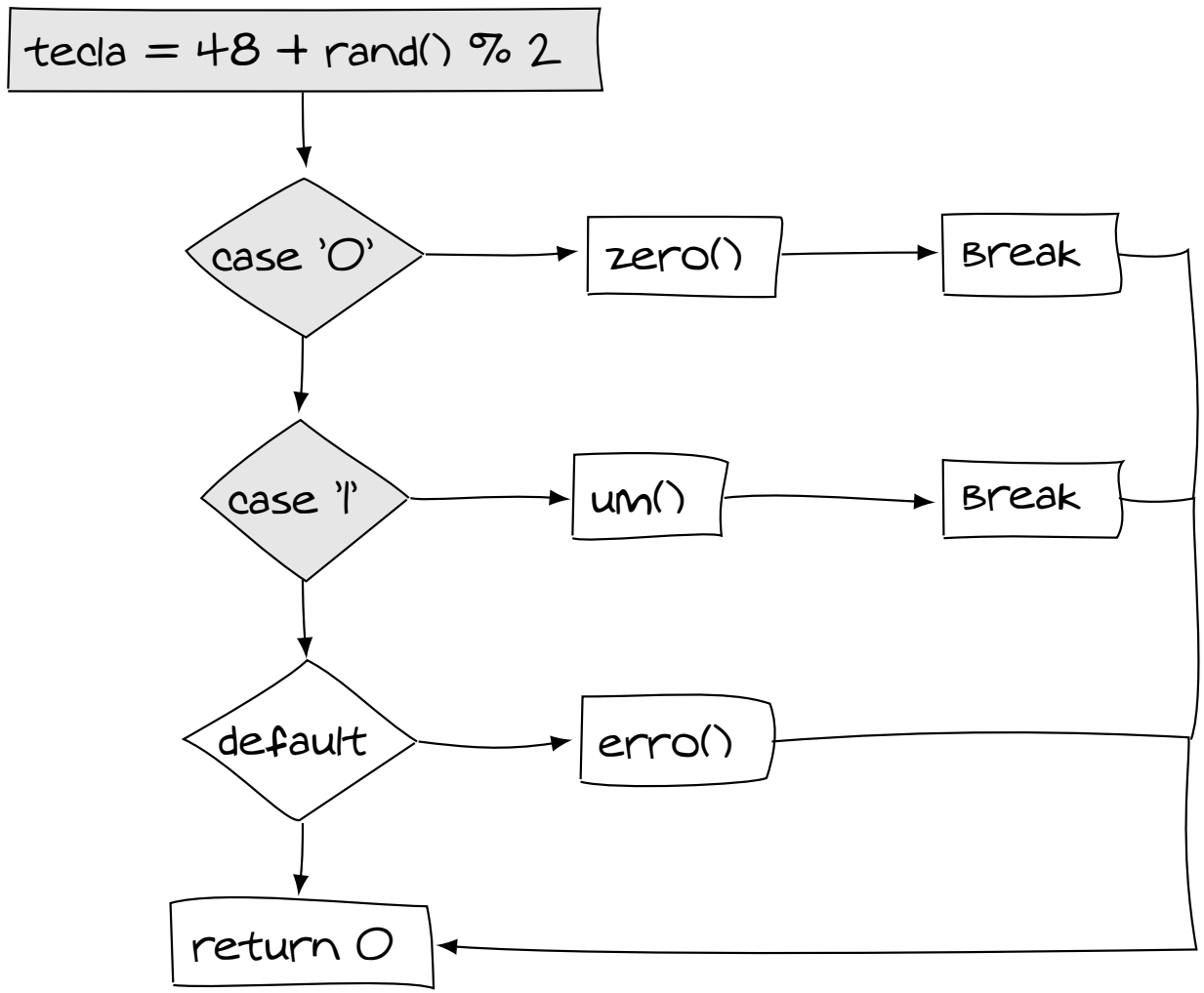
Controle condicional

- Sentença **switch**
  - Fluxo de execução



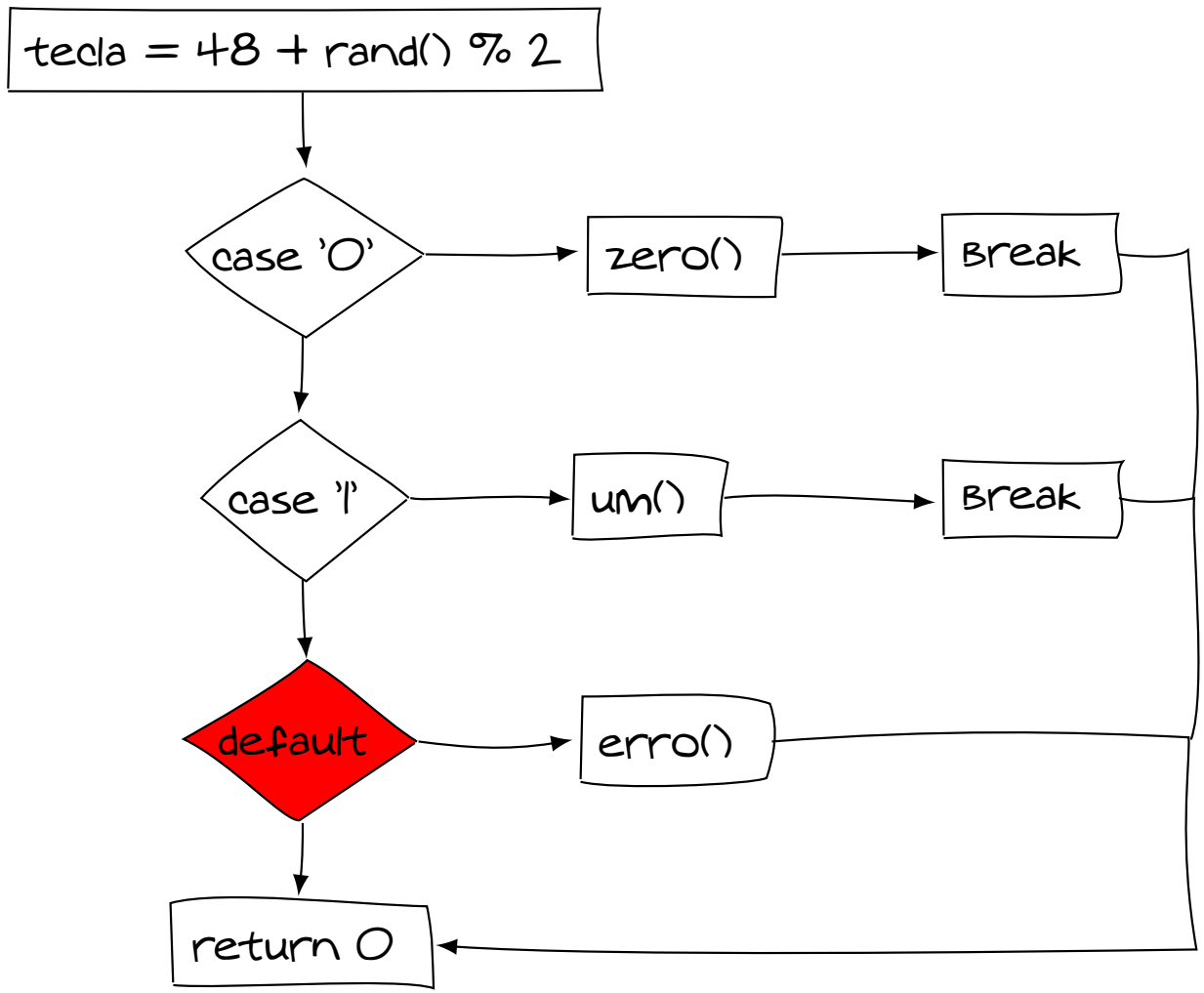
Controle condicional

- Sentença **switch**
  - Fluxo de execução



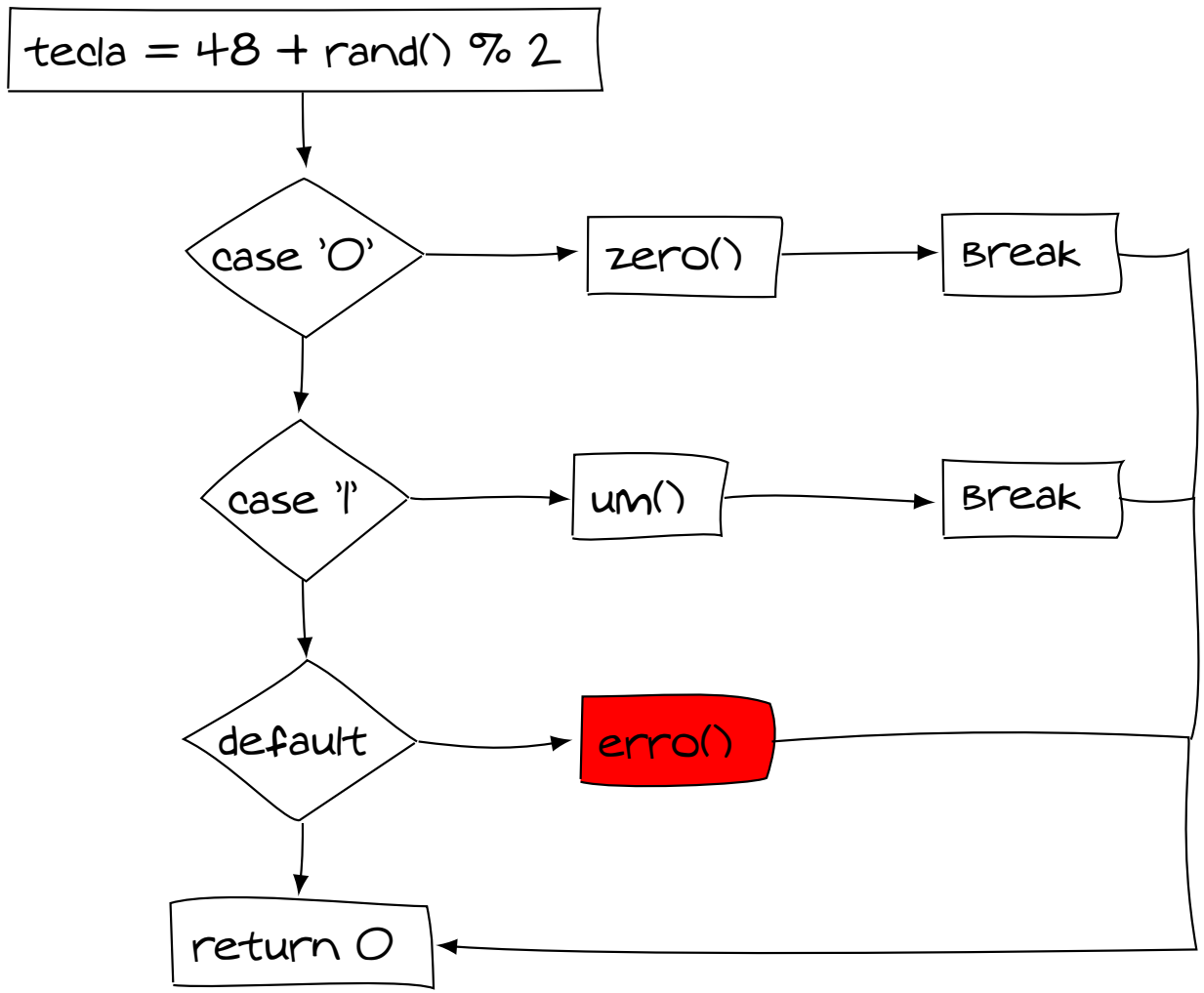
Controle condicional

- Sentença **switch**
  - Fluxo de execução



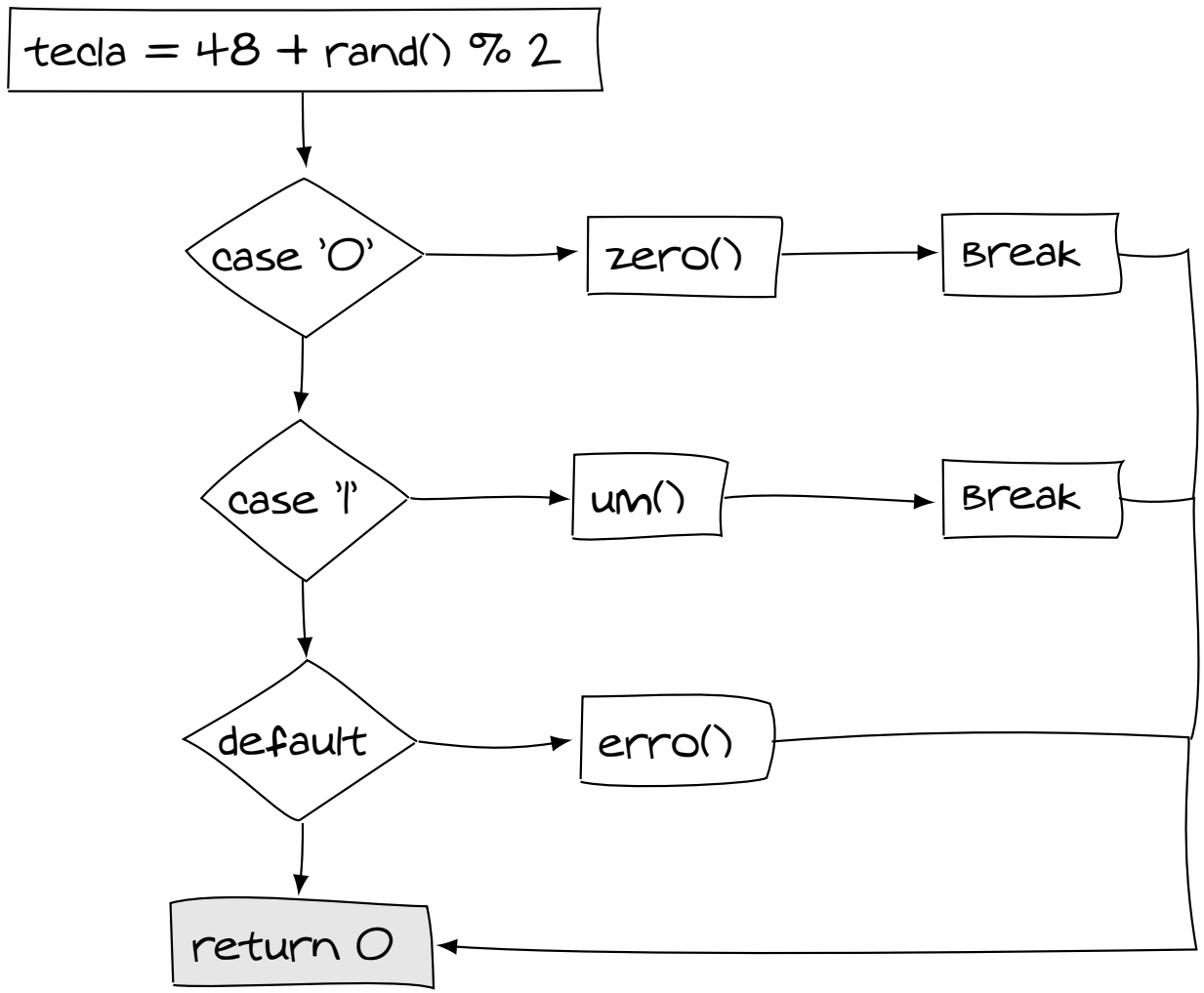
Controle condicional

- Sentença **switch**
  - Fluxo de execução



Controle condicional

- Sentença **switch**
  - Fluxo de execução



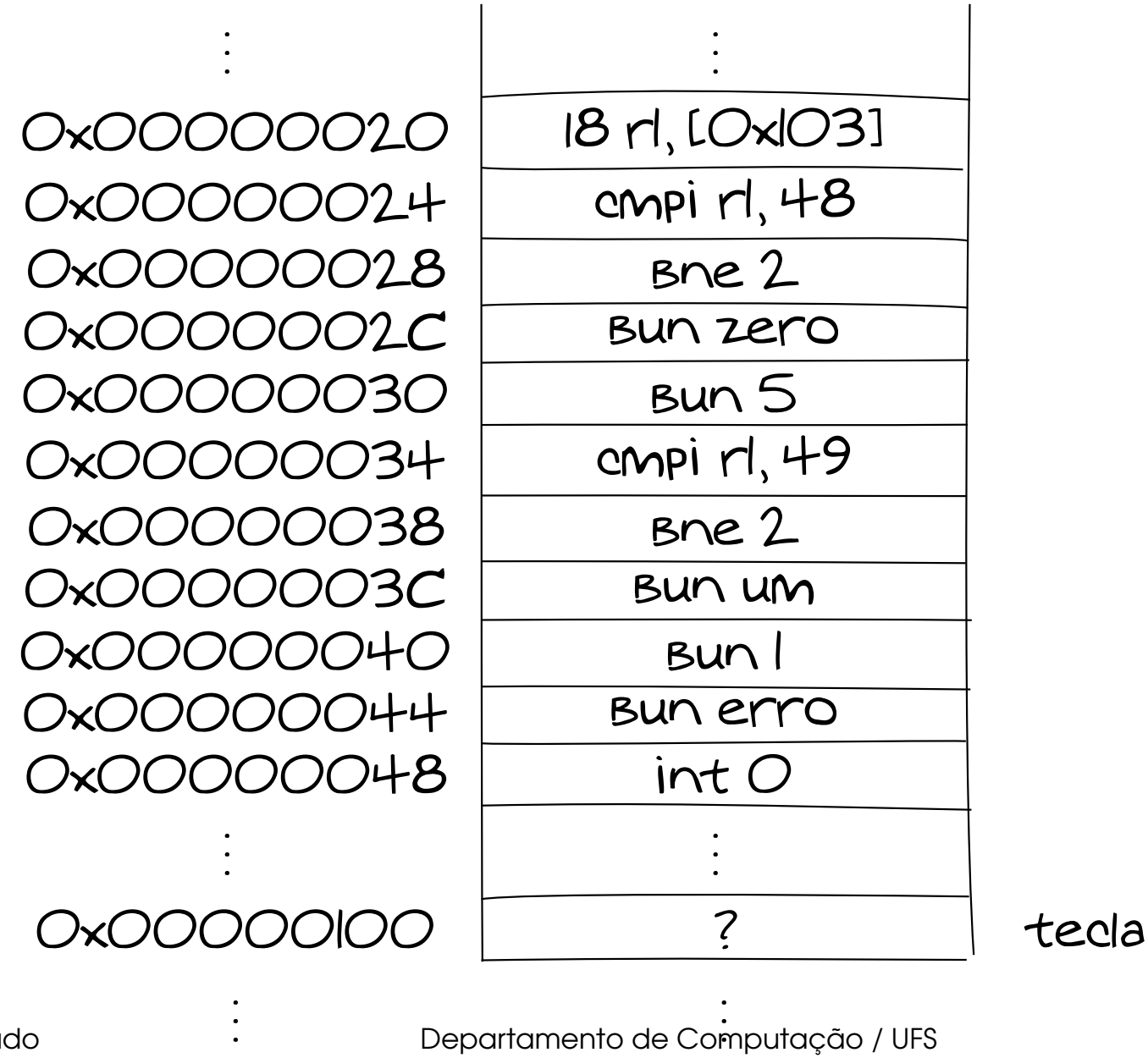
Controle condicional

- Sentença **switch**

```
1  // Função principal
2  main:
3      // r1 = tecla
4      l8 r1, [0x103]
5      // case '0'
6      cmpi r1, 48
7      bne 2
8      bun zero
9      bun 5
10     // case '1'
11     cmpi r1, 49
12     bne 2
13     bun um
14     bun 1
15     // default
16     bun erro
17     // Fim
18     int 0
```

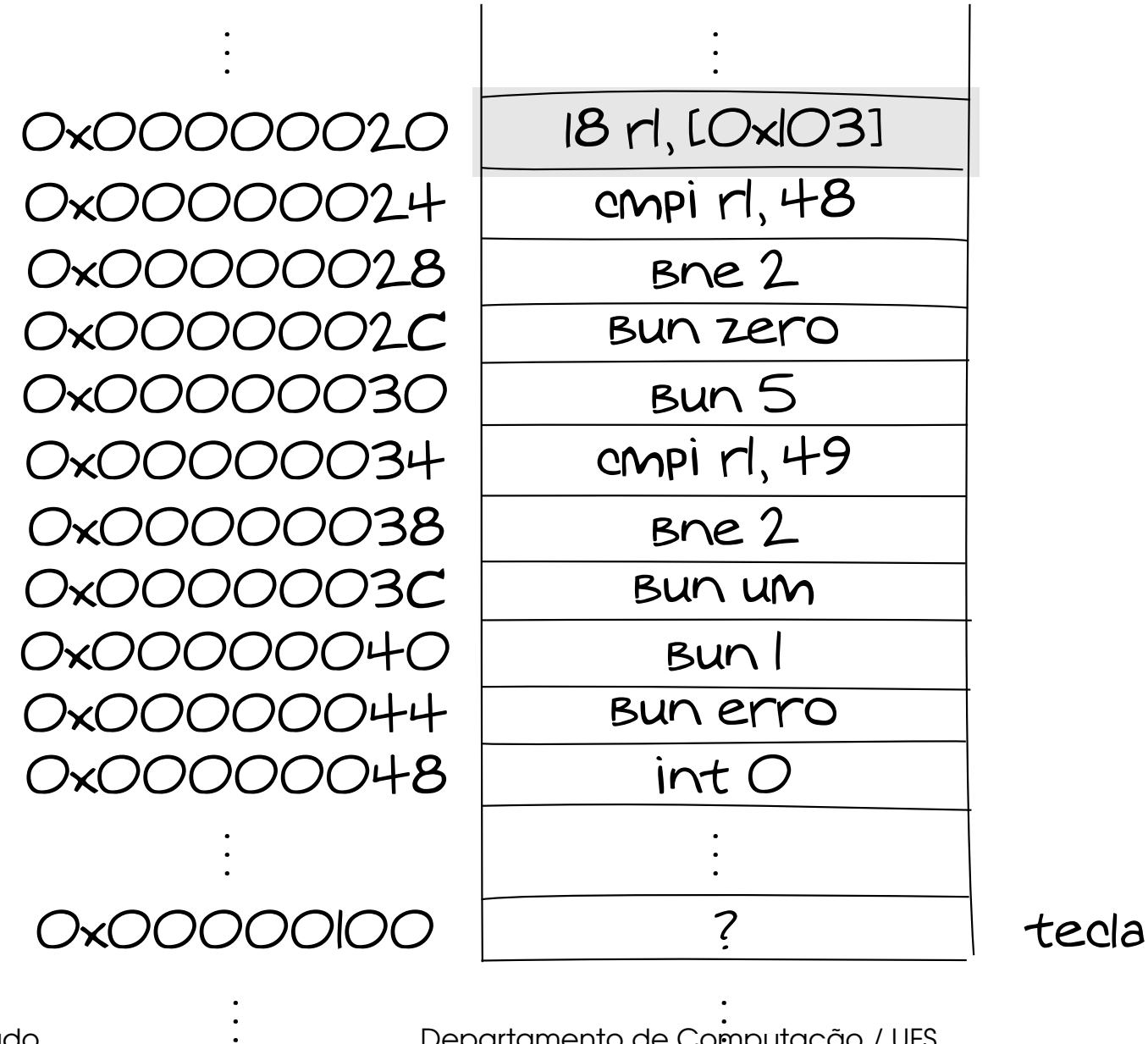
Controle condicional

- Sentença **switch**



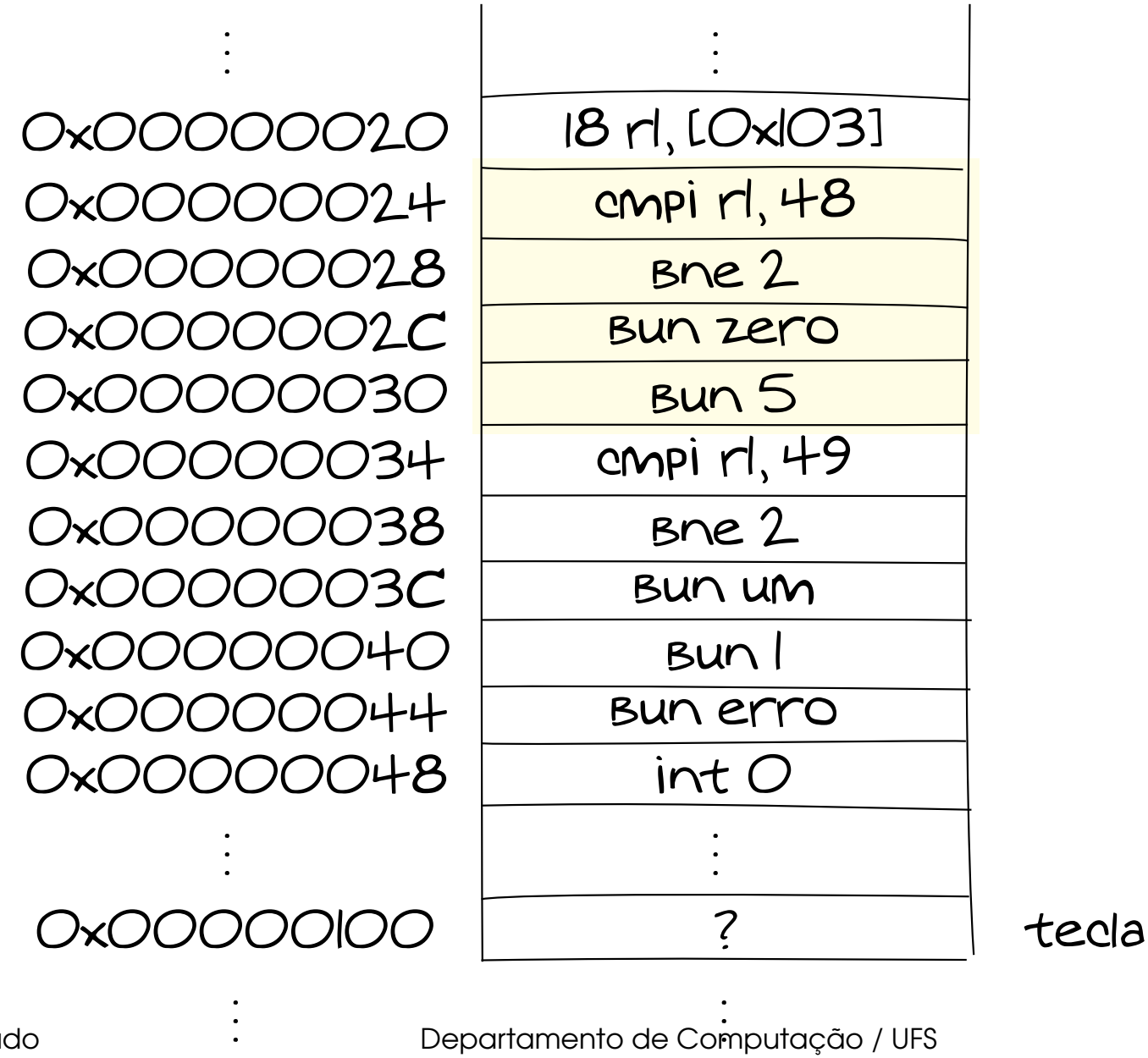
Controle condicional

- Sentença **switch**



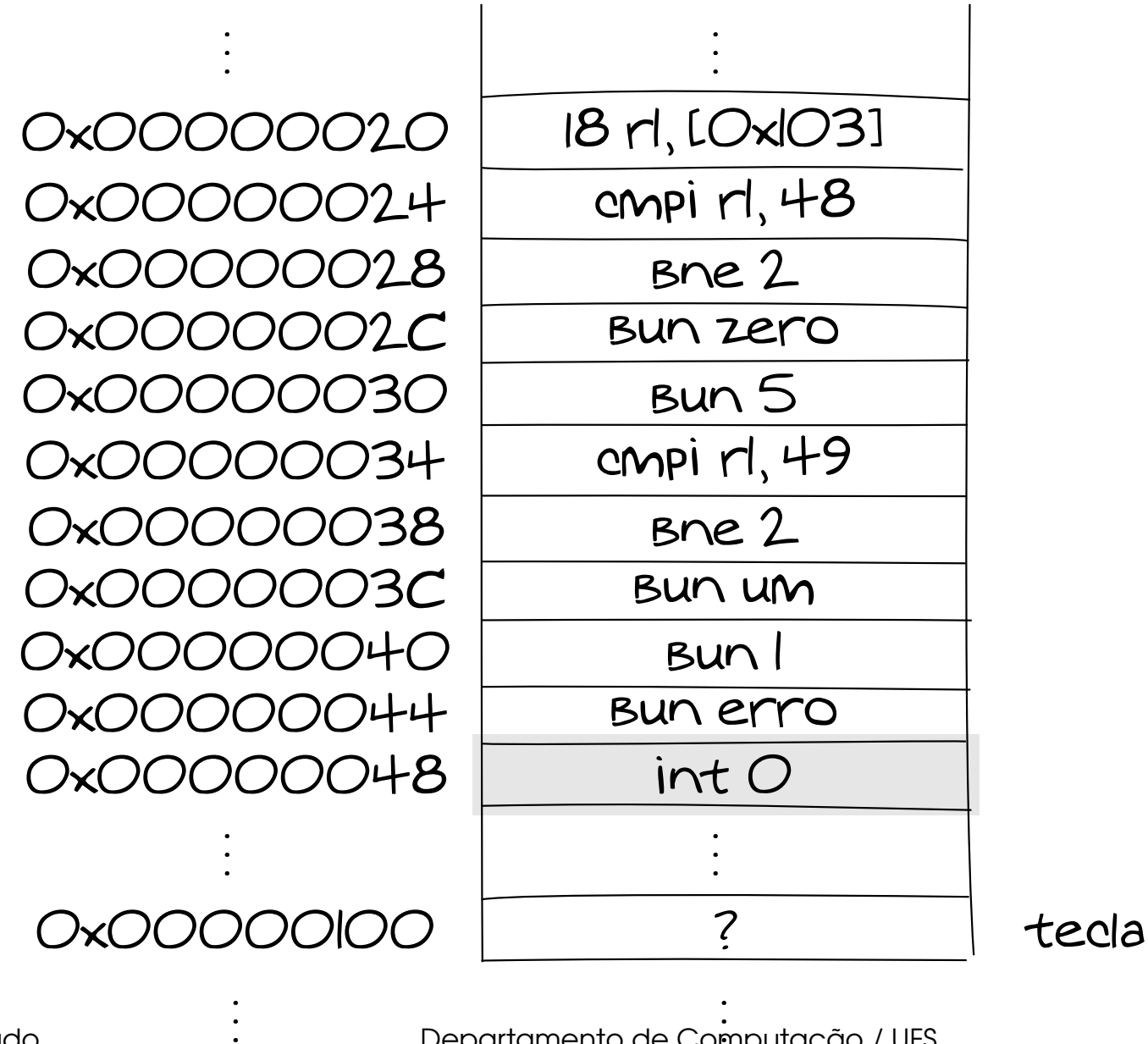
Controle condicional

- Sentença **switch**



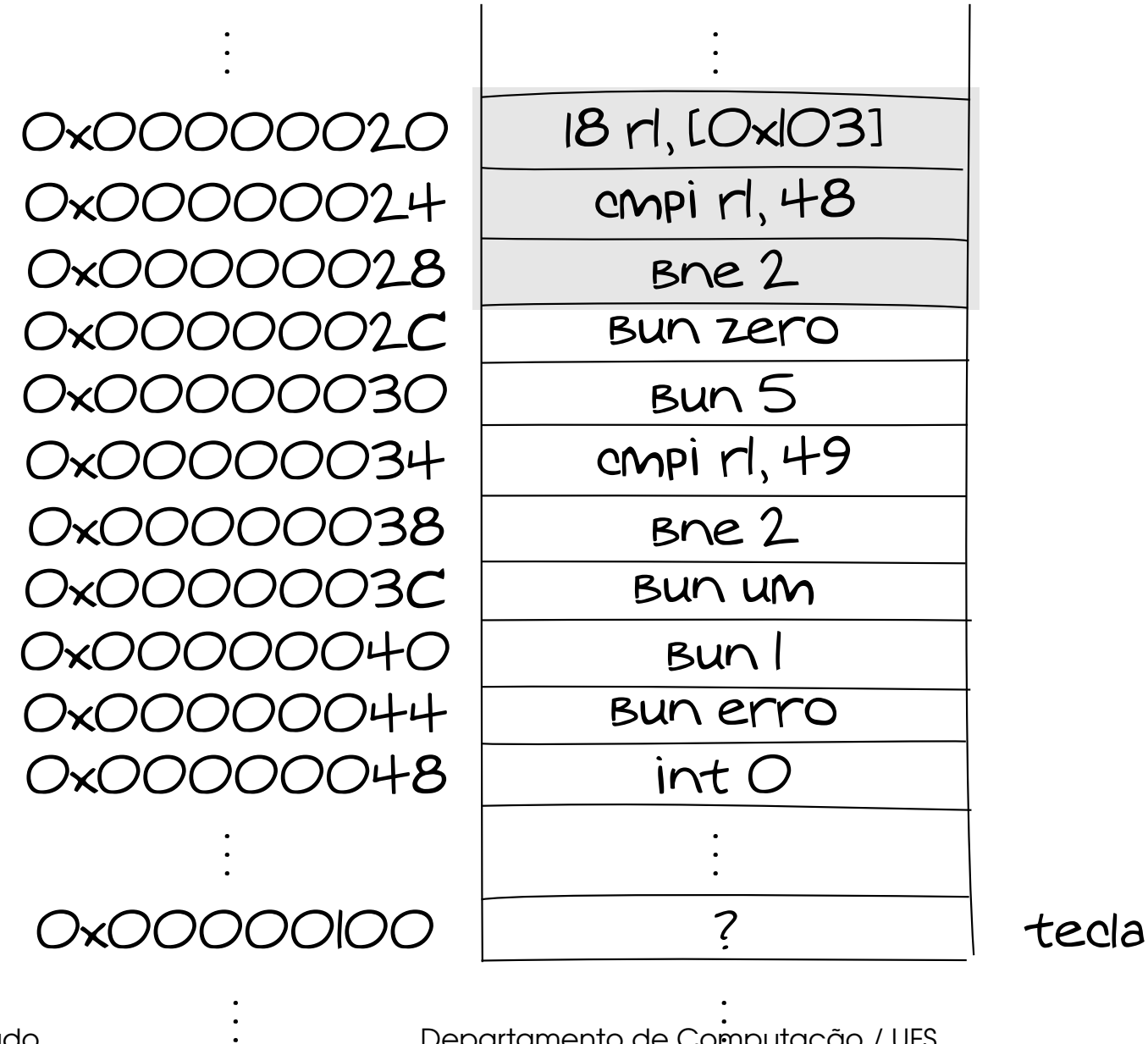
Controle condicional

- Sentença **switch**



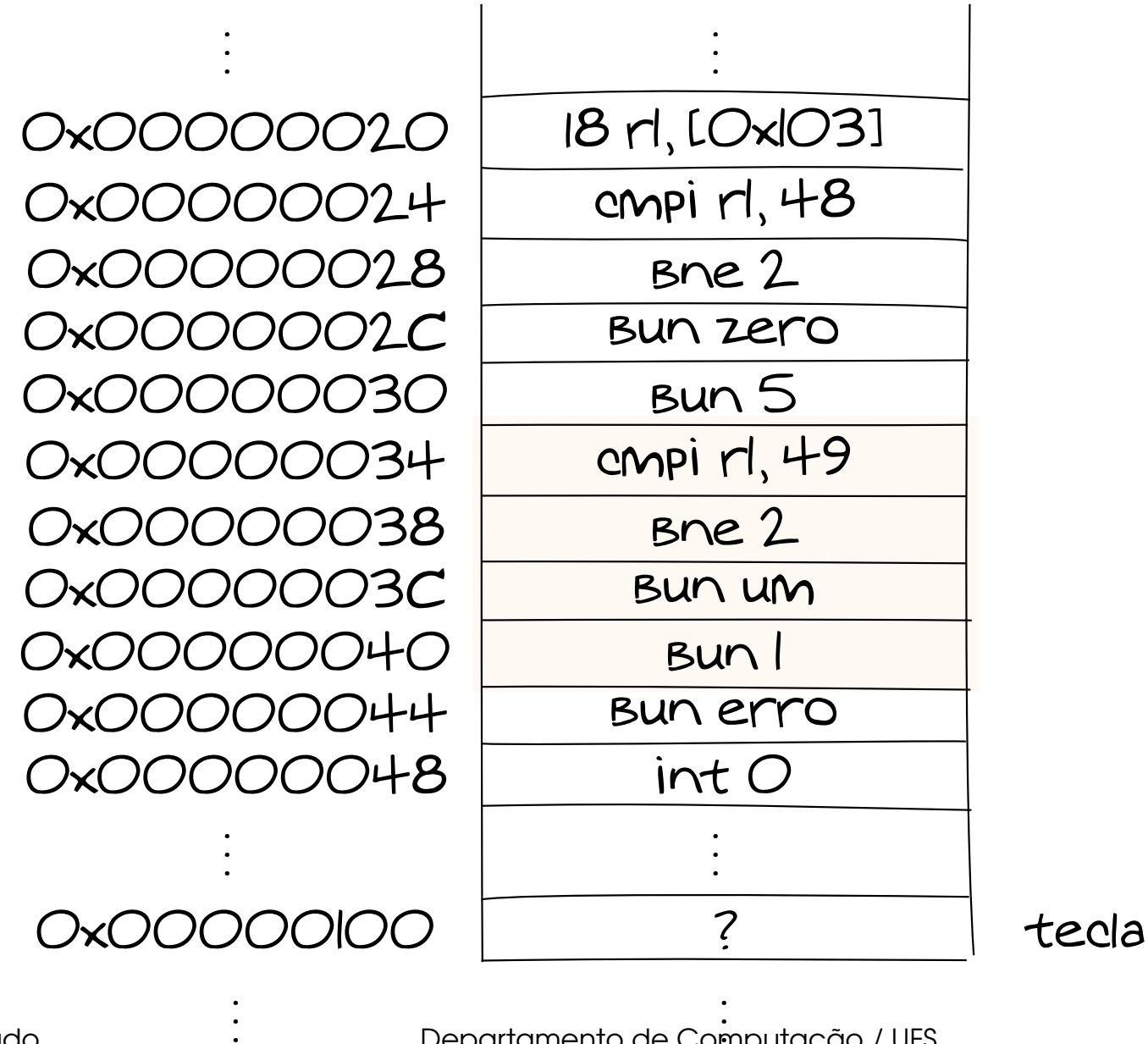
Controle condicional

- Sentença **switch**



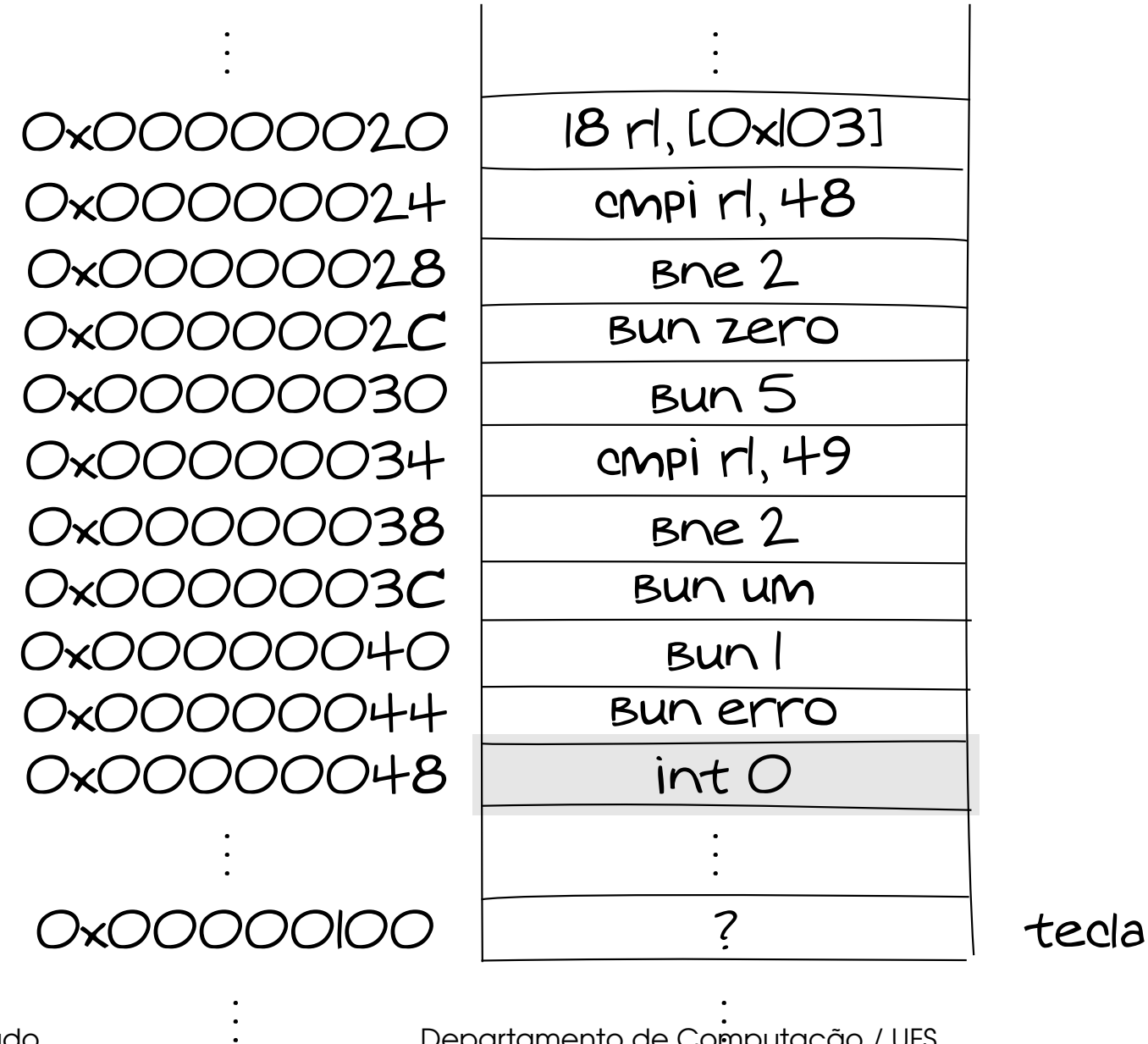
Controle condicional

- Sentença **switch**



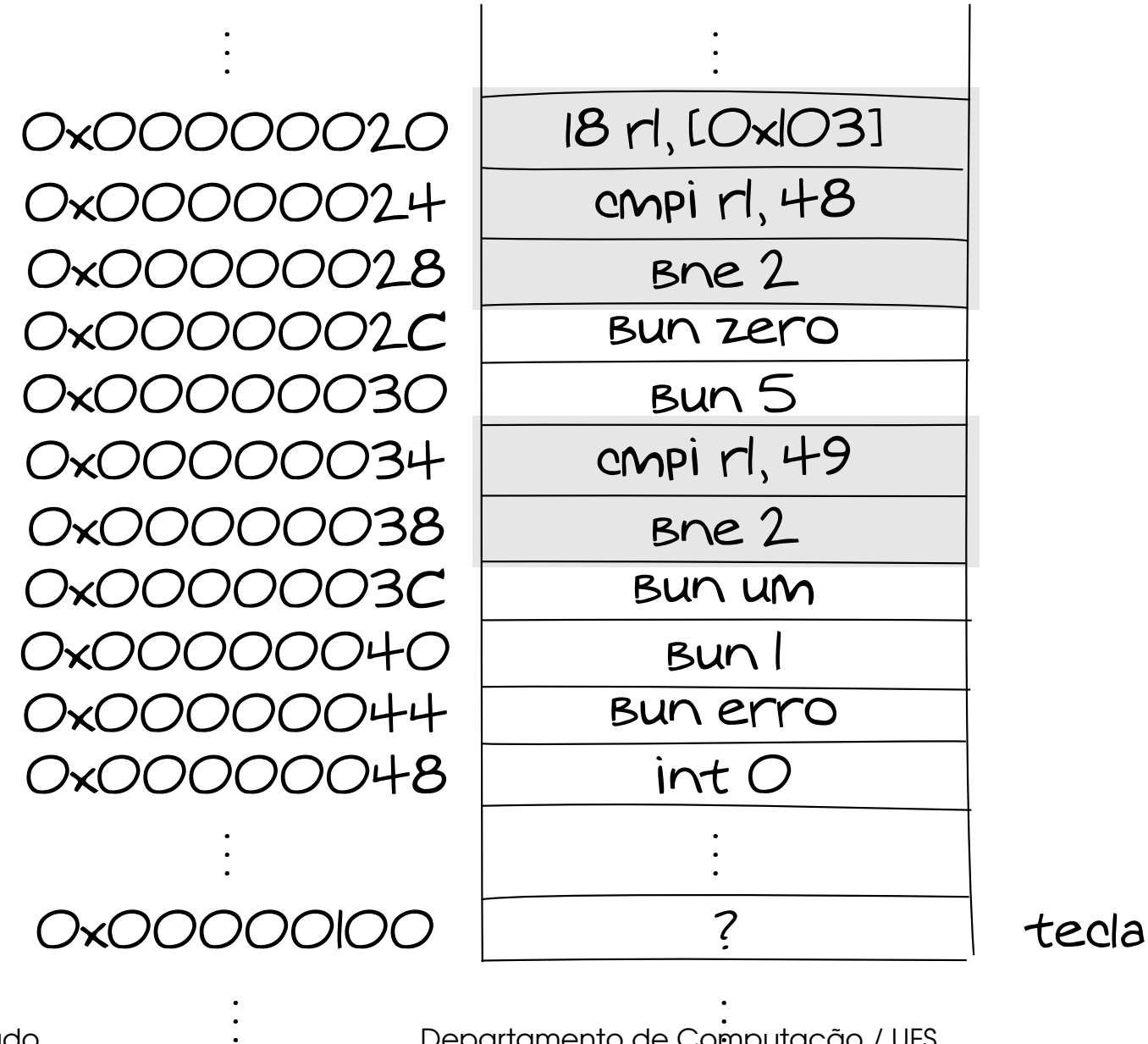
Controle condicional

- Sentença **switch**



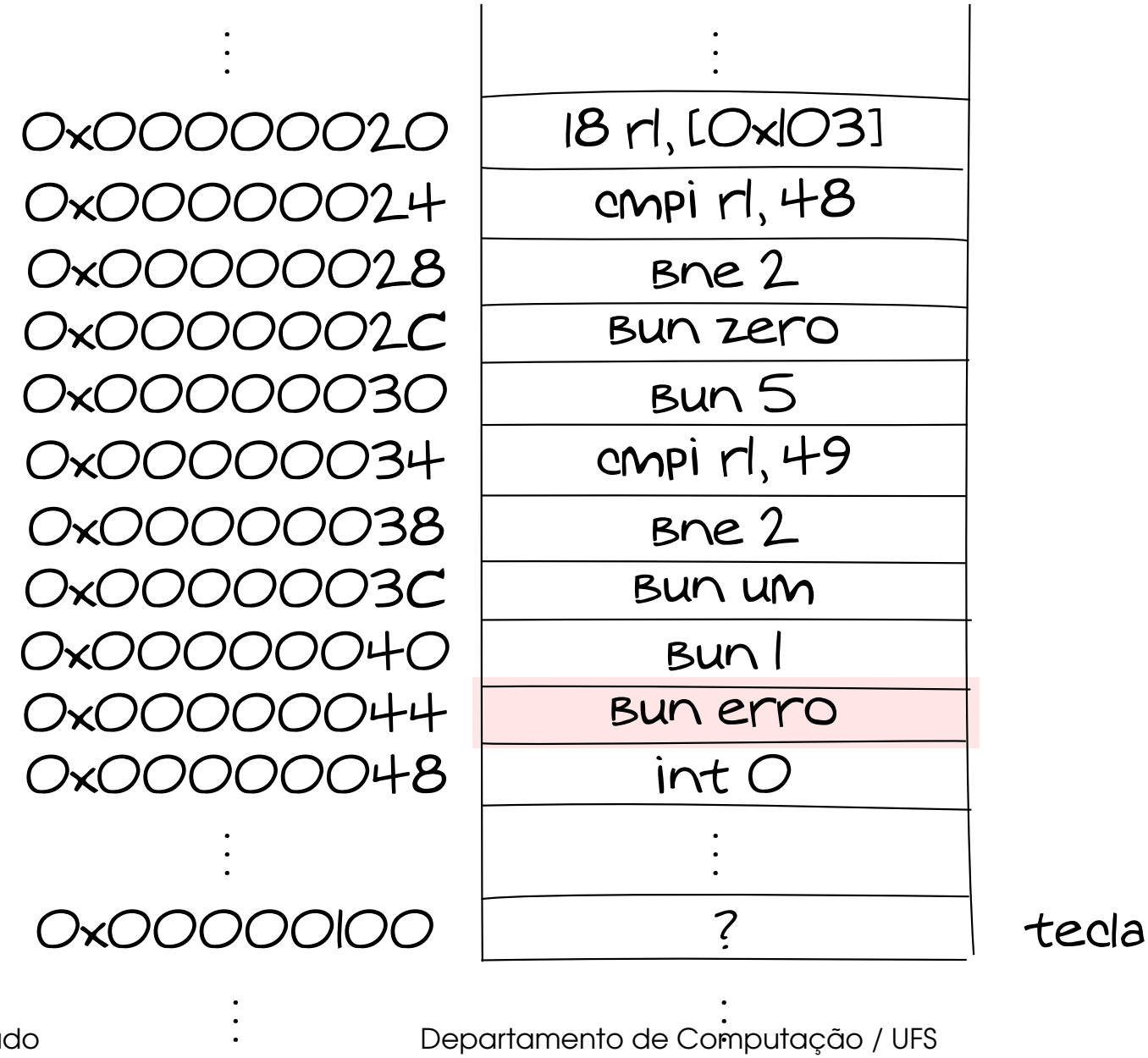
Controle condicional

- Sentença **switch**



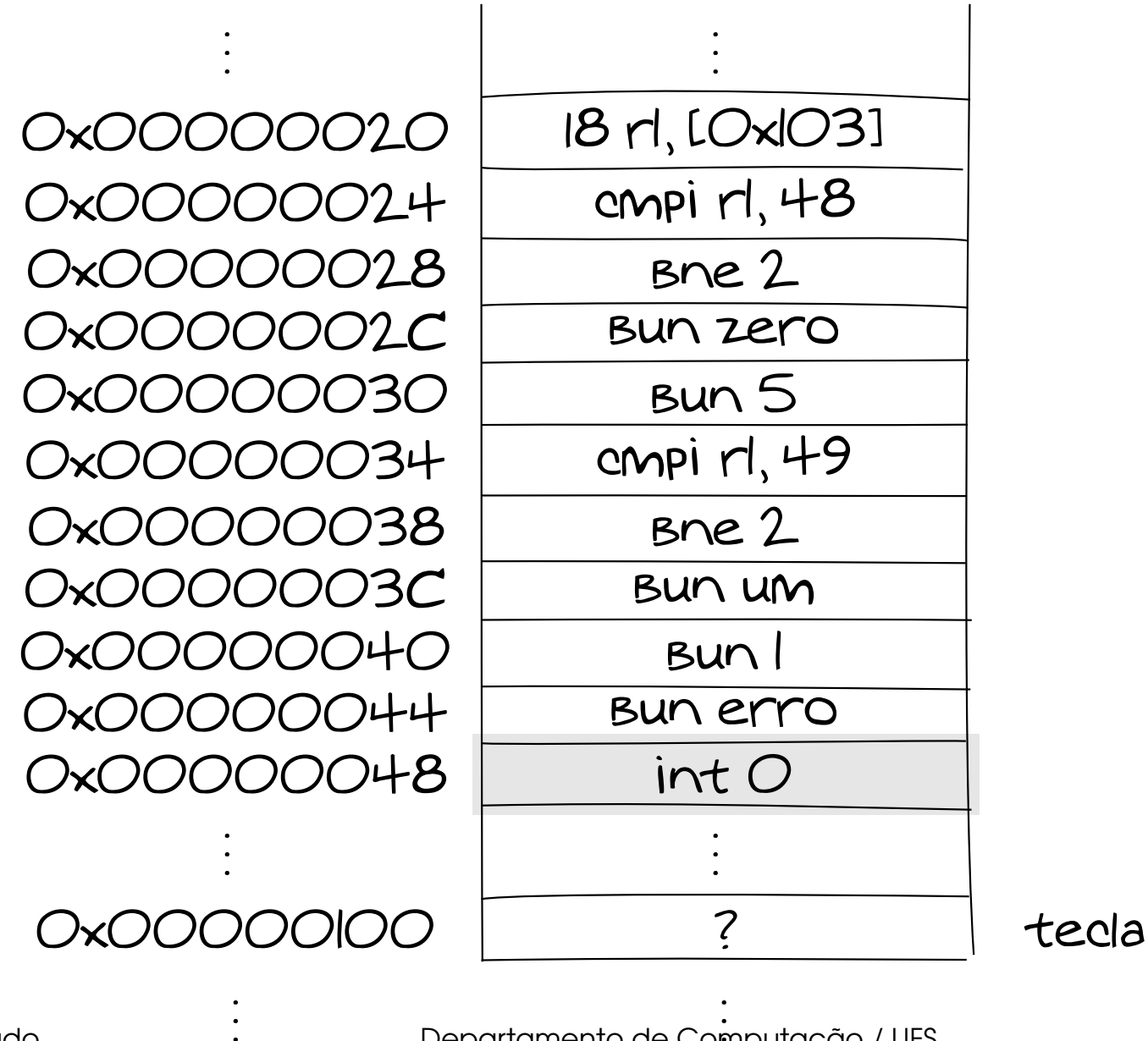
Controle condicional

- Sentença **switch**



Controle condicional

- Sentença **switch**



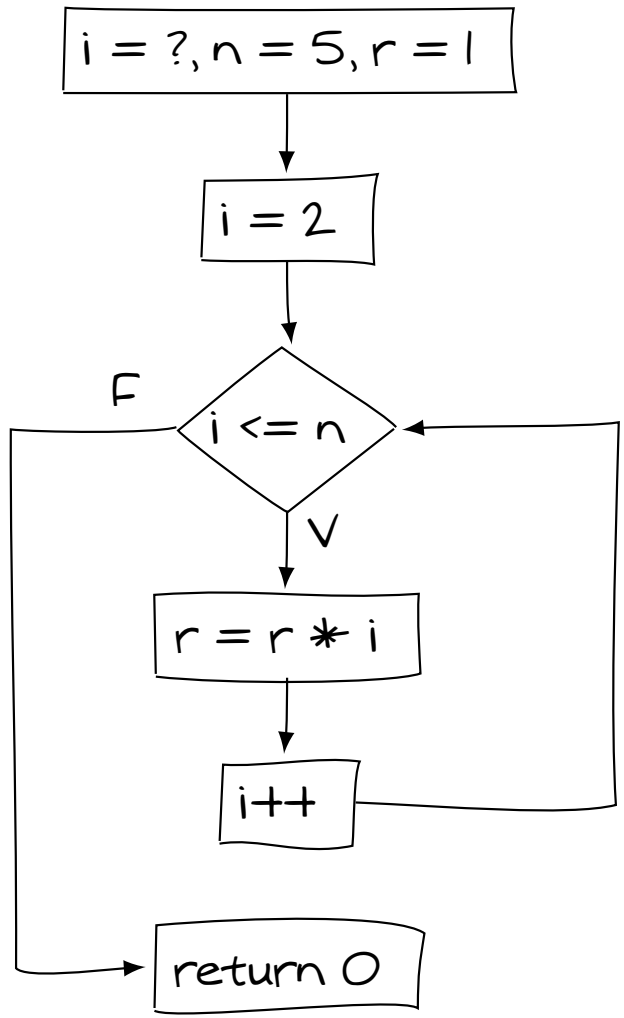
Controle iterativo

- Sentença **for**

```
1  // Inteiros com tamanho fixo
2  #include <stdint.h>
3  // Função principal
4  int main() {
5      // Declaração de variáveis
6      uint32_t i, n = 5, r = 1;
7      // Controle iterativo for
8      for(i = 2; i <= n; i++) {
9          // r = r * i
10         r = r * i;
11     }
12     // Retorno sem erros
13     return 0;
14 }
```

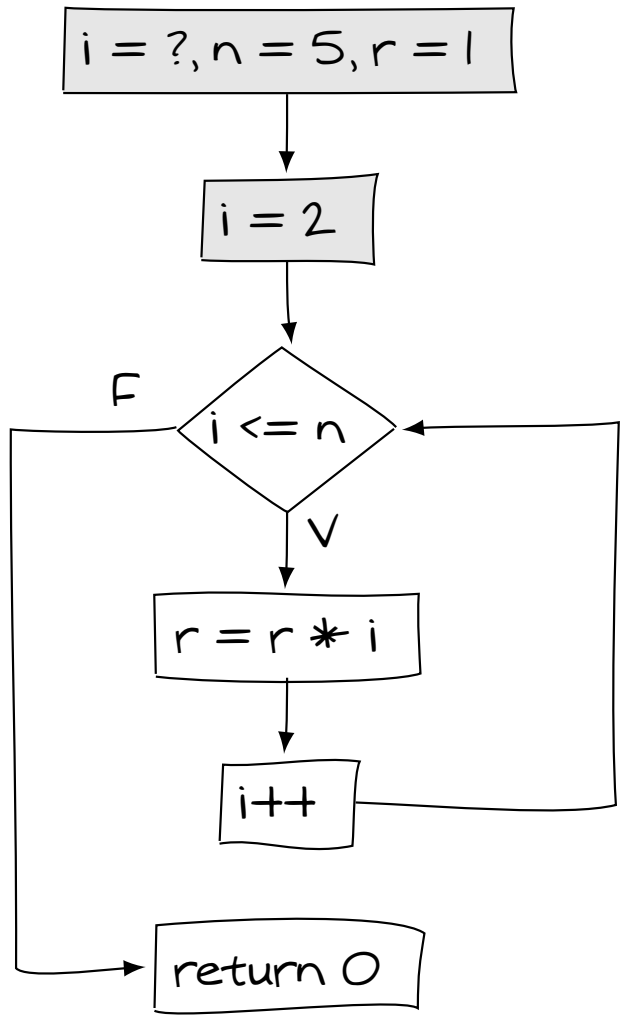
Controle iterativo

- Sentença **for**
  - Fluxo de execução



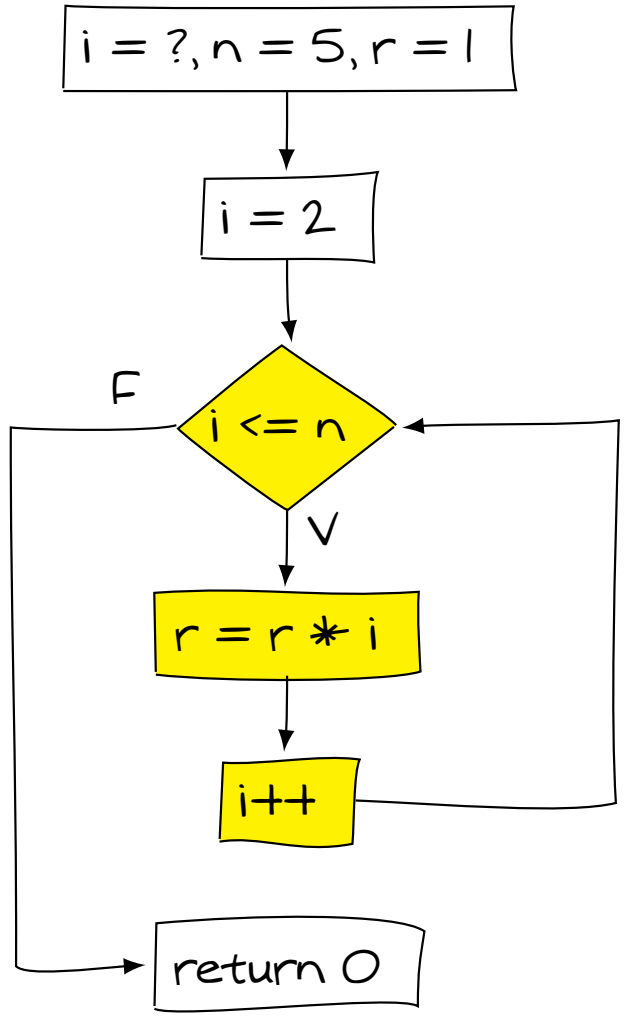
Controle iterativo

- Sentença **for**
  - Fluxo de execução



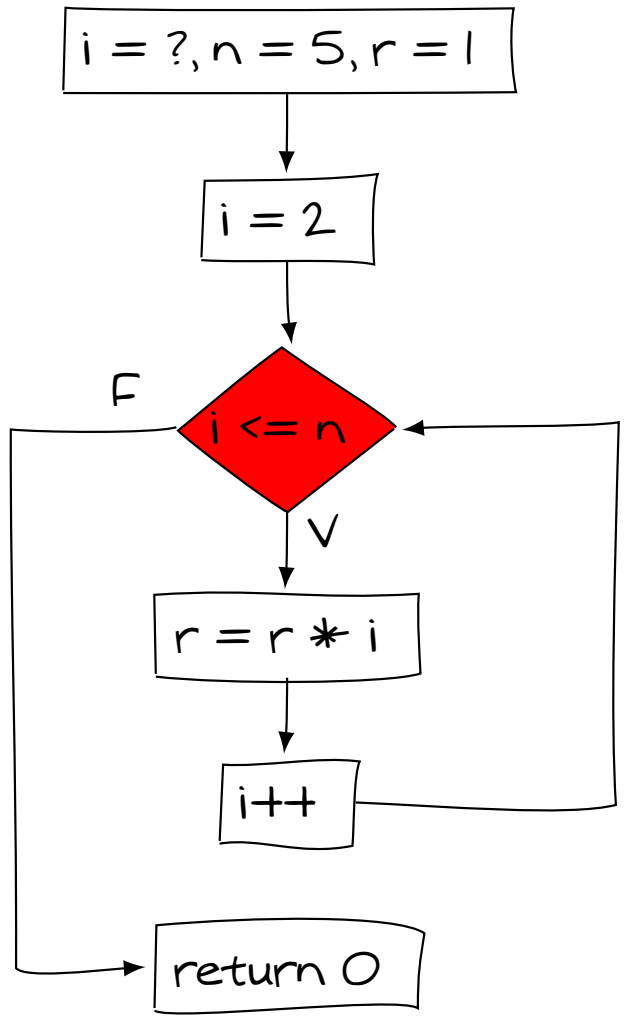
Controle iterativo

- Sentença **for**
  - Fluxo de execução



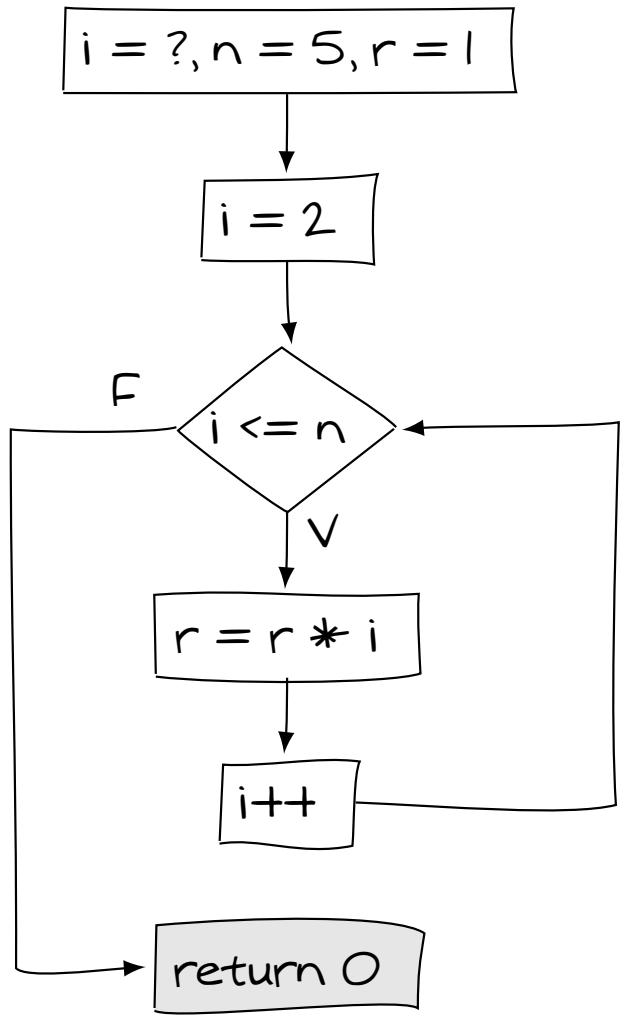
Controle iterativo

- Sentença **for**
  - Fluxo de execução



Controle iterativo

- Sentença **for**
  - Fluxo de execução



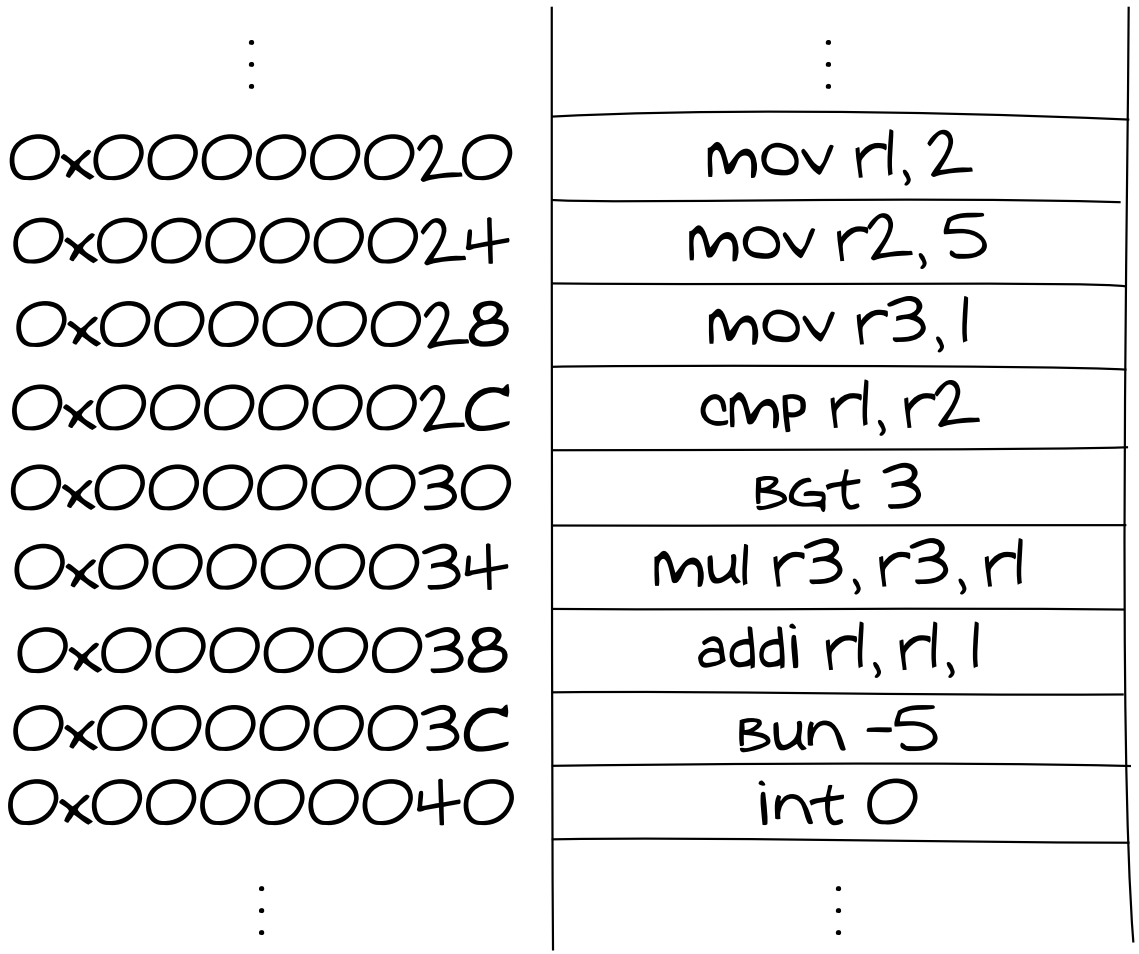
Controle iterativo

- Sentença **for**

```
1  // Função principal
2  main:
3      // r1 = i = 2, r2 = n = 5, r3 = r = 1
4      mov r1, 2
5      mov r2, 5
6      mov r3, 1
7      // i ? n
8      cmp r1, r2
9      // r1 > r2
10     bgt 3
11     // r = r * i
12     mul r3, r3, r1
13     // i++
14     addi r1, r1, 1
15     bun -5
16     // Fim
17     int 0
```

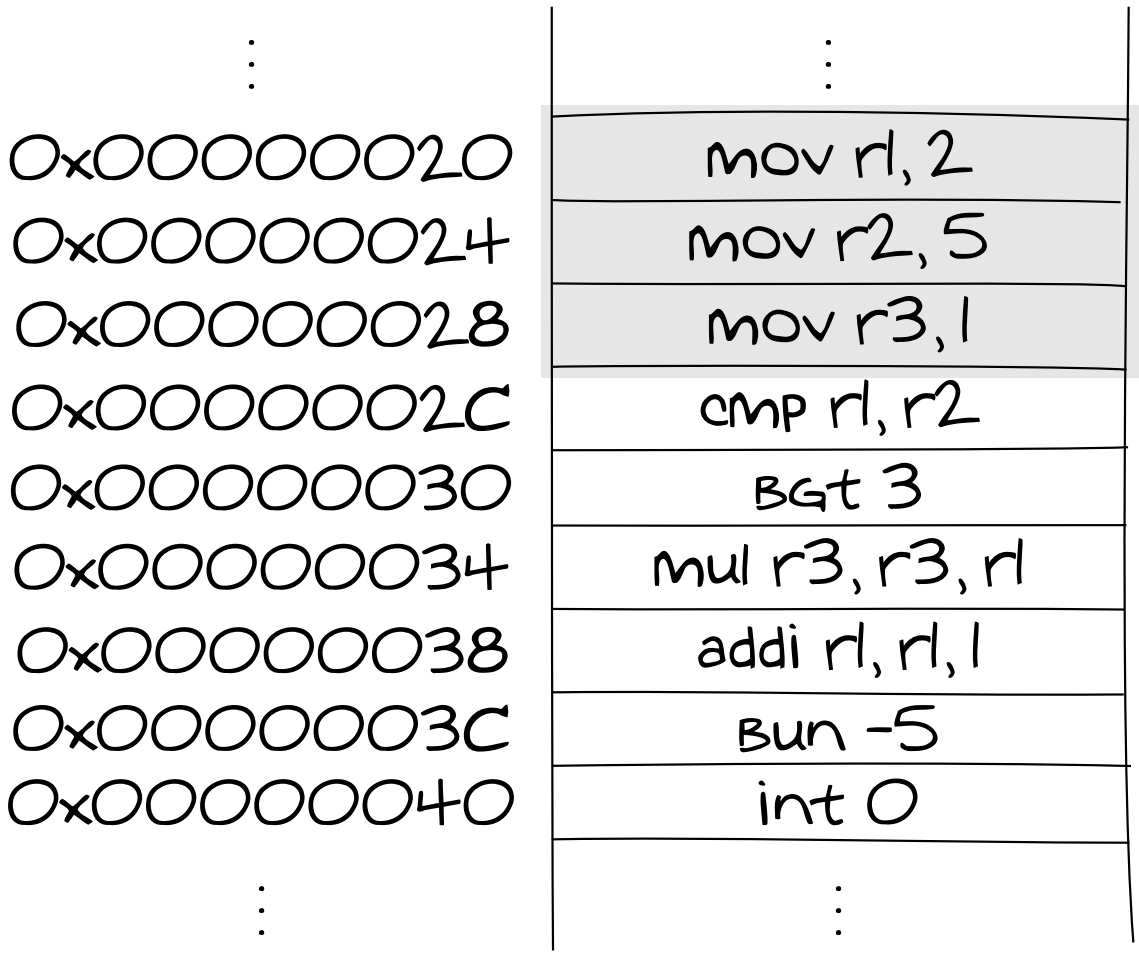
Controle iterativo

- Sentença **for**



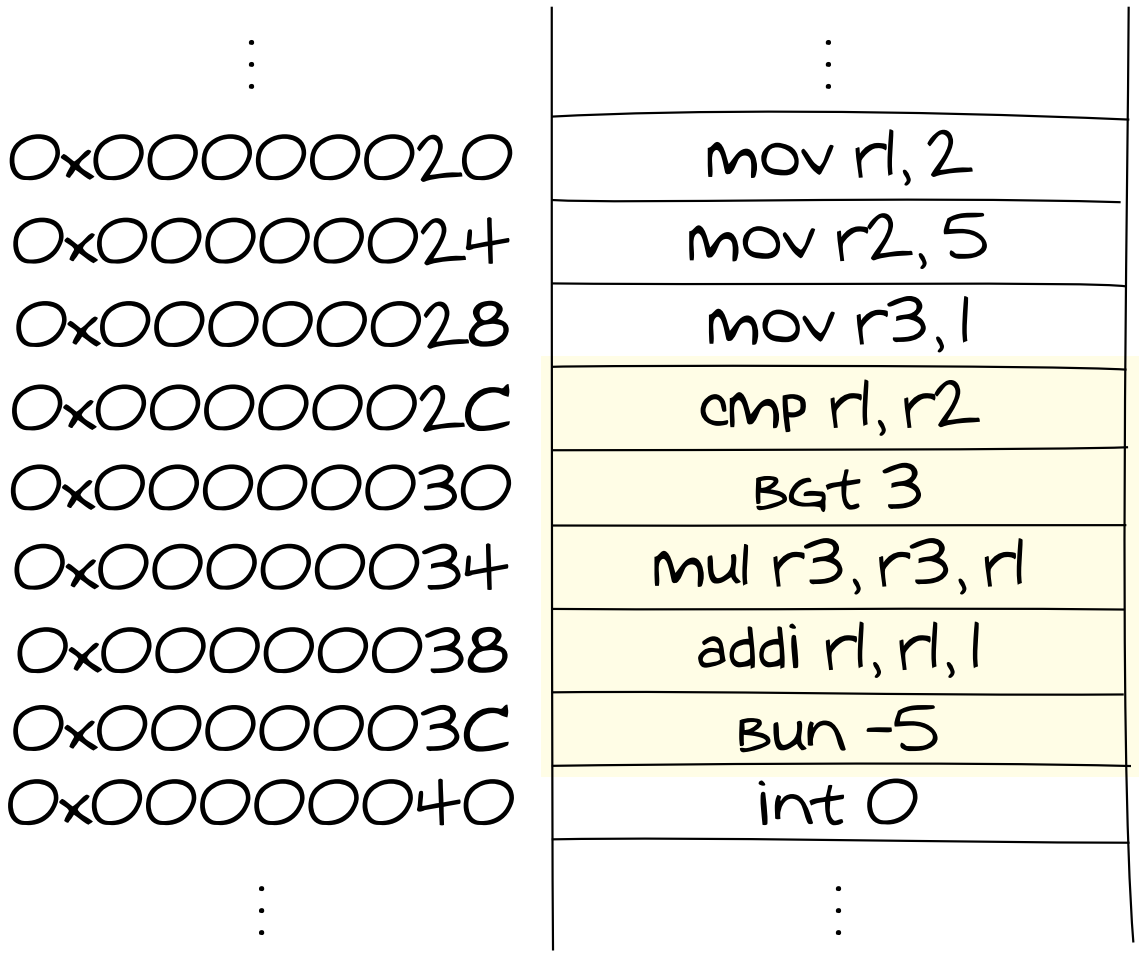
Controle iterativo

- Sentença **for**



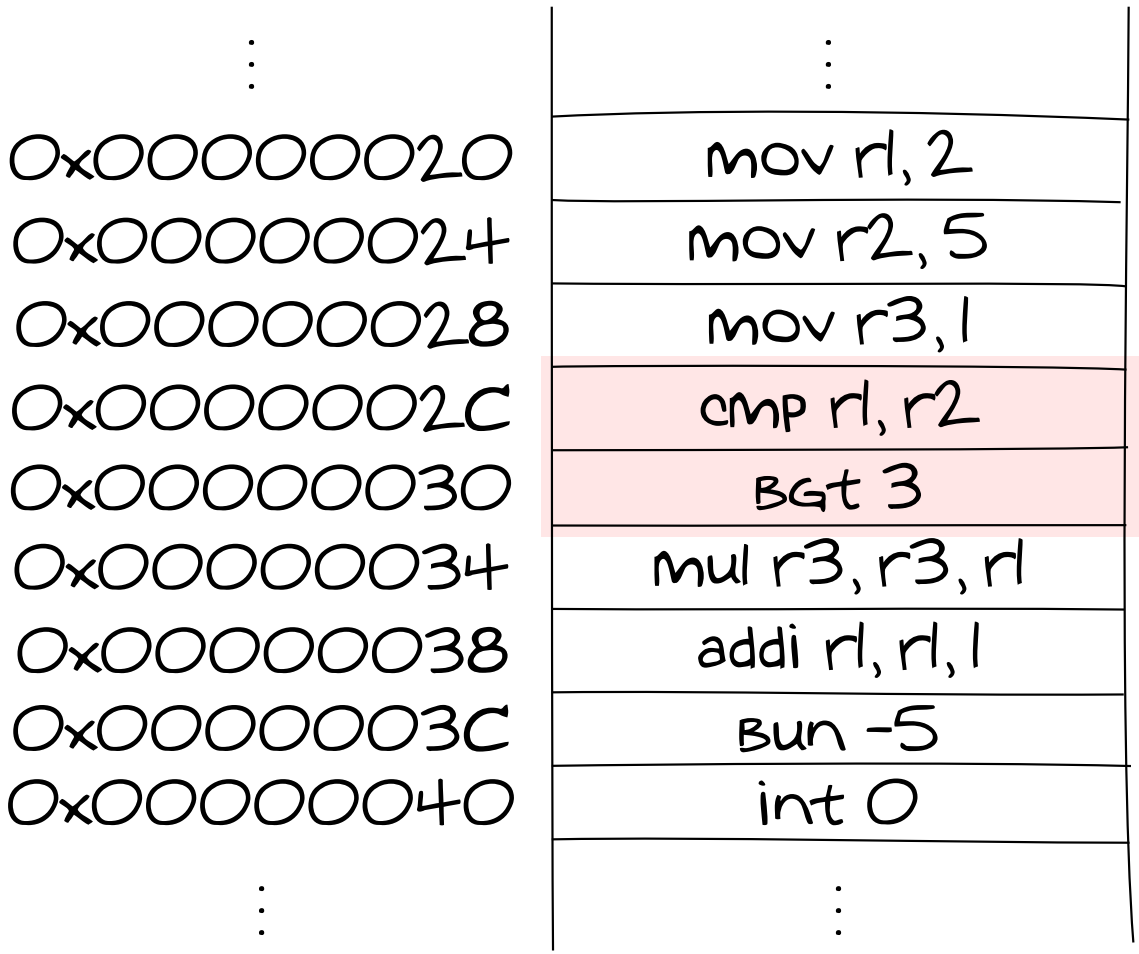
Controle iterativo

- Sentença **for**



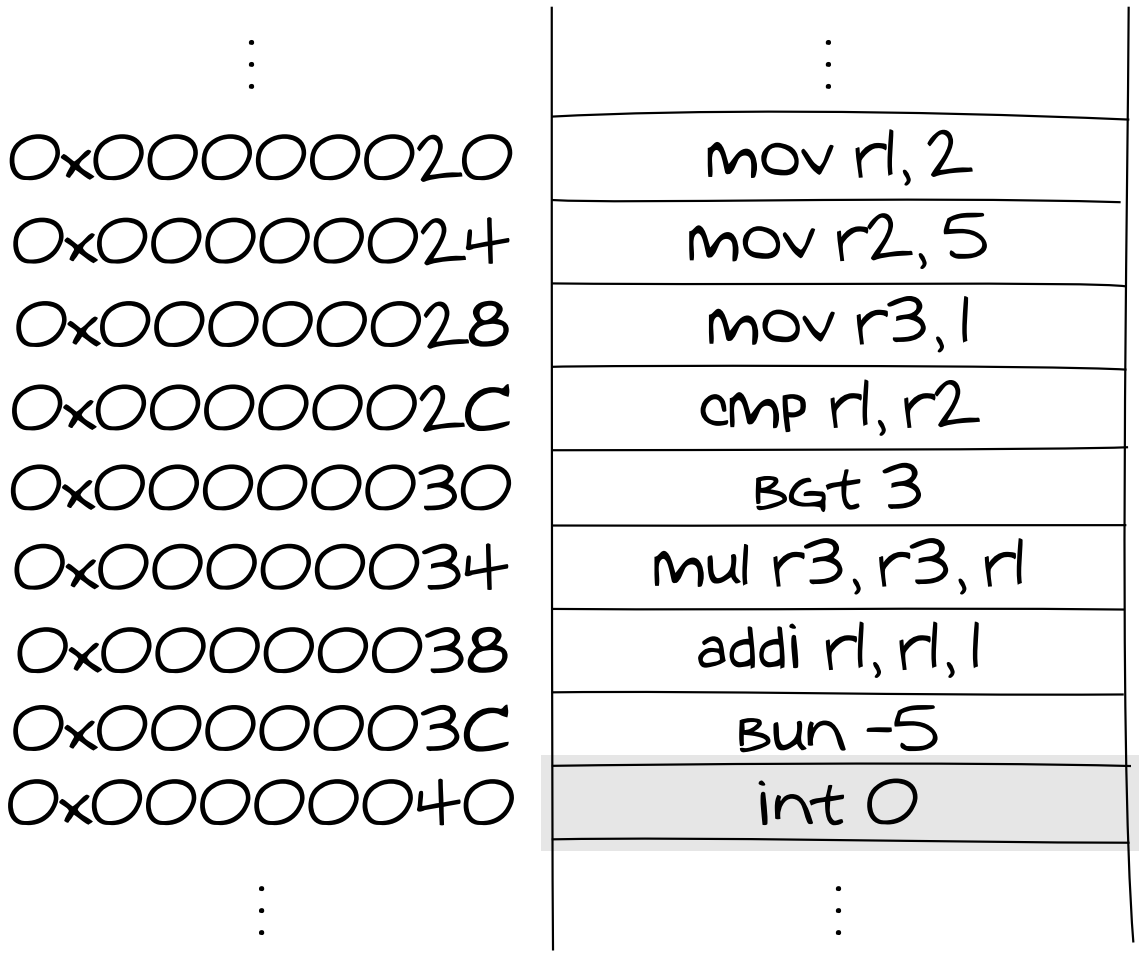
Controle iterativo

- Sentença **for**



Controle iterativo

- Sentença **for**



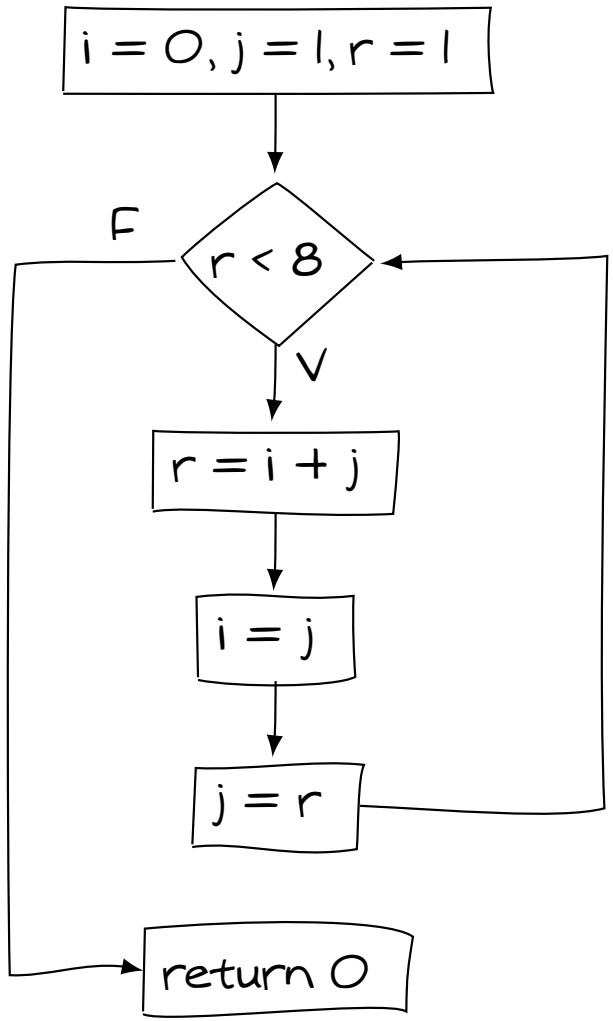
Controle iterativo

- Sentença **while**

```
1  // Inteiros com tamanho fixo
2  #include <stdint.h>
3  // Função principal
4  int main() {
5      // Declaração de variáveis
6      uint32_t i = 0, j = 1, r = 1;
7      // Controle iterativo while
8      while(r < 8) {
9          // r = i + j
10         r = i + j
11         // i = j, j = r
12         i = j;
13         j = r
14     }
15     // Retorno sem erros
16     return 0;
17 }
```

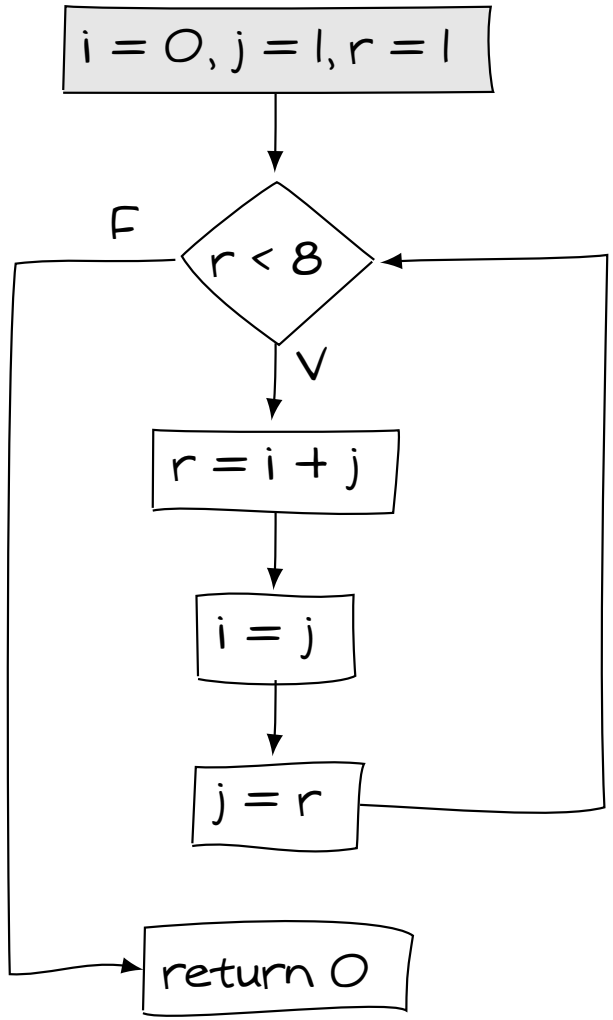
Controle iterativo

- Sentença **while**
  - Fluxo de execução



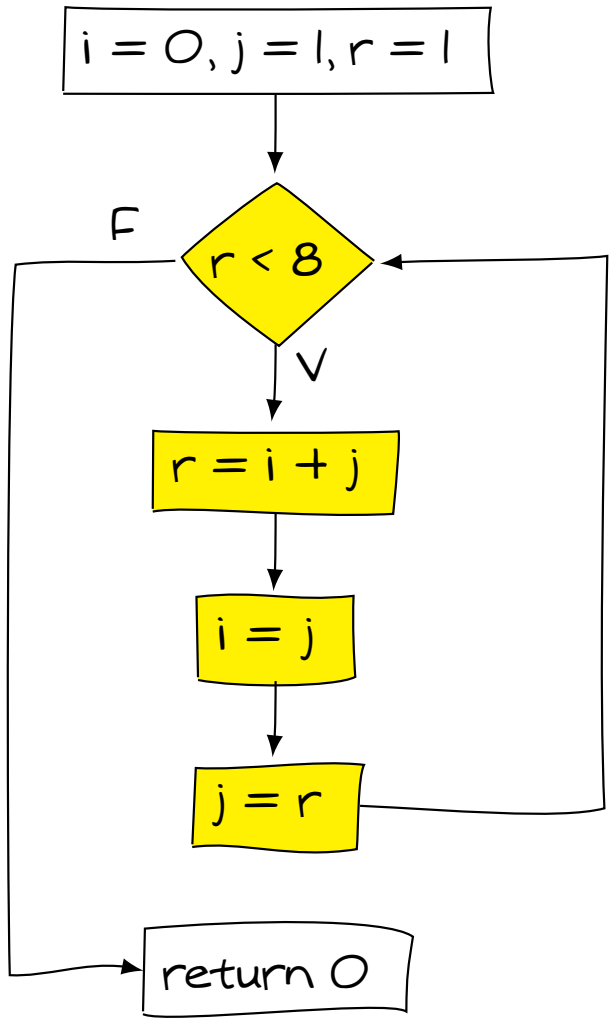
Controle iterativo

- Sentença **while**
  - Fluxo de execução



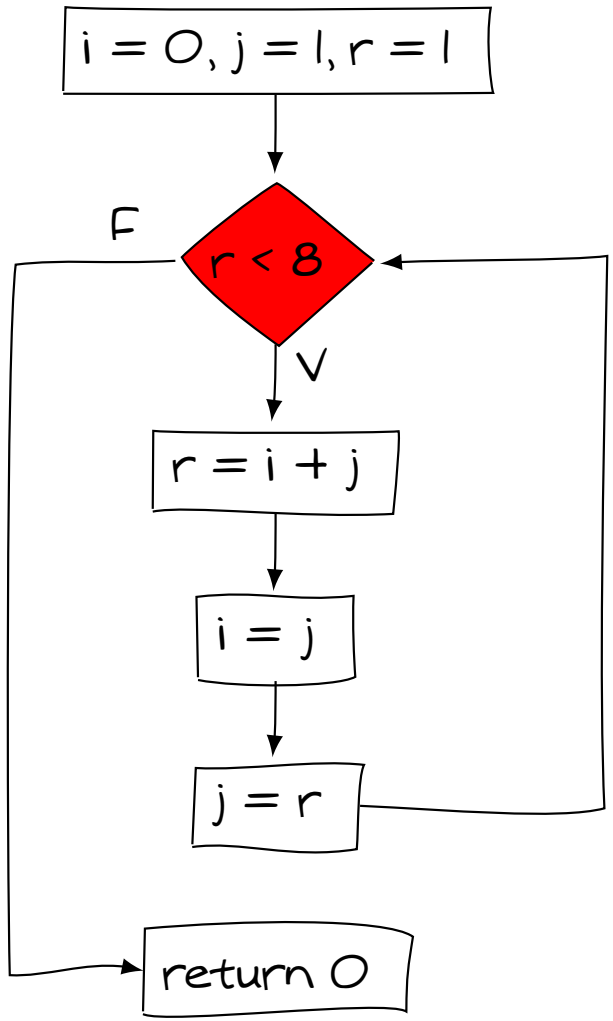
Controle iterativo

- Sentença **while**
  - Fluxo de execução



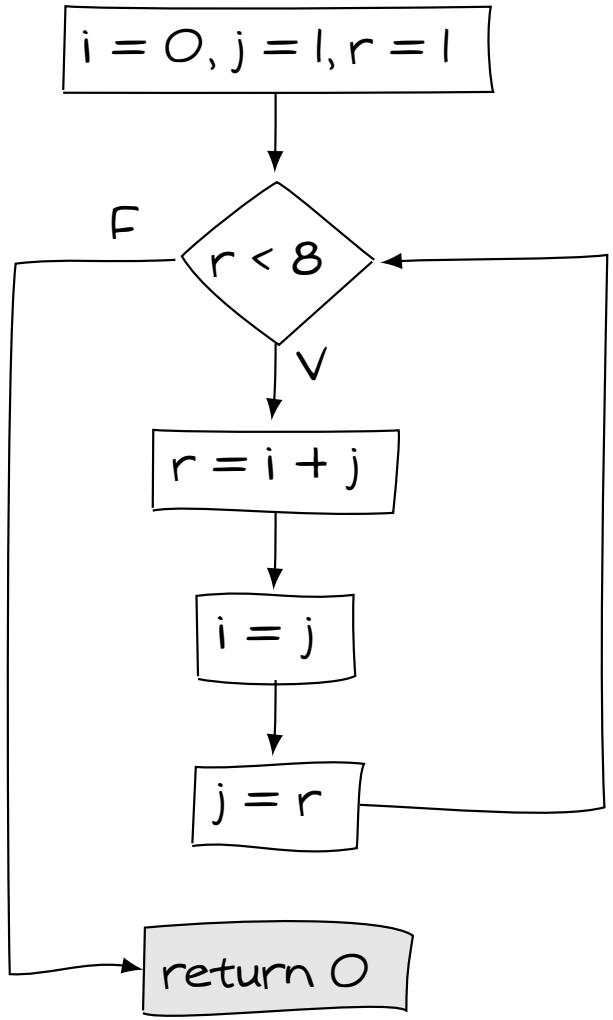
Controle iterativo

- Sentença **while**
  - Fluxo de execução



Controle iterativo

- Sentença **while**
  - Fluxo de execução



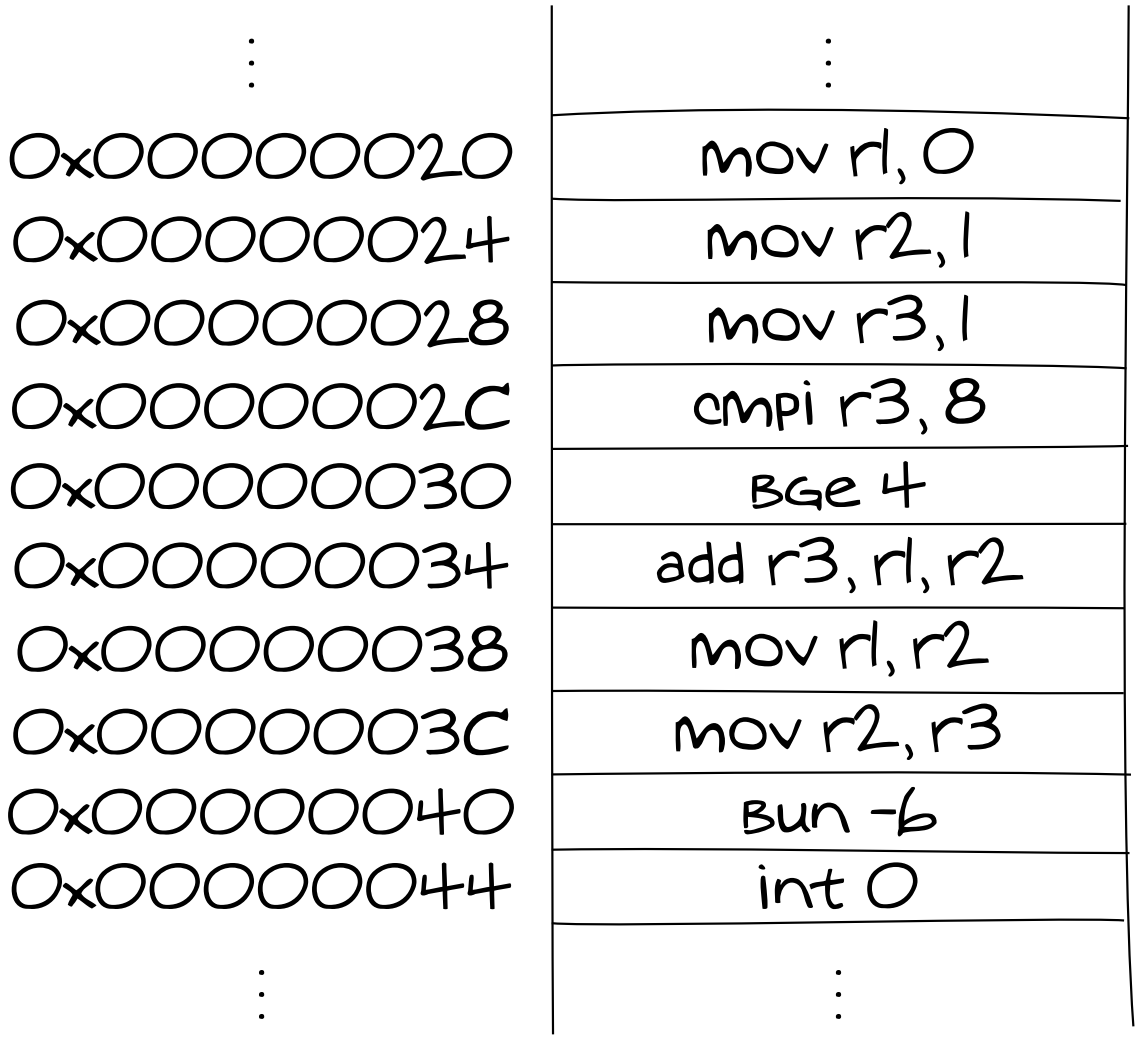
Controle iterativo

- Sentença **while**

```
1  // Função principal
2  main:
3      // r1 = i = 0, r2 = j = 1, r3 = r = 1
4      mov r1, 0
5      mov r2, 1
6      mov r3, 1
7      // r ? 8
8      cmpi r3, 8
9      // r >= 8
10     bge 4
11     // r = i + j
12     add r3, r1, r2
13     // i = j, j = r
14     mov r1, r2
15     mov r2, r3
16     bun -6
17     // Fim
18     int 0
```

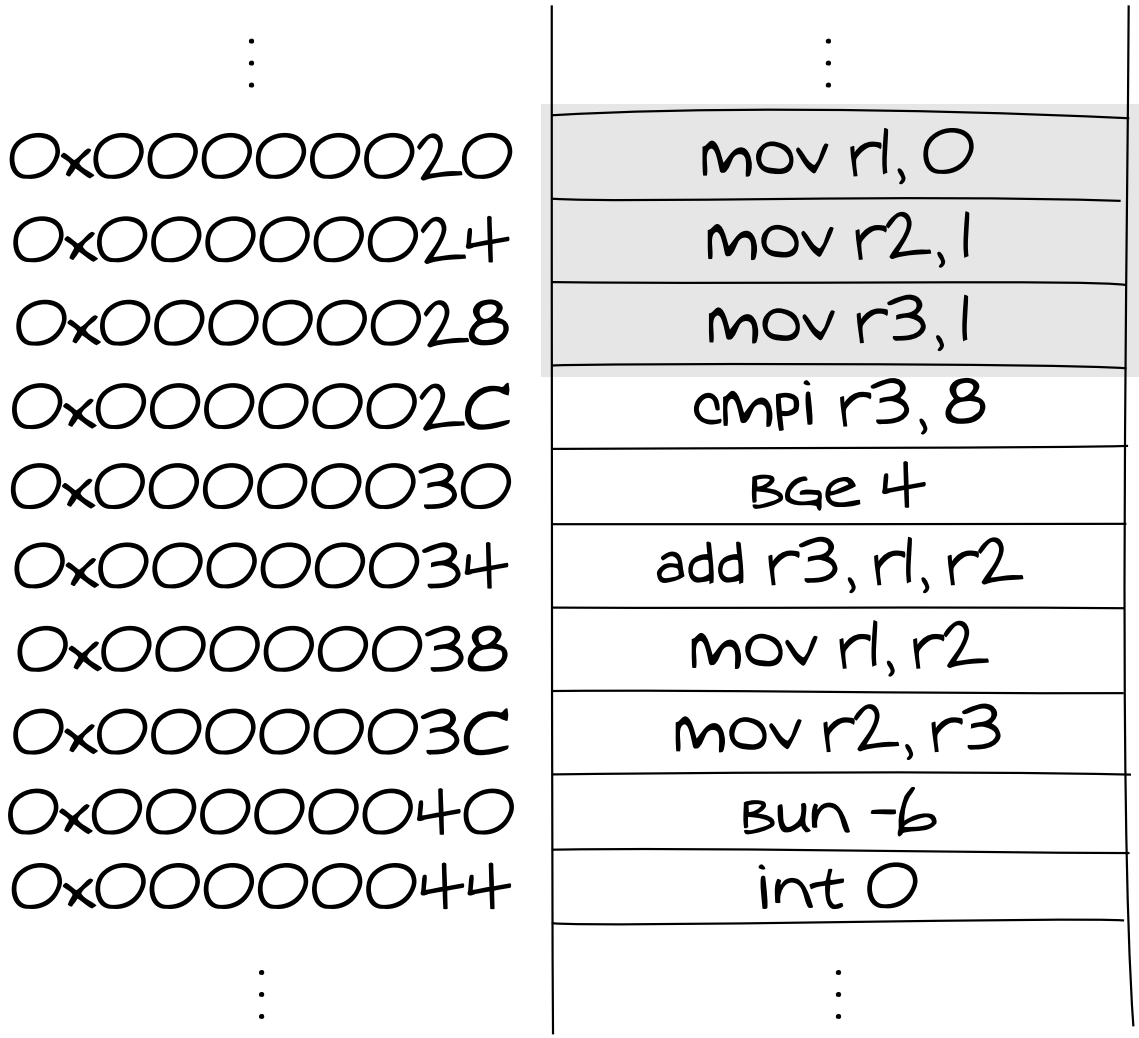
Controle iterativo

- Sentença **while**



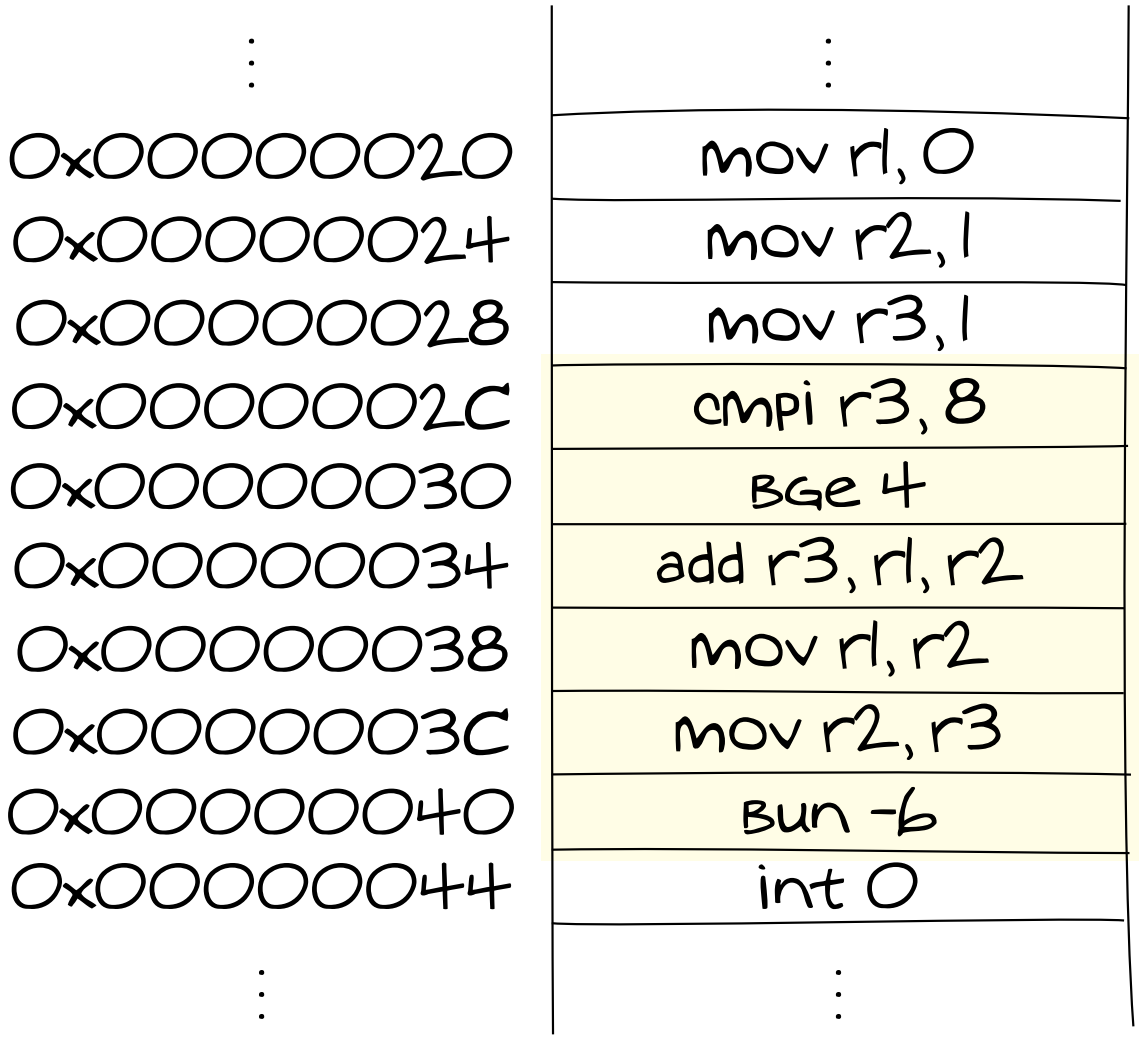
Controle iterativo

- Sentença **while**



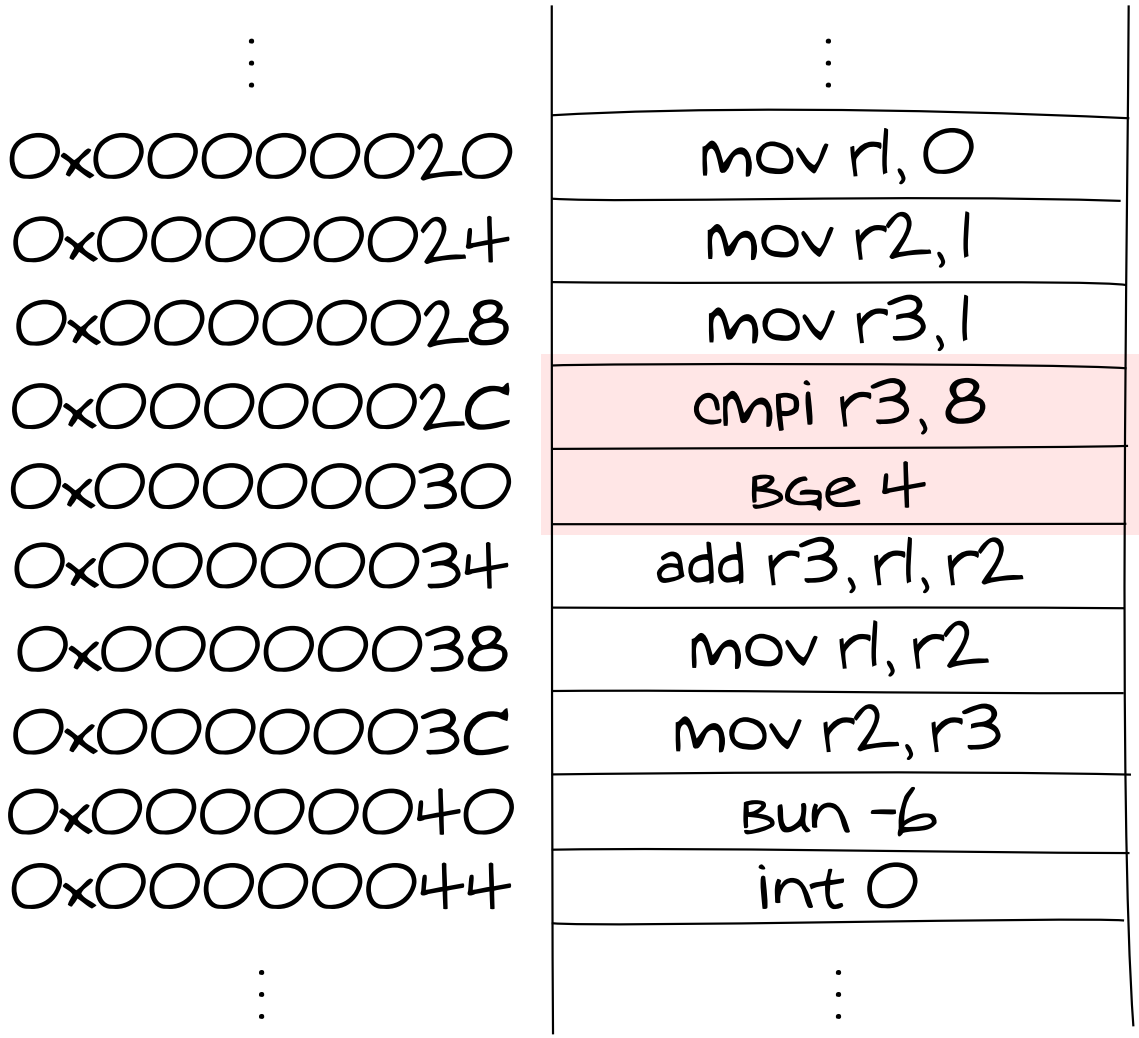
Controle iterativo

- Sentença **while**



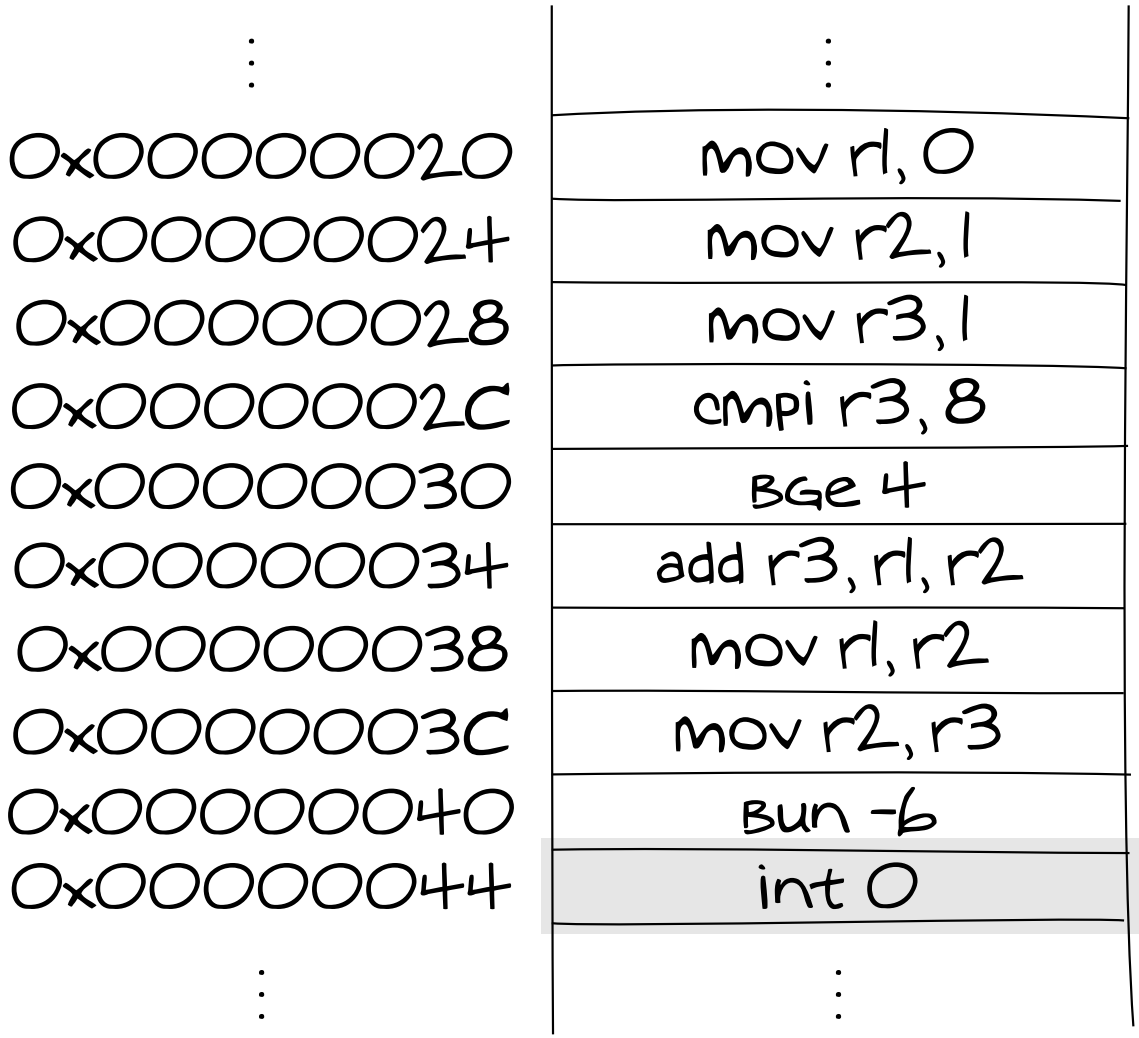
Controle iterativo

- Sentença **while**



Controle iterativo

- Sentença **while**



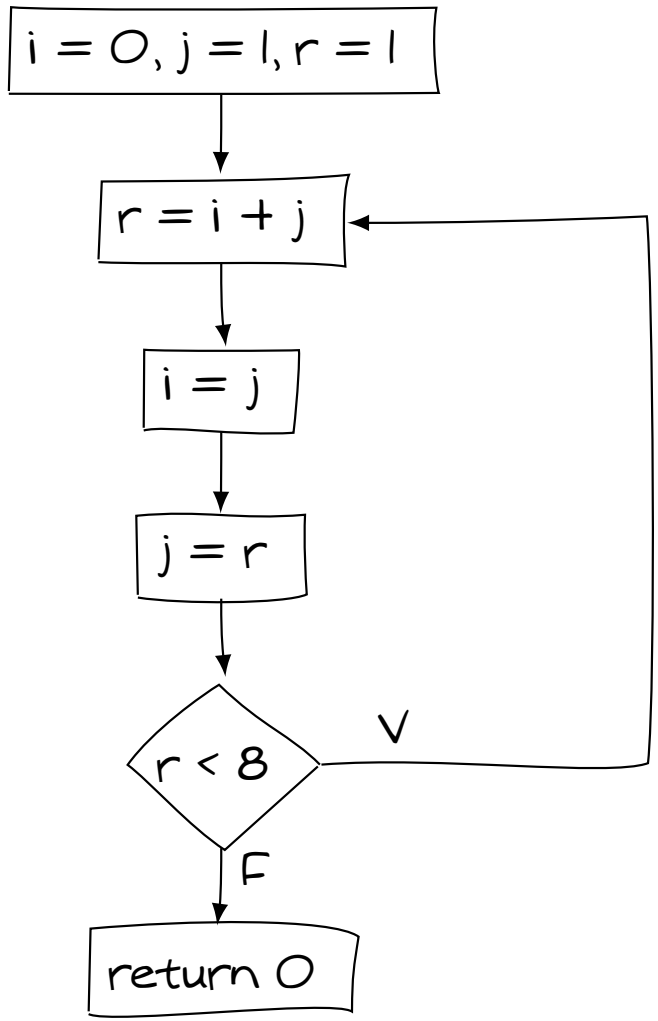
Controle iterativo

- Sentença **do while**

```
1  // Inteiros com tamanho fixo
2  #include <stdint.h>
3  // Função principal
4  int main() {
5      // Declaração de variáveis
6      uint32_t i = 0, j = 1, r = 1;
7      // Controle iterativo do while
8      do {
9          // r = i + j
10         r = i + j
11         // i = j, j = r
12         i = j;
13         j = r
14     }
15     while(r < 8);
16     // Retorno sem erros
17     return 0;
18 }
```

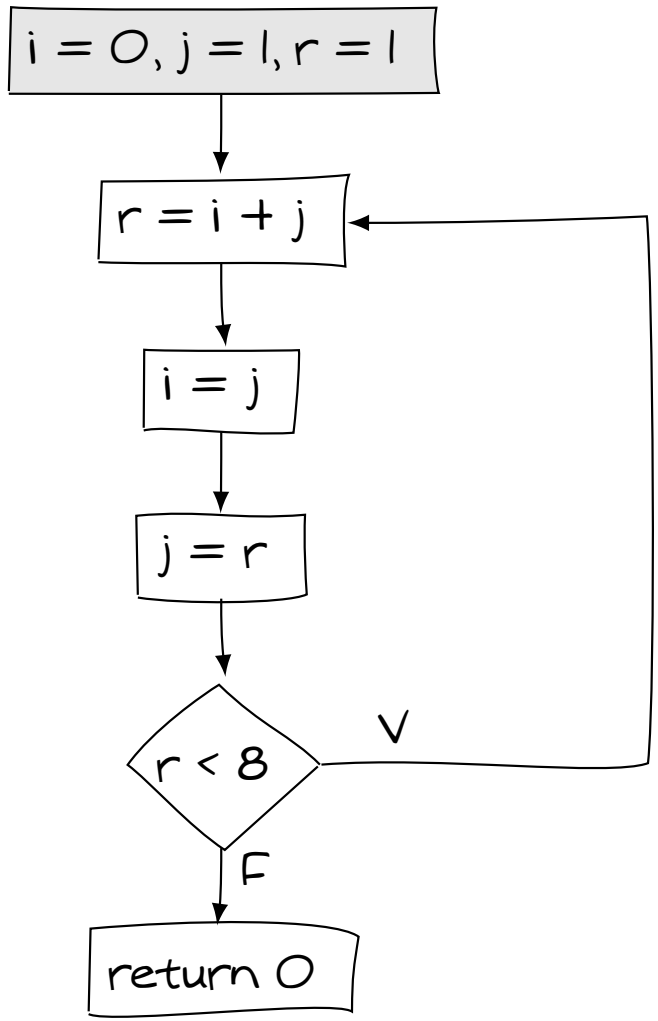
Controle iterativo

- Sentença **do while**
  - Fluxo de execução



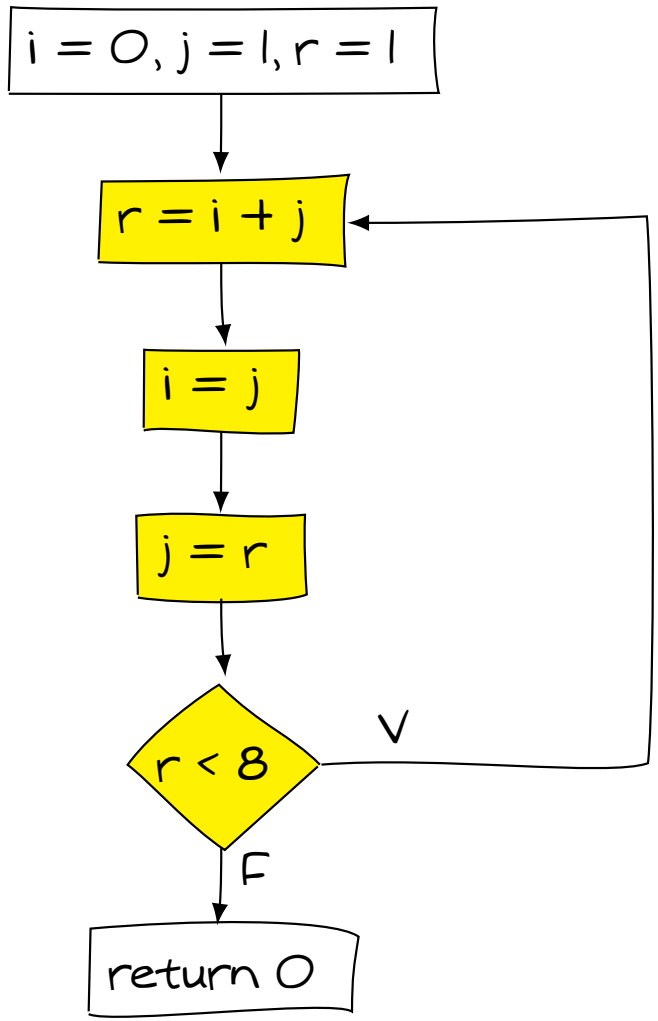
Controle iterativo

- Sentença **do while**
  - Fluxo de execução



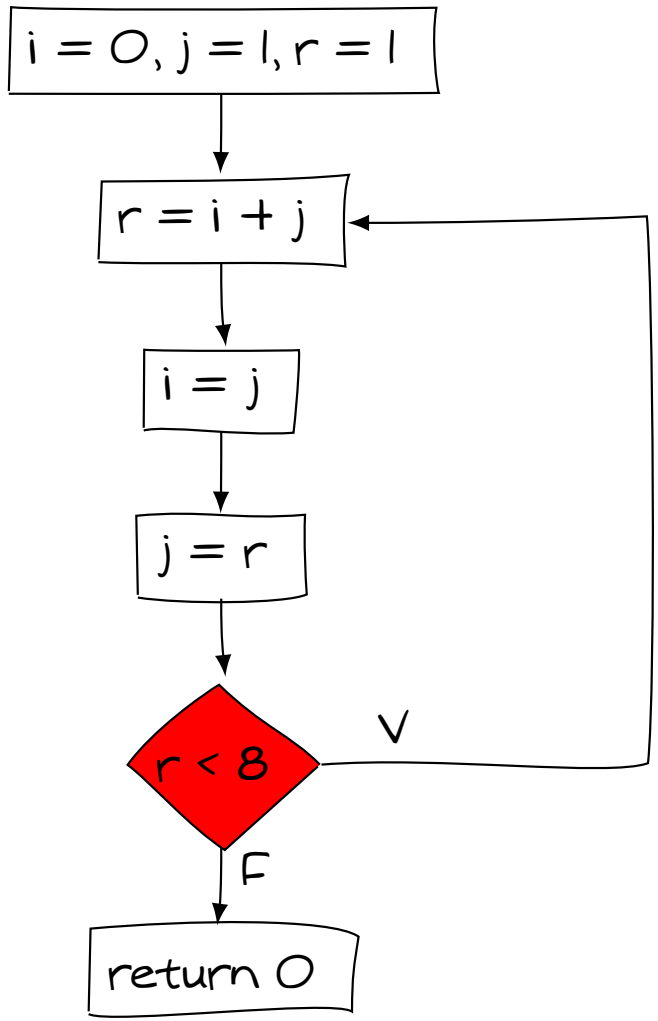
Controle iterativo

- Sentença **do while**
  - Fluxo de execução



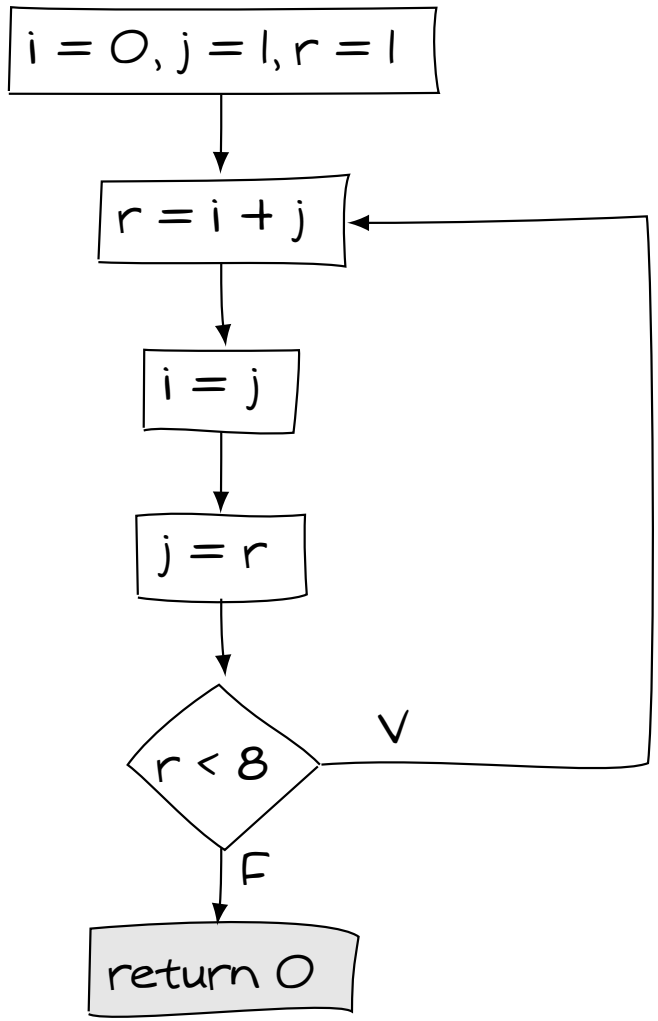
Controle iterativo

- Sentença **do while**
  - Fluxo de execução



Controle iterativo

- Sentença **do while**
  - Fluxo de execução



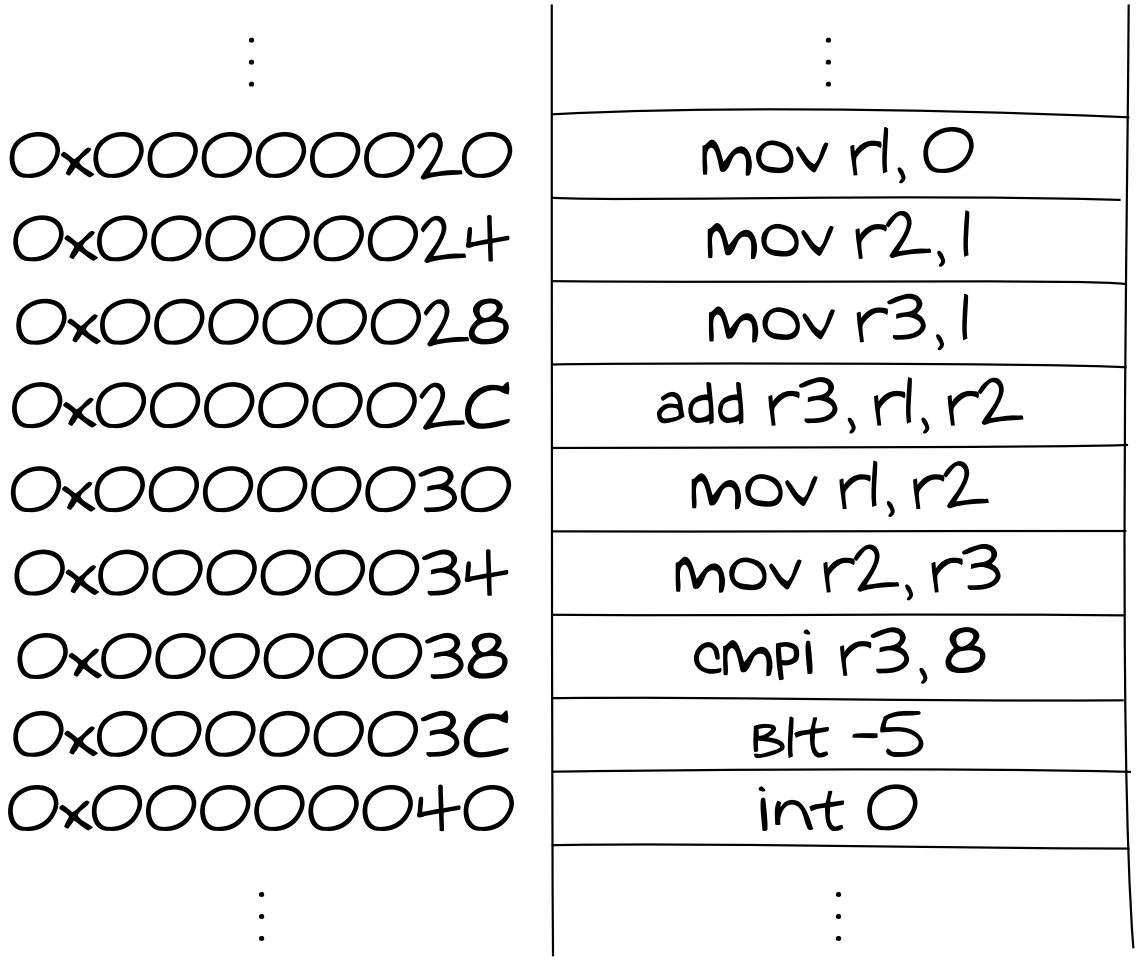
Controle iterativo

- Sentença **do while**

```
1  // Função principal
2  main:
3      // r1 = i = 0, r2 = j = 1, r3 = r = 1
4      mov r1, 0
5      mov r2, 1
6      mov r3, 1
7      // r = i + j
8      add r3, r1, r2
9      // i = j, j = r
10     mov r1, r2
11     mov r2, r3
12     // r ? 8
13     cmpi r3, 8
14     // r < 8
15     blt -5
16     // Fim
17     int 0
```

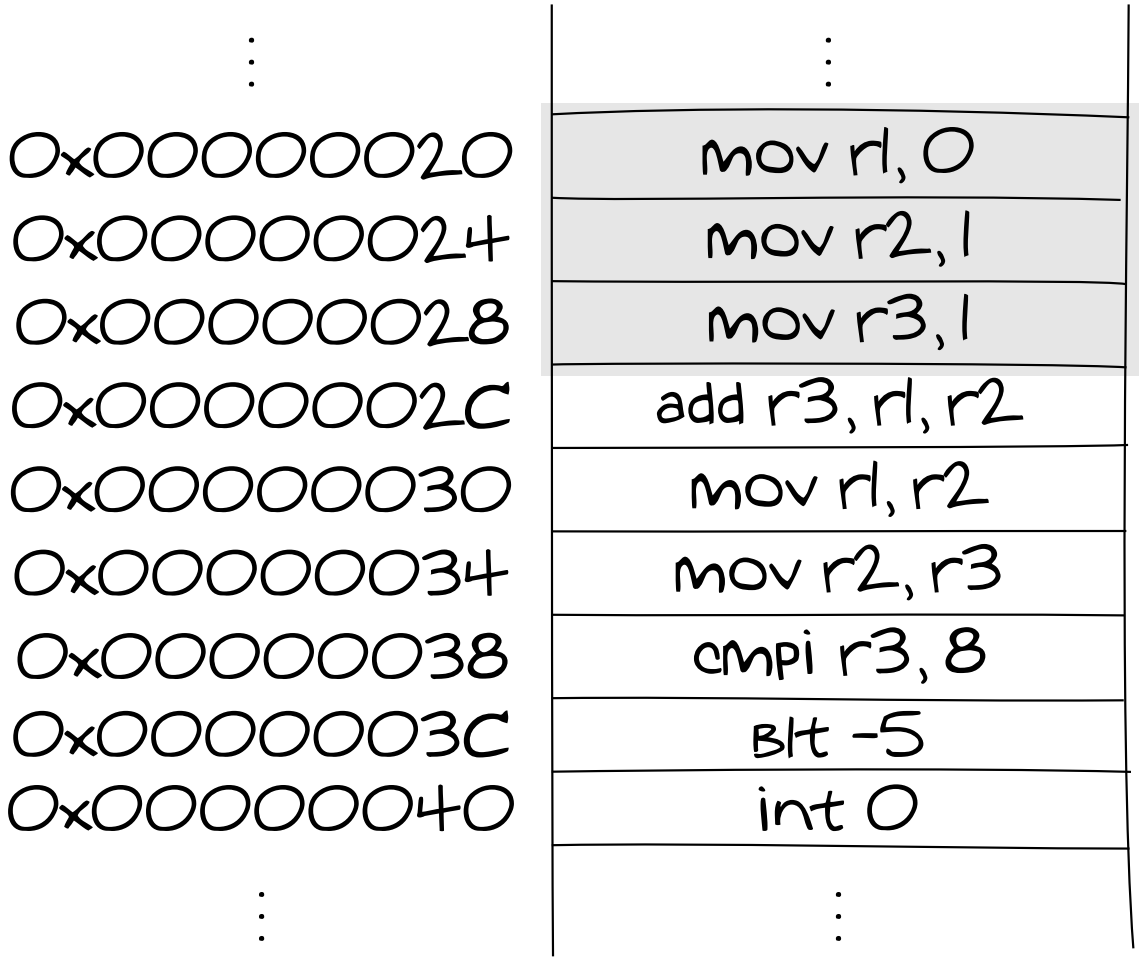
Controle iterativo

- Sentença **do while**



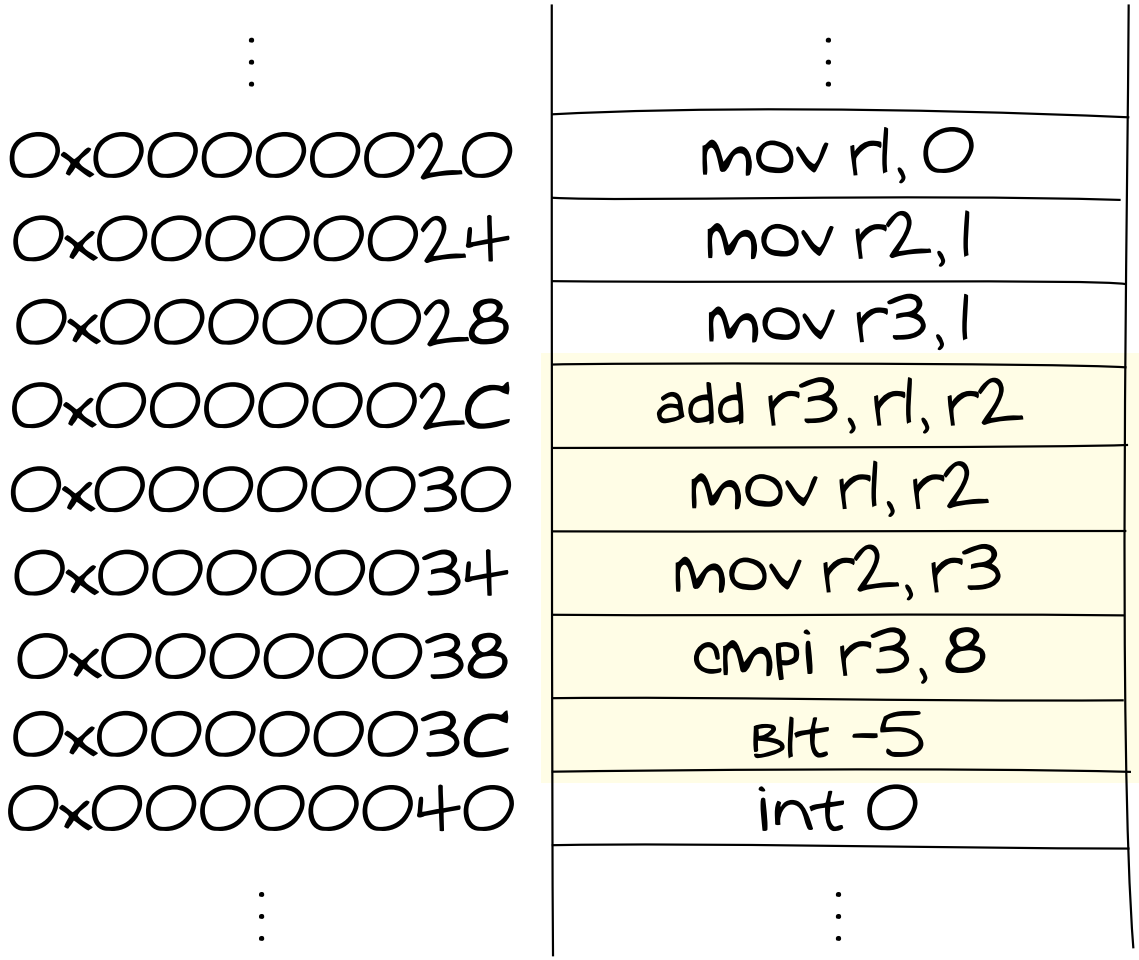
Controle iterativo

- Sentença **do while**



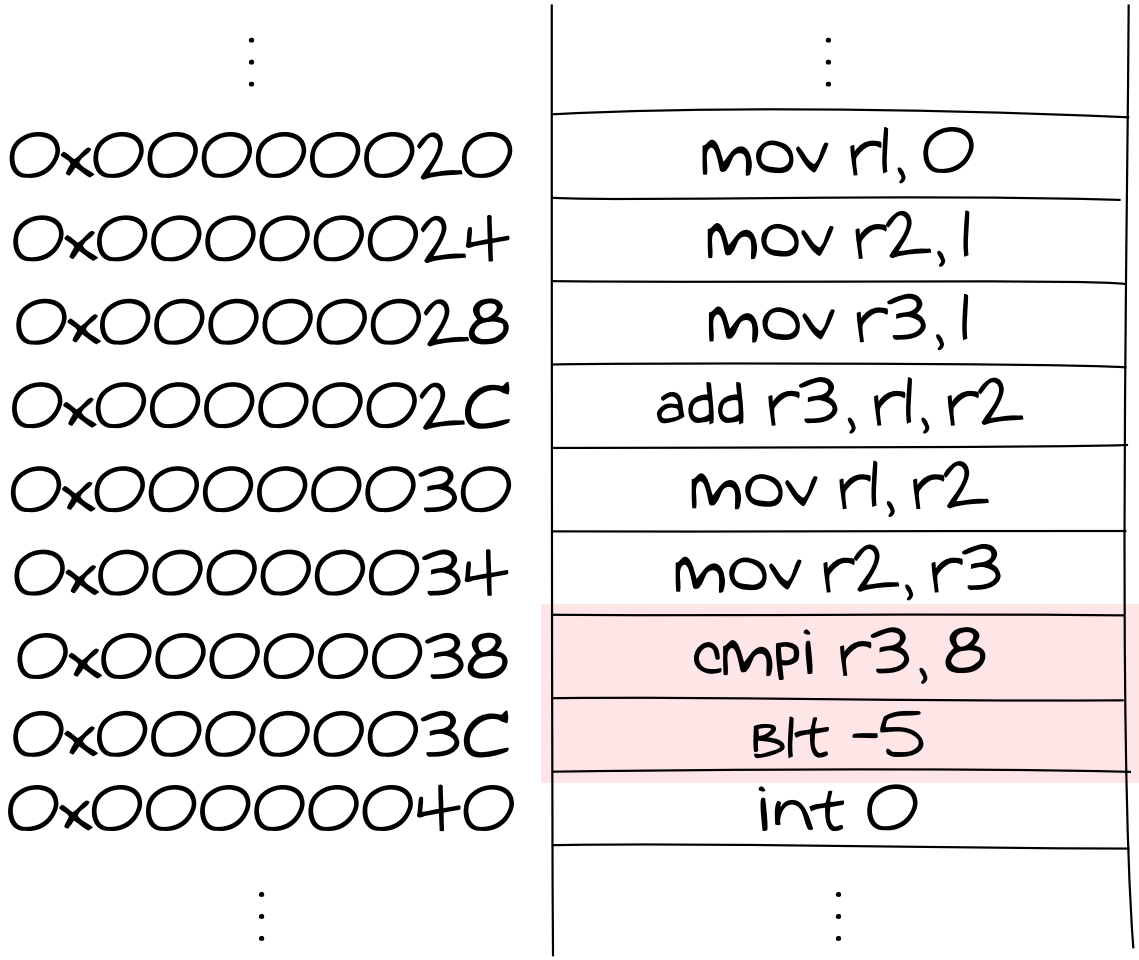
Controle iterativo

- Sentença **do while**



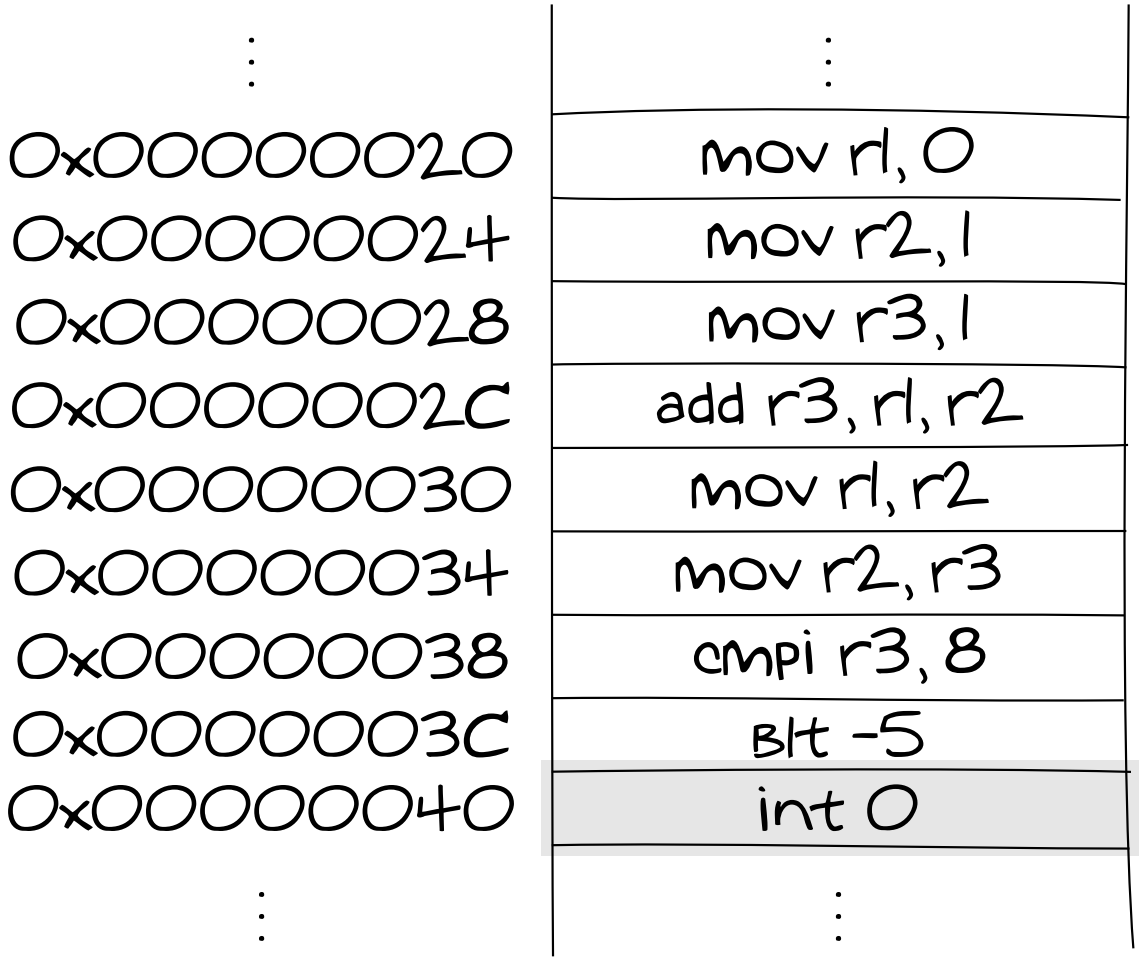
Controle iterativo

- Sentença **do while**



Controle iterativo

- Sentença **do while**



Sub-rotina

- Qual a motivação para utilização de sub-rotina?
  - Depuração de comportamento
  - Modularização e reuso de software
  - Realização de tarefas específicas

Sub-rotina

- Qual a motivação para utilização de sub-rotina?
  - Depuração de comportamento
  - Modularização e reuso de software
  - Realização de tarefas específicas
- Etapas na execução de uma sub-rotina
  1. Preparação dos argumentos
  2. Chamada ou invocação
  3. Execução da sub-rotina
  4. Retorno ao fluxo anterior

Sub-rotina

- Qual a motivação para utilização de sub-rotina?
  - Depuração de comportamento
  - Modularização e reuso de software
  - Realização de tarefas específicas
- Etapas na execução de uma sub-rotina
  1. Preparação dos argumentos
     - Os parâmetros de entrada e de saída da sub-rotina podem ser passados via pilha ou registradores
  2. Chamada ou invocação
  3. Execução da sub-rotina
  4. Retorno ao fluxo anterior

Sub-rotina

- Qual a motivação para utilização de sub-rotina?
  - Depuração de comportamento
  - Modularização e reuso de software
  - Realização de tarefas específicas
- Etapas na execução de uma sub-rotina
  1. Preparação dos argumentos
  2. Chamada ou invocação
     - Antes do PC ser atualizado com o endereço da sub-rotina, o valor PC + 4 referente próxima instrução é salvo na pilha (endereço de retorno)
  3. Execução da sub-rotina
  4. Retorno ao fluxo anterior

Sub-rotina

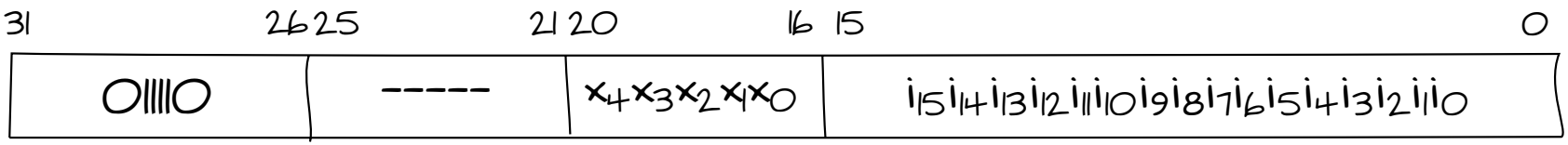
- Qual a motivação para utilização de sub-rotina?
  - Depuração de comportamento
  - Modularização e reuso de software
  - Realização de tarefas específicas
- Etapas na execução de uma sub-rotina
  1. Preparação dos argumentos
  2. Chamada ou invocação
  3. Execução da sub-rotina
     - O comportamento descrito na função ou procedimento é executado, sendo de responsabilidade do programador o salvamento e a restauração do contexto
  4. Retorno ao fluxo anterior

Sub-rotina

- Qual a motivação para utilização de sub-rotina?
  - Depuração de comportamento
  - Modularização e reuso de software
  - Realização de tarefas específicas
- Etapas na execução de uma sub-rotina
  1. Preparação dos argumentos
  2. Chamada ou invocação
  3. Execução da sub-rotina
  4. Retorno ao fluxo anterior
     - No final da execução da sub-rotina, o endereço salvo na pilha é restaurado para o PC, retomando o fluxo antes da chamada da sub-rotina

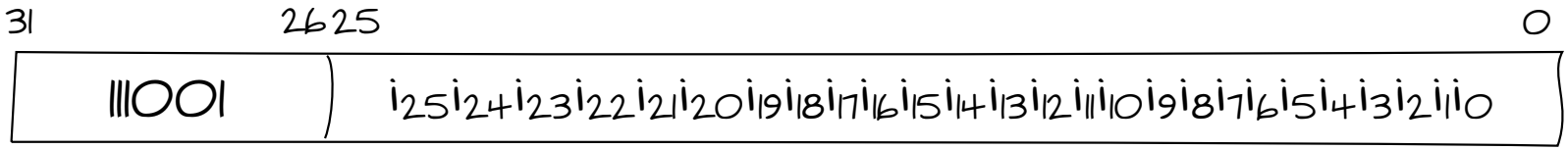
Sub-rotina

- Operação de chamada de sub-rotina (call)
  - Tipo F
  - $MEM[SP] = PC + 4, SP = SP - 4$
  - $PC = \left(R[x] + \overset{16}{i_{15}} : i \right) \ll 2$



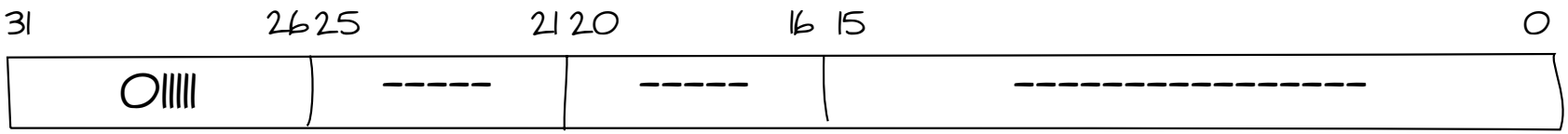
Sub-rotina

- Operação de chamada de sub-rotina (call)
  - Tipo S
  - $MEM[SP] = PC + 4, SP = SP - 4$
  - $PC = PC + 4 + \left[\left(i_{25}^{6} : i\right) \ll 2\right]$



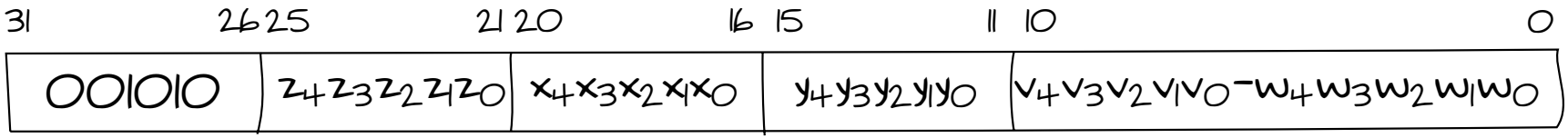
Sub-rotina

- Operação de retorno de sub-rotina (ret)
  - Tipo F
  - $SP = SP + 4, PC = MEM[SP]$



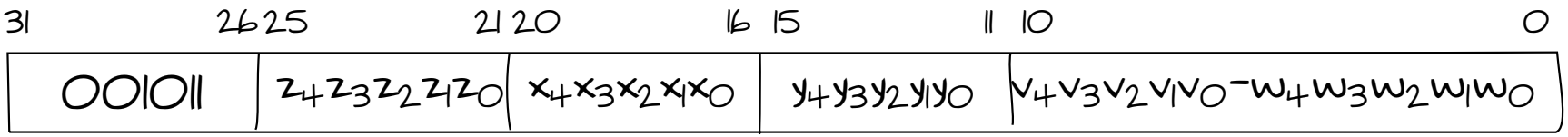
Sub-rotina

- Operação de empilhamento (push)
  - Tipo U
  - $i = v, w, x, y, z$
  - $i \neq 0 \rightarrow MEM[SP] = R[i], SP = SP - 4$



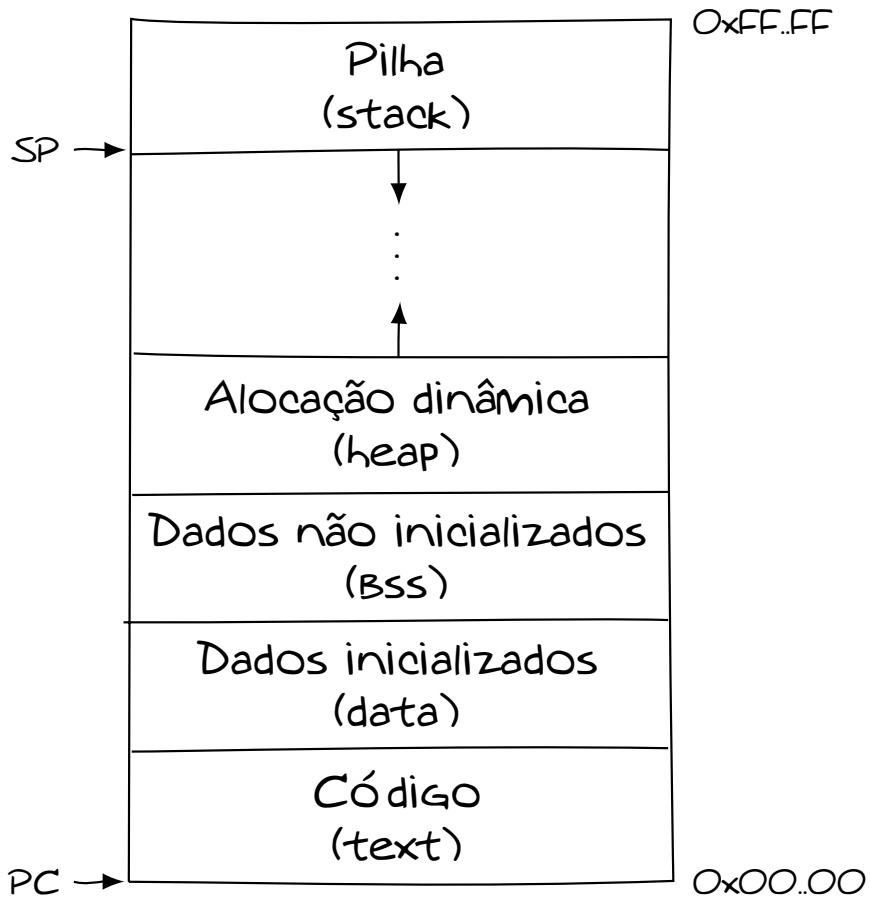
Sub-rotina

- Operação de desempilhamento (pop)
  - Tipo U
  - $i = v, w, x, y, z$
  - $i \neq 0 \rightarrow SP = SP + 4, R[i] = MEM[SP]$



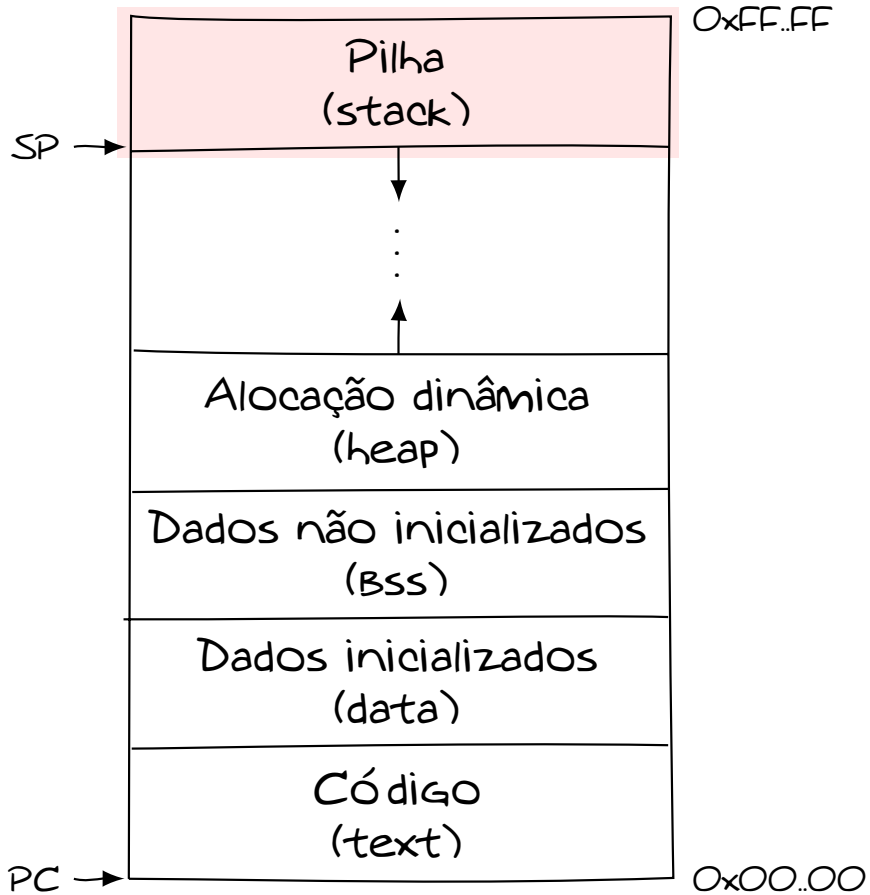
Sub-rotina

- Estrutura de pilha na memória
  - A inserção decrementa e a remoção incrementa o valor do ponteiro do topo da pilha (SP)



Sub-rotina

- Estrutura de pilha na memória
  - A inserção decrementa e a remoção incrementa o valor do ponteiro do topo da pilha (SP)



Alocação estática, passagem de parâmetros e suporte para chamadas aninhadas/recursivas

Sub-rotina

- Implementação da função fatorial recursiva

```
1  // Inteiros com tamanho fixo
2  #include <stdint.h>
3  // Função fatorial
4  uint32_t fatorial(uint32_t n) {
5      // Caso base
6      if(n == 0) return 1;
7      // Caso recursivo
8      else return n * fatorial(n - 1);
9  }
10 // Função principal
11 int main() {
12     // fatorial(3)
13     uint32_t r = fatorial(3);
14     // Retorno sem erros
15     return 0;
16 }
```

Sub-rotina

- Implementação da função fatorial recursiva

```
1   // Função fatorial
2   fatorial:
3       // Caso base
4       cmpi r1, 0
5       bne 2
6       mov r2, 1
7       bun 5
8       // Caso recursivo
9       push r1
10      subi r1, r1, 1
11      call fatorial
12      pop r1
13      mul r2, r2, r1
14      // Retorno da função
15      ret
...     ...
```

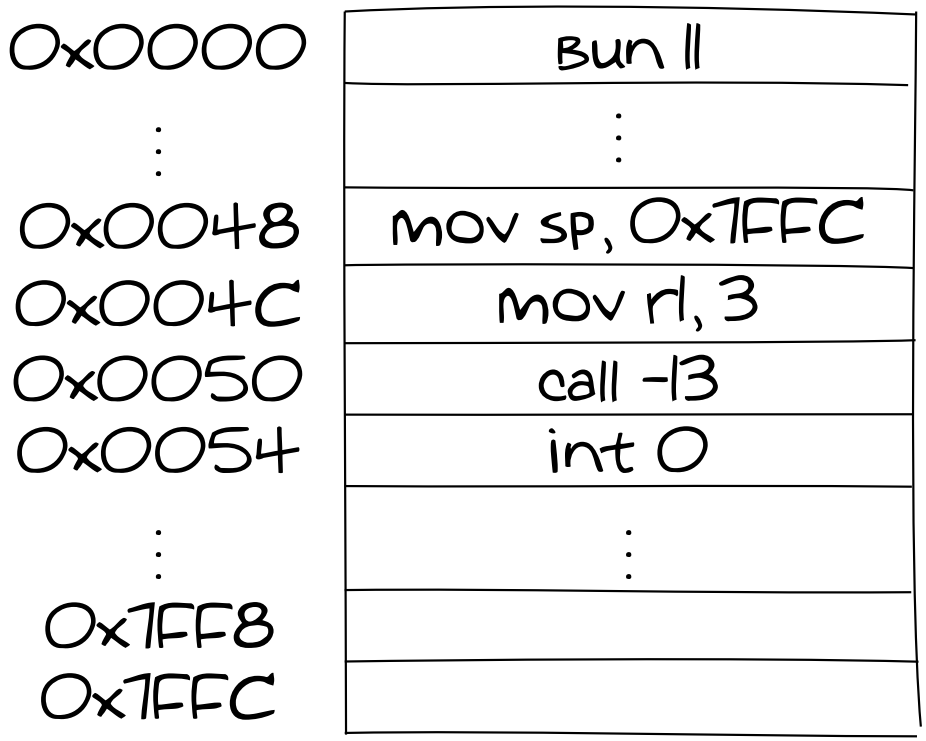
Sub-rotina

- Implementação da função fatorial recursiva

```
1   // Função fatorial
2   fatorial:
... ...
16  // Função principal
17  main:
18      // SP = 32 KiB
19      mov sp, 0x7FFC
20      // fatorial(3)
21      mov r1, 3
22      call fatorial
23      // Fim
24      int 0
```

Sub-rotina

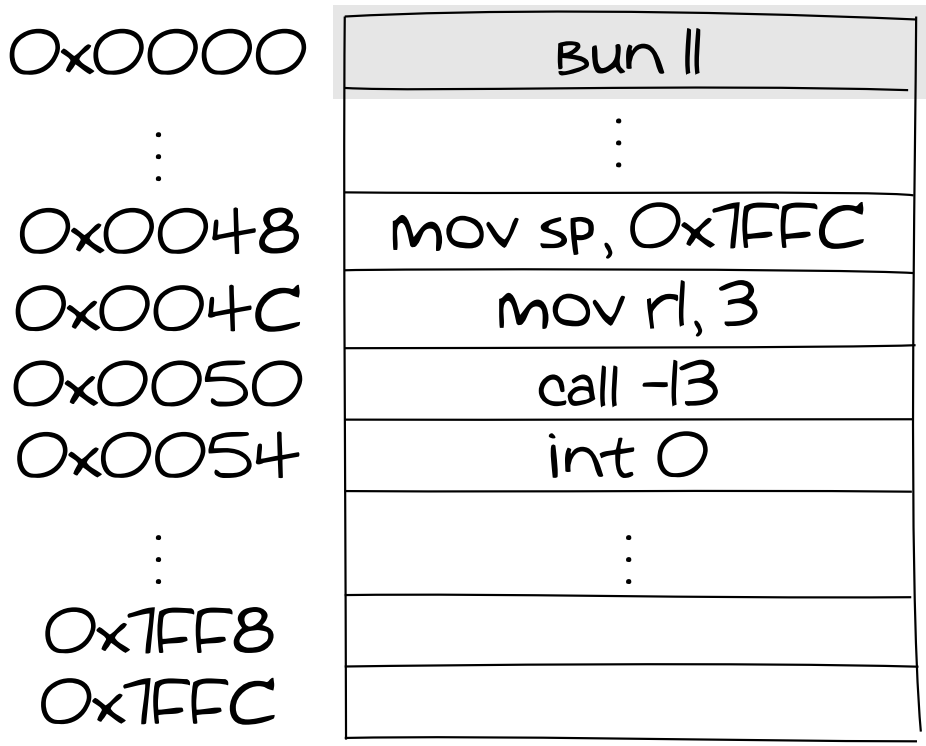
- Execução da função fatorial recursiva



R1 = 0, R2 = 0, SP = 0

Sub-rotina

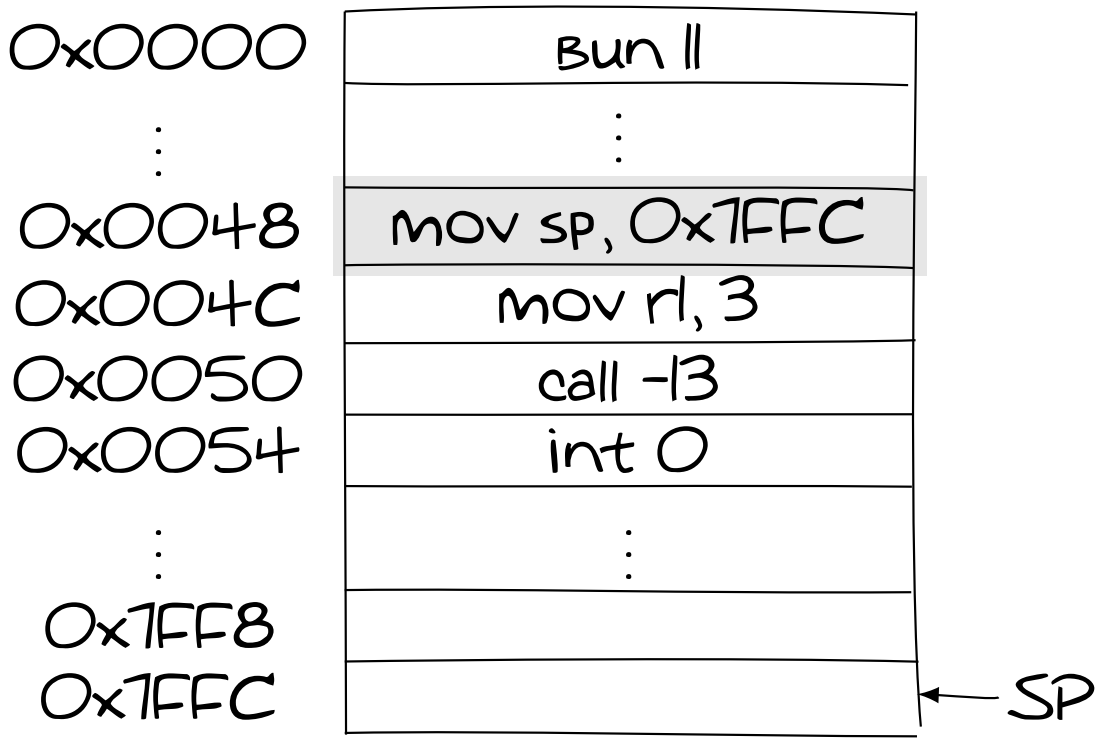
- Execução da função fatorial recursiva



R1 = 0, R2 = 0, SP = 0

Sub-rotina

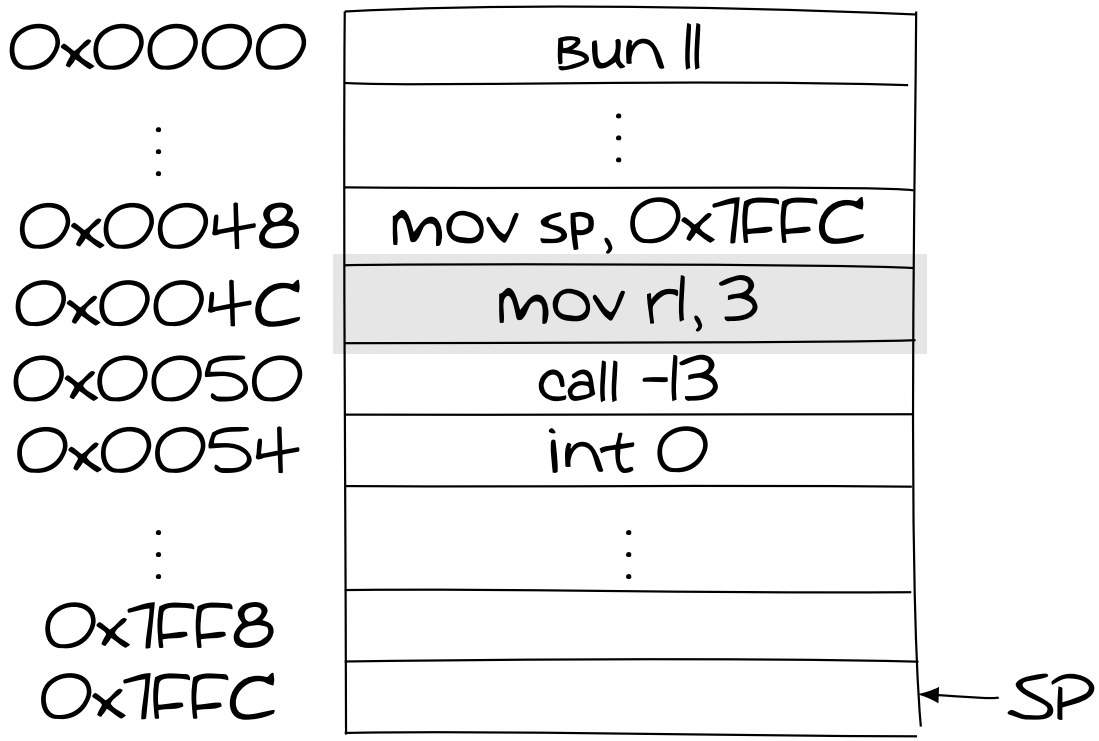
- Execução da função fatorial recursiva



R1 = 0, R2 = 0, SP = 0x7FFC

Sub-rotina

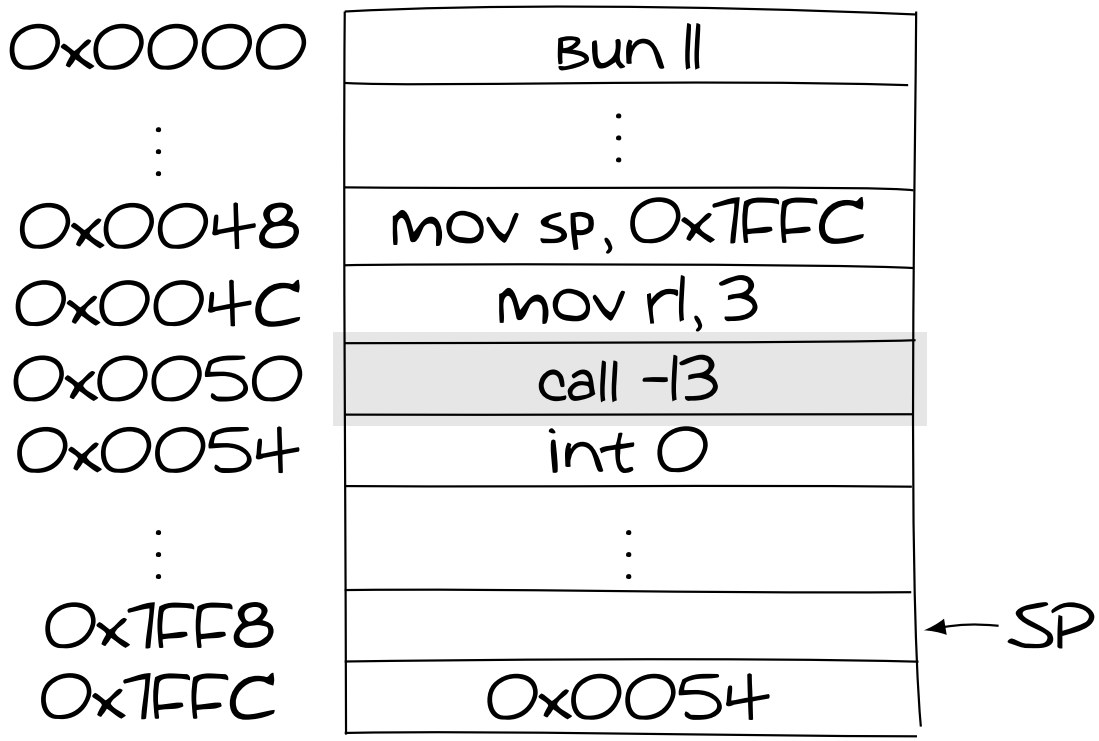
- Execução da função fatorial recursiva



R1 = 3, R2 = 0, SP = 0x7FFC

Sub-rotina

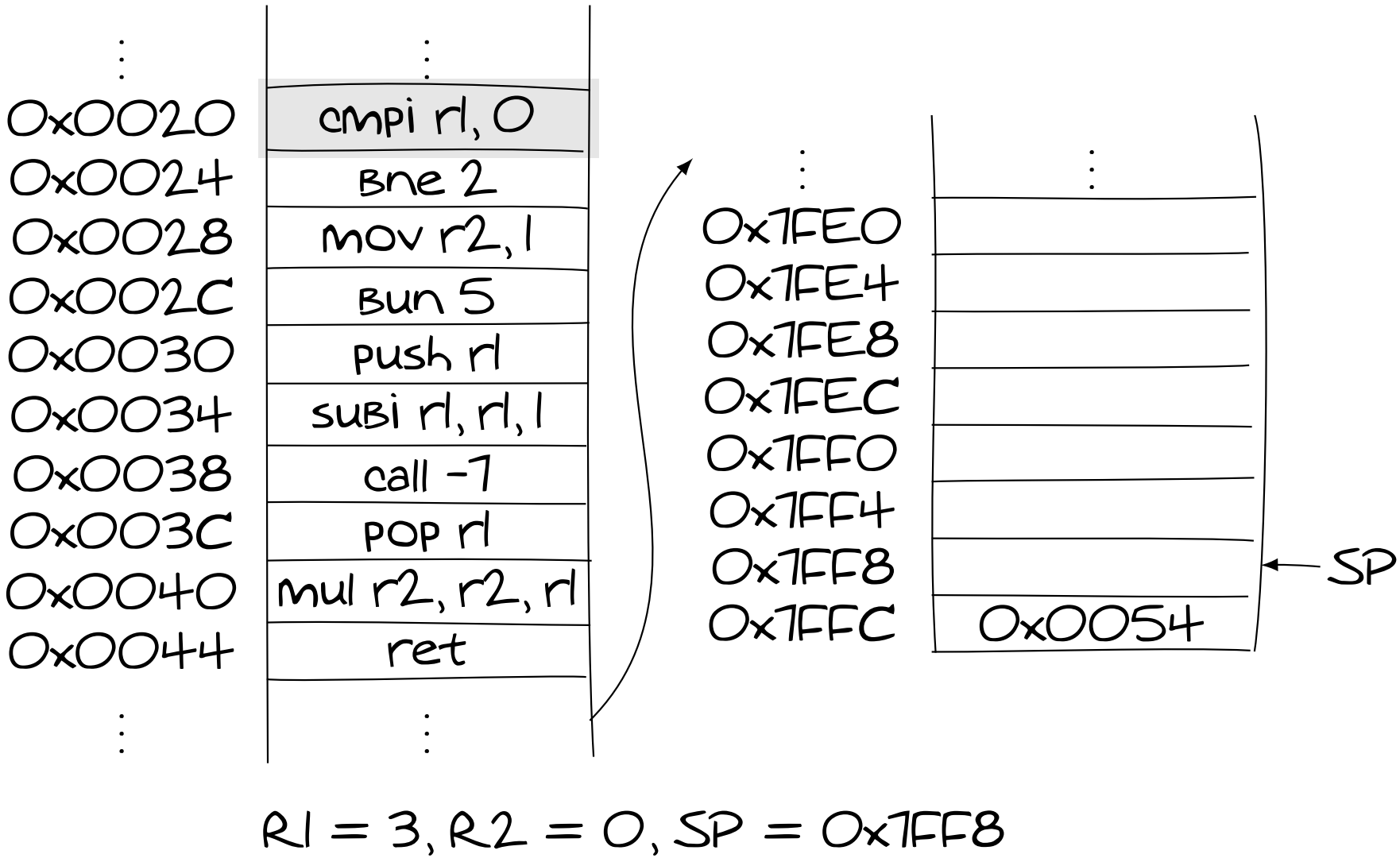
- Execução da função fatorial recursiva



R1 = 3, R2 = 0, SP = 0x7FF8

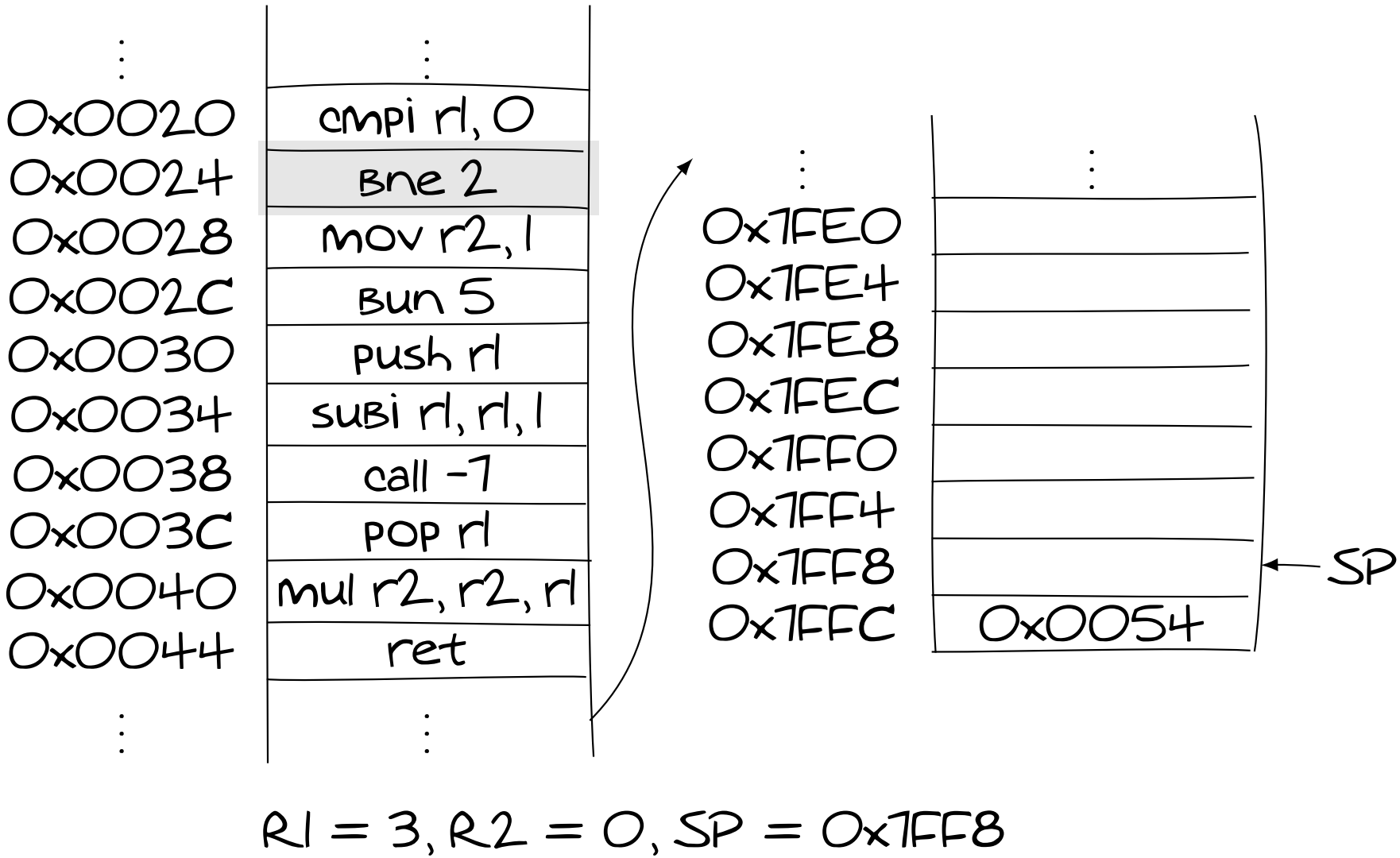
Sub-rotina

- Execução da função fatorial recursiva



Sub-rotina

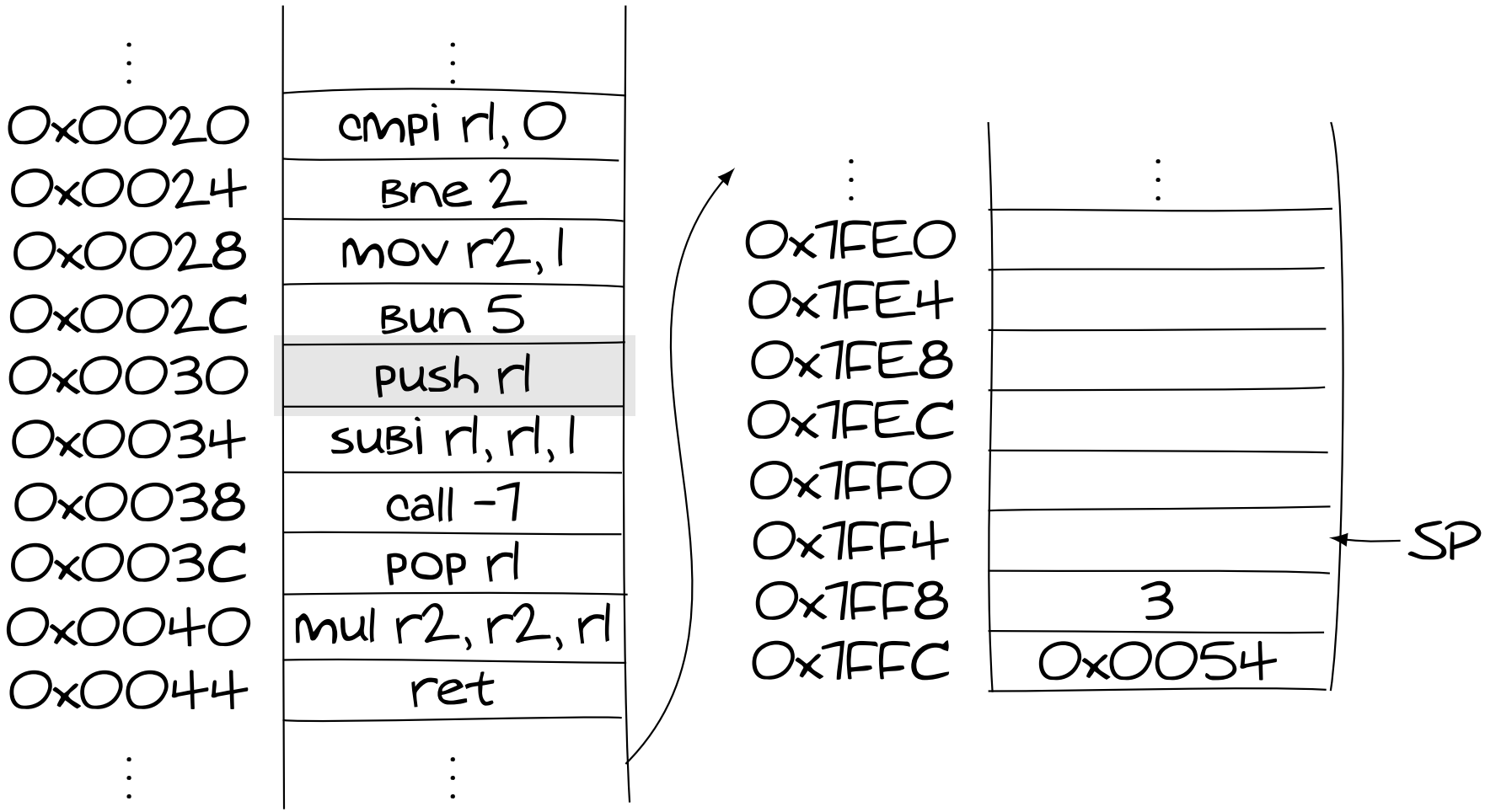
- Execução da função fatorial recursiva



$R1 = 3, R2 = 0, SP = 0x7FF8$

Sub-rotina

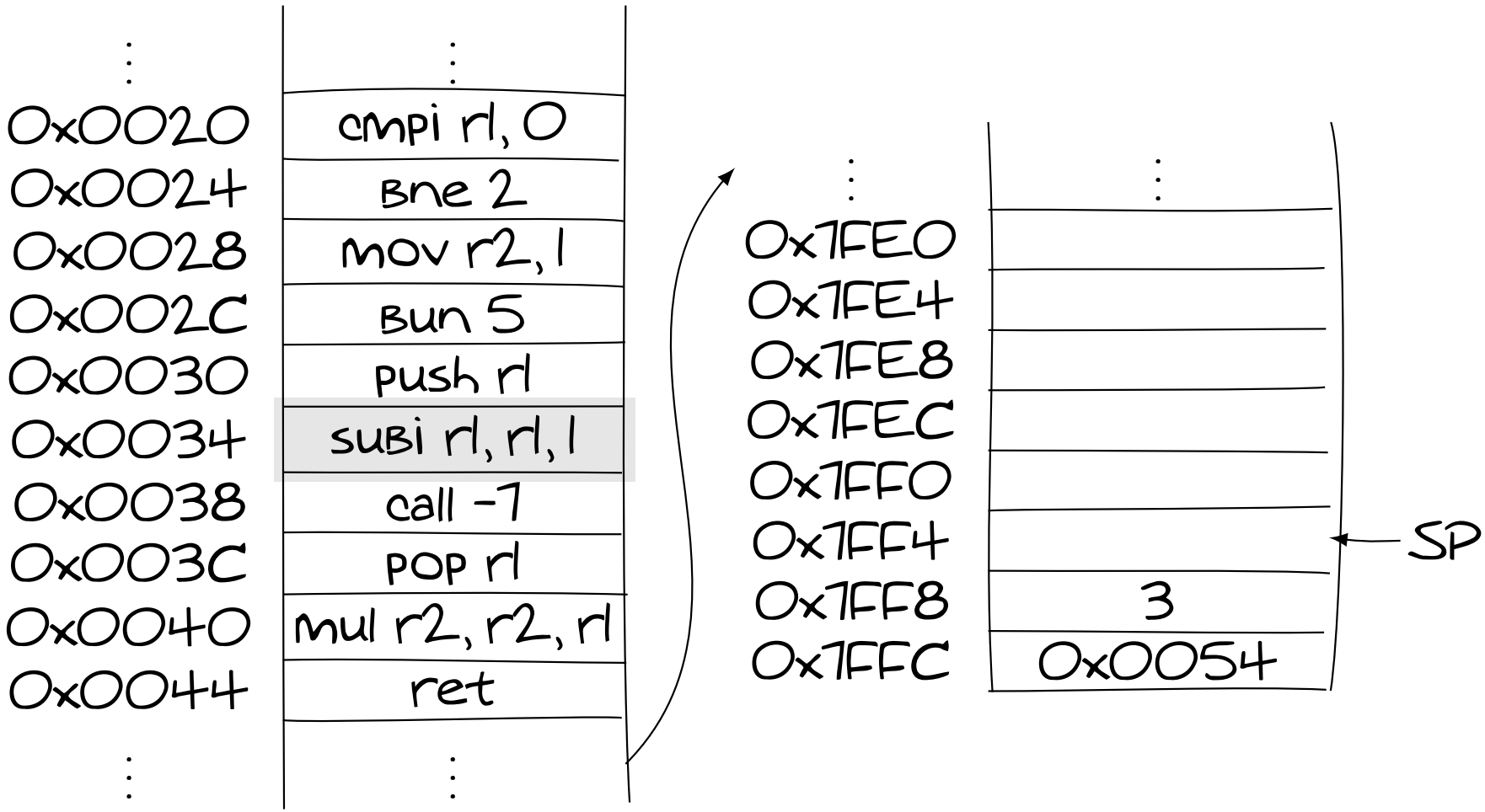
- Execução da função fatorial recursiva



$R1 = 3, R2 = 0, SP = 0x7FF4$

Sub-rotina

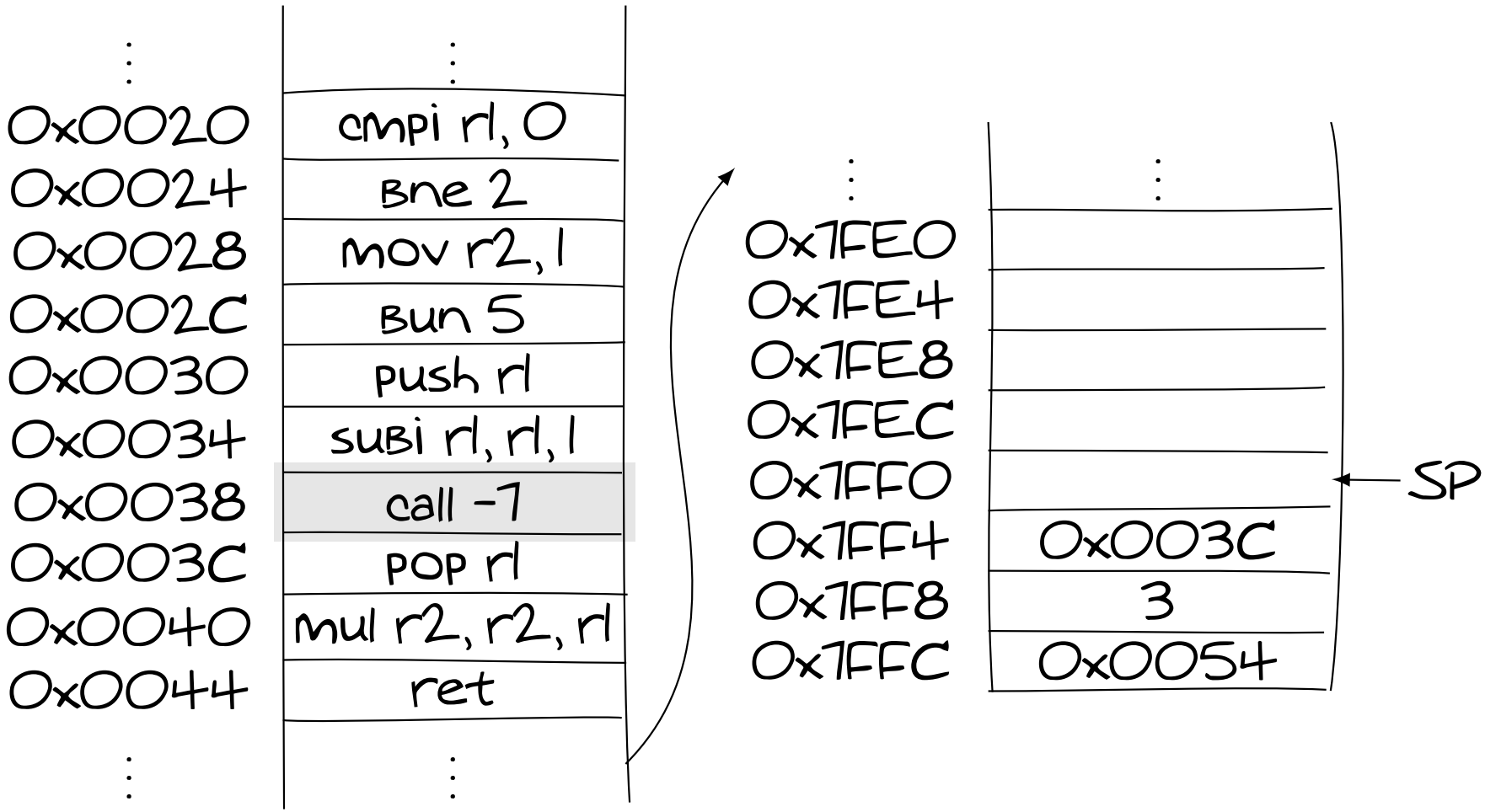
- Execução da função fatorial recursiva



$R1 = 2, R2 = 0, SP = 0x7FF4$

Sub-rotina

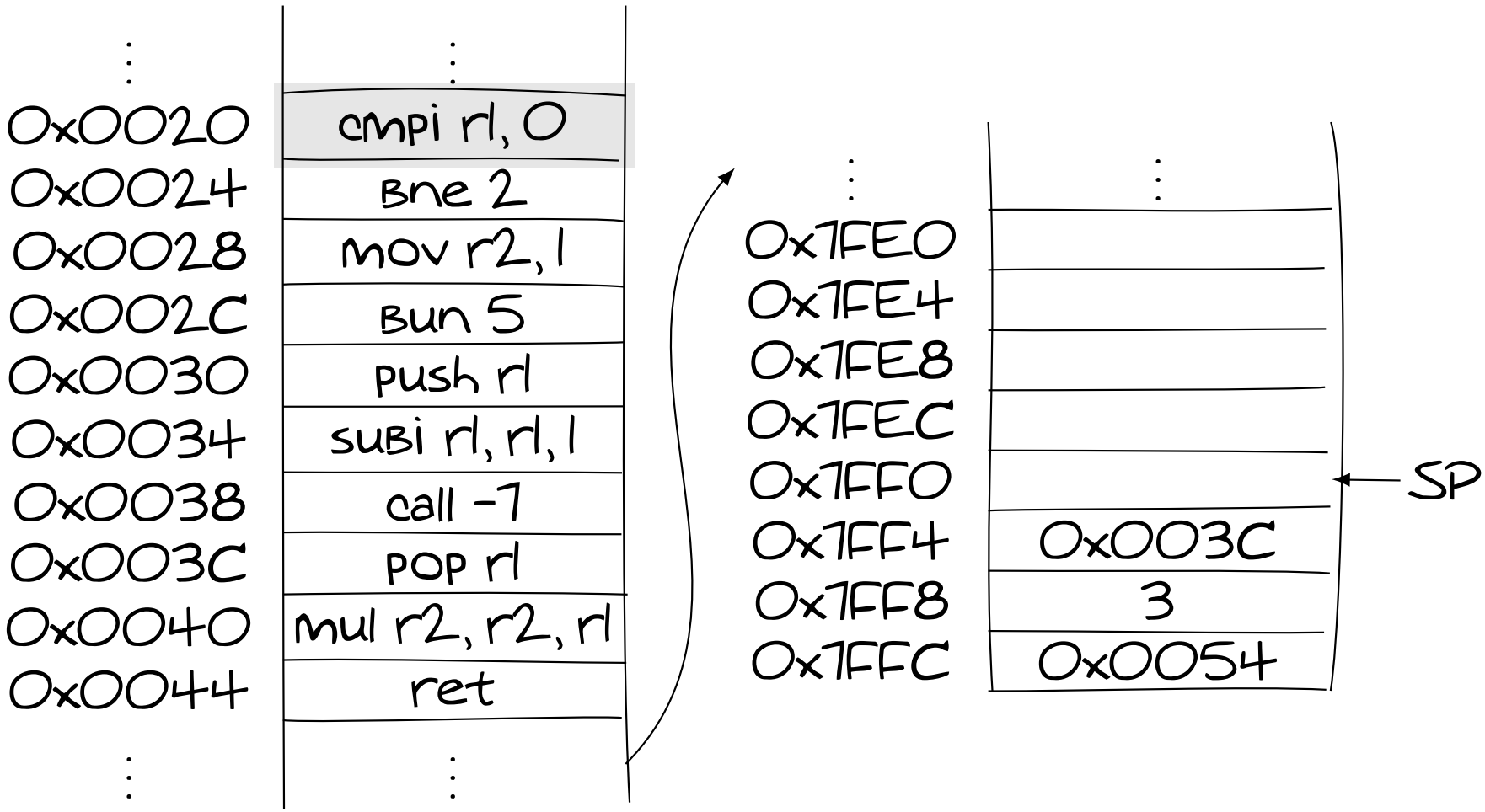
- Execução da função fatorial recursiva



R1 = 2, R2 = 0, SP = 0x7FF0

Sub-rotina

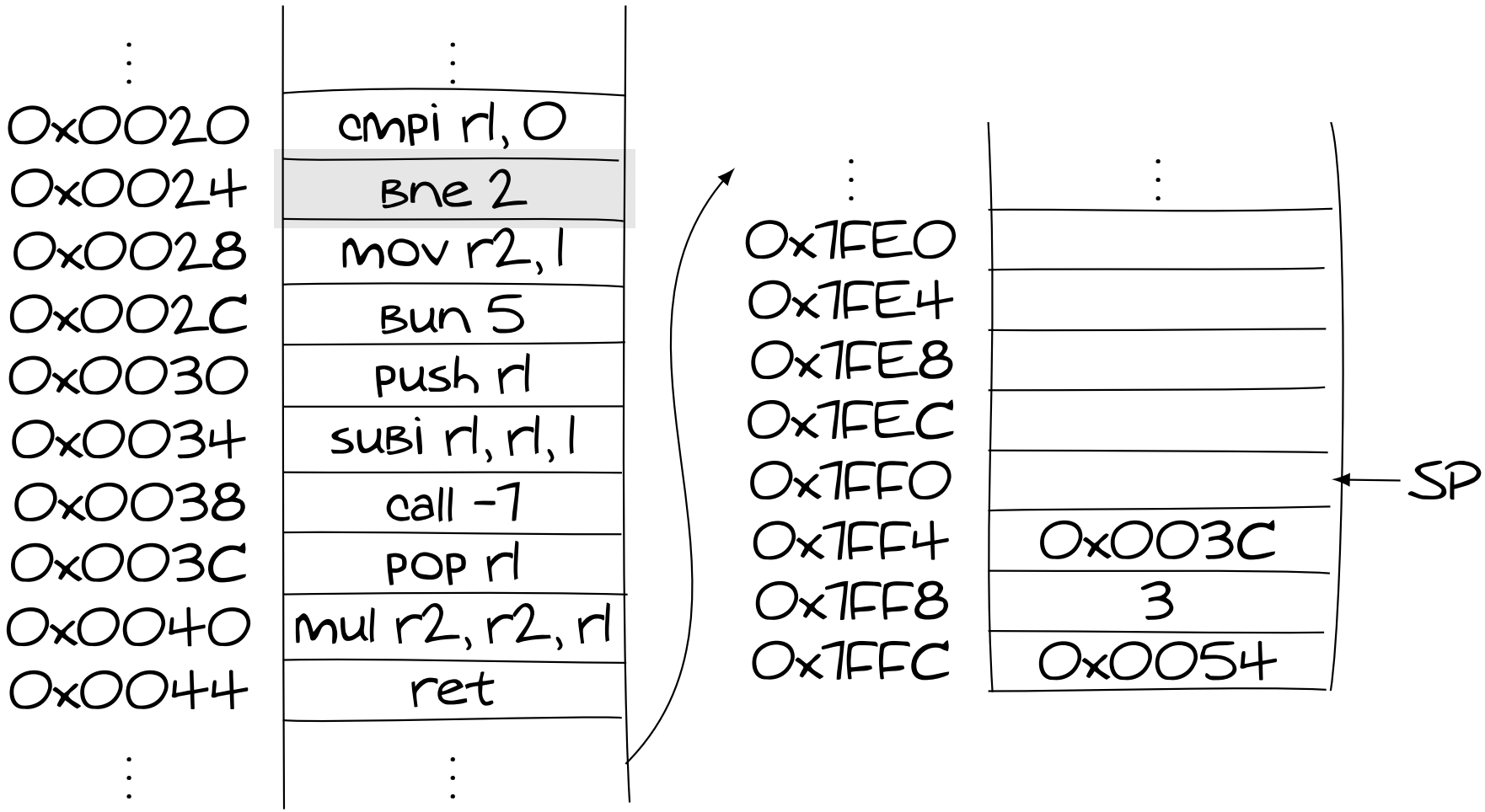
- Execução da função fatorial recursiva



R1 = 2, R2 = 0, SP = 0x7FF0

Sub-rotina

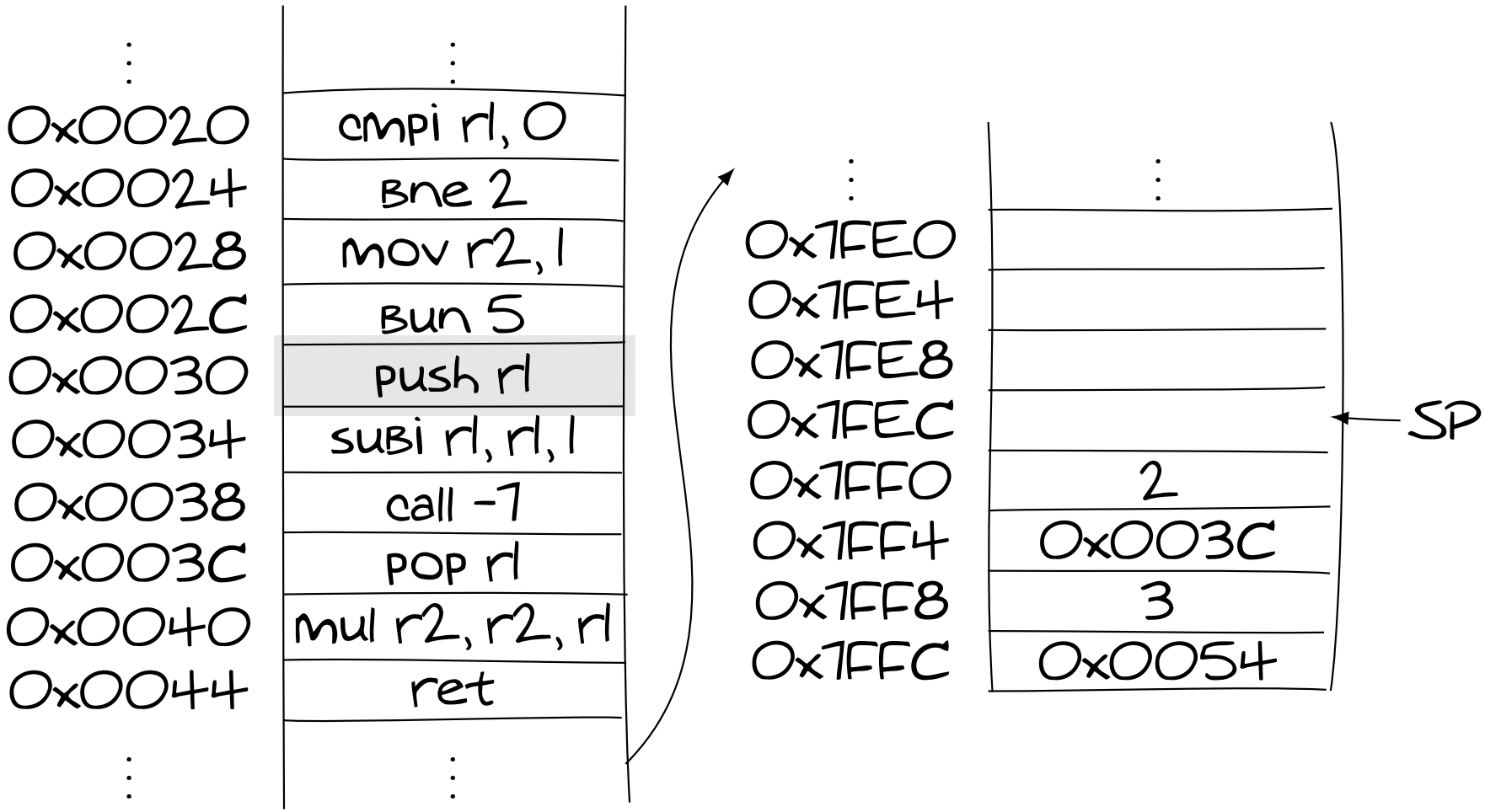
- Execução da função fatorial recursiva



R1 = 2, R2 = 0, SP = 0x7FF0

Sub-rotina

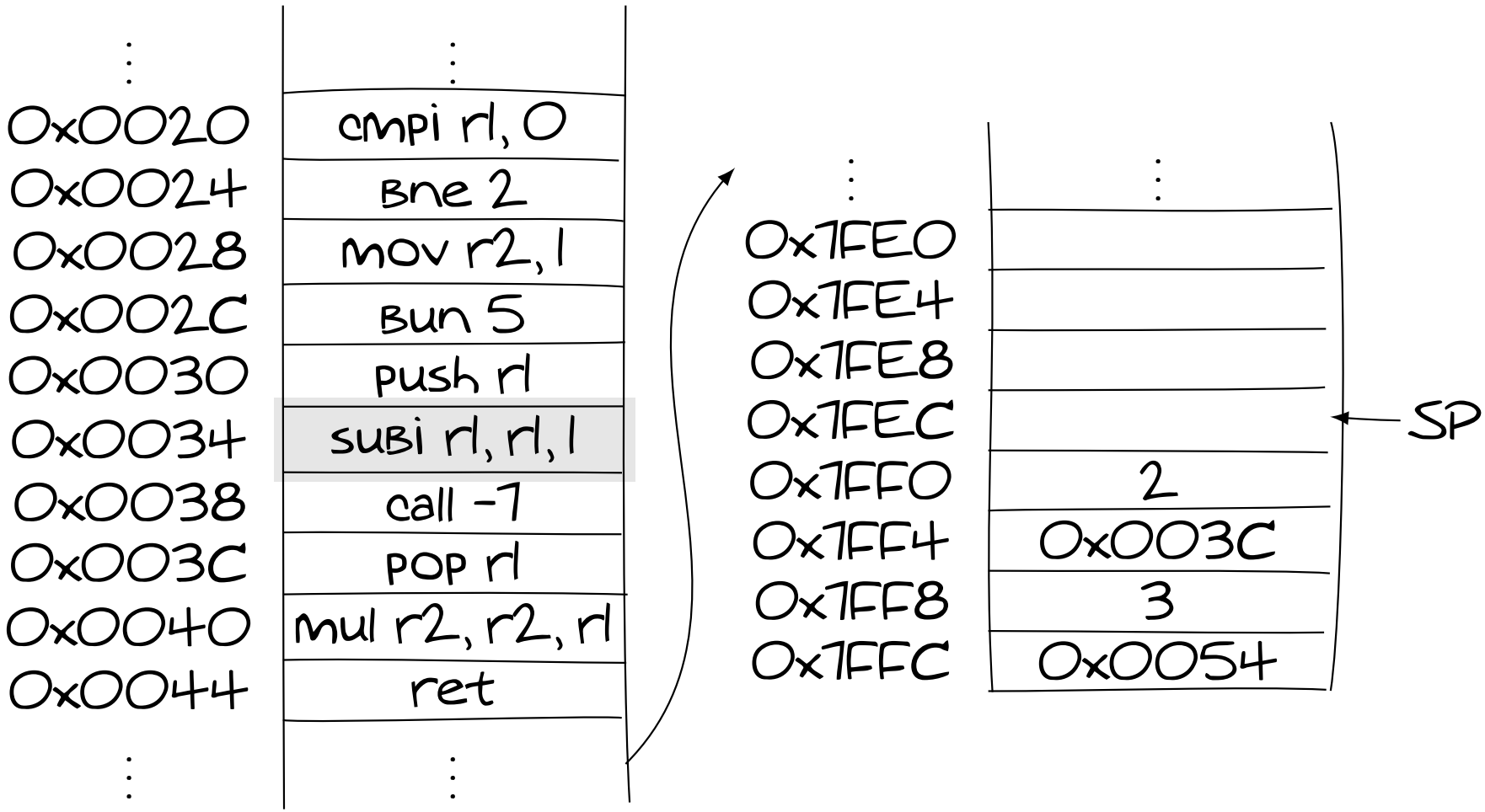
- Execução da função fatorial recursiva



R1 = 2, R2 = 0, SP = 0x7FEC

Sub-rotina

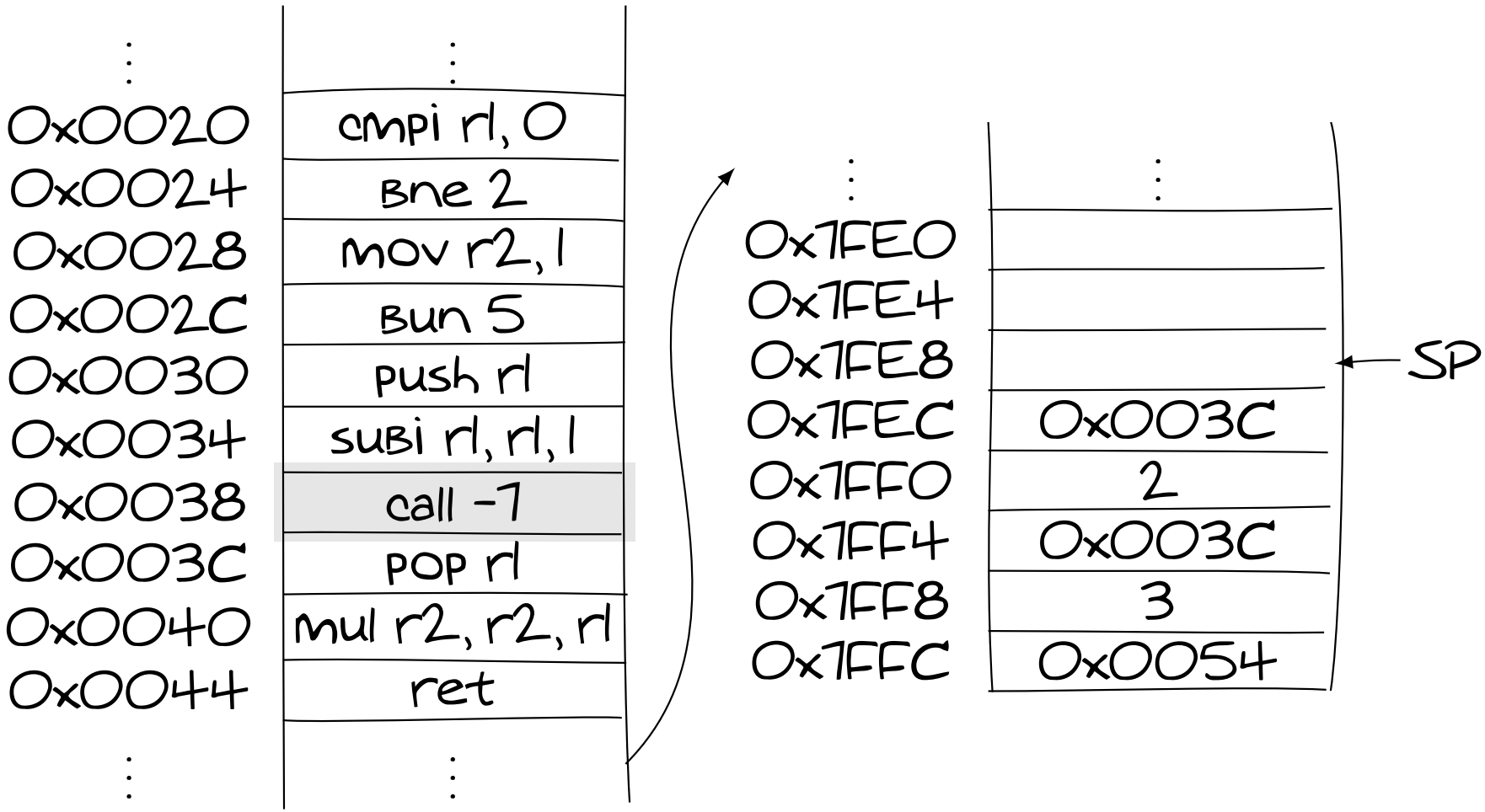
- Execução da função fatorial recursiva



R1 = 1, R2 = 0, SP = 0x7FEC

Sub-rotina

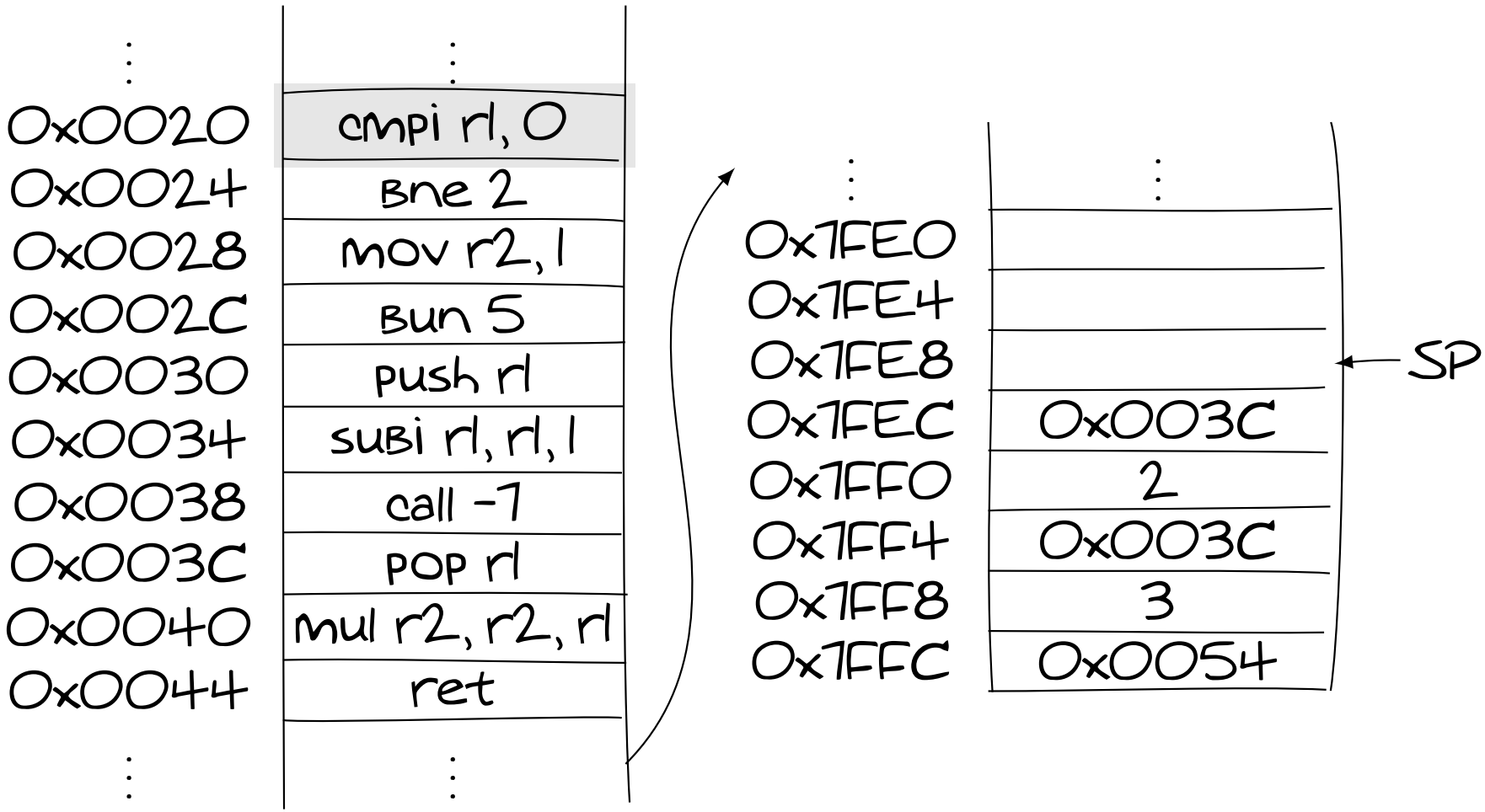
- Execução da função fatorial recursiva



R1 = 1, R2 = 0, SP = 0x7FE8

Sub-rotina

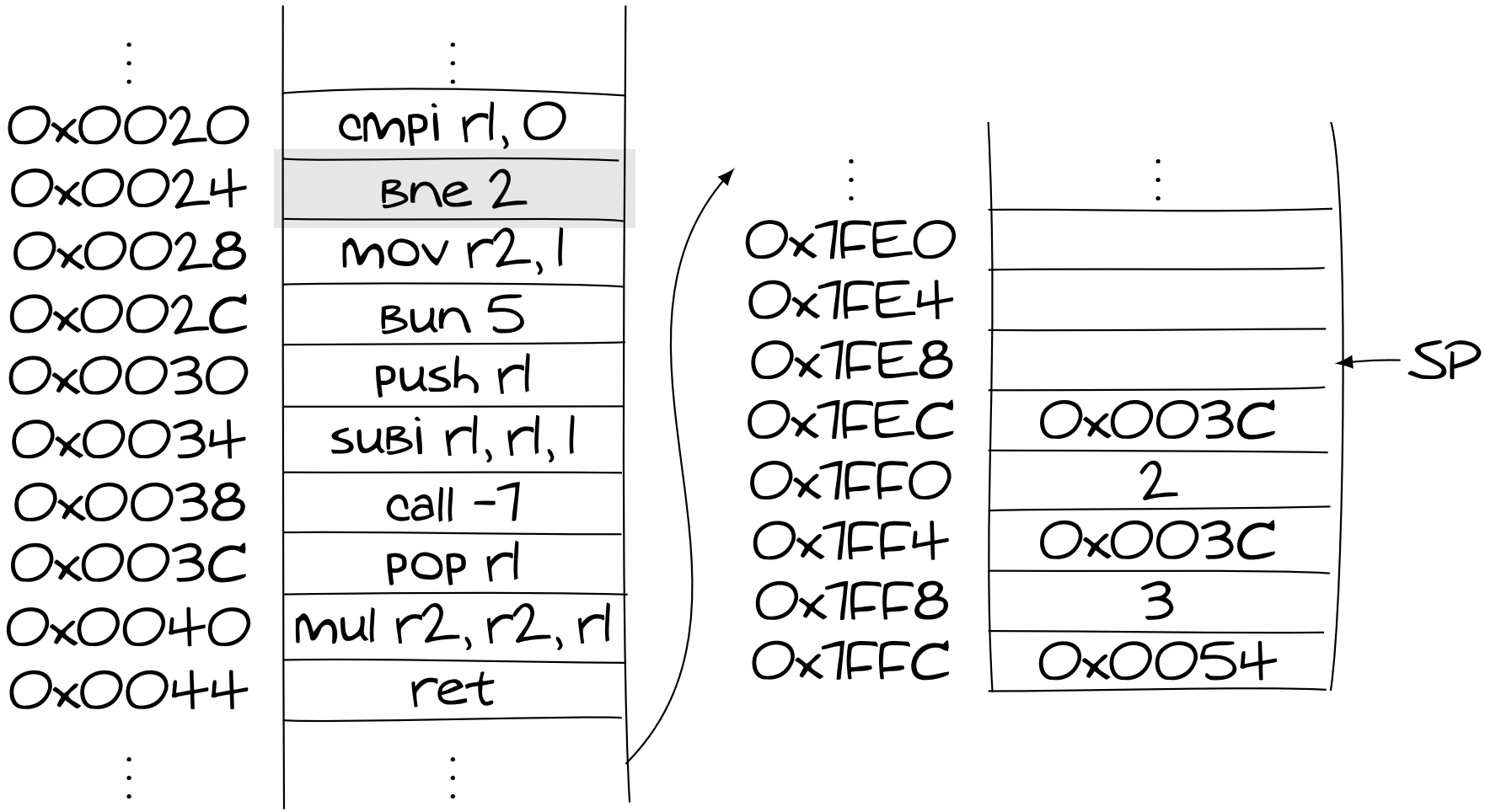
- Execução da função fatorial recursiva



R1 = 1, R2 = 0, SP = 0x7FE8

Sub-rotina

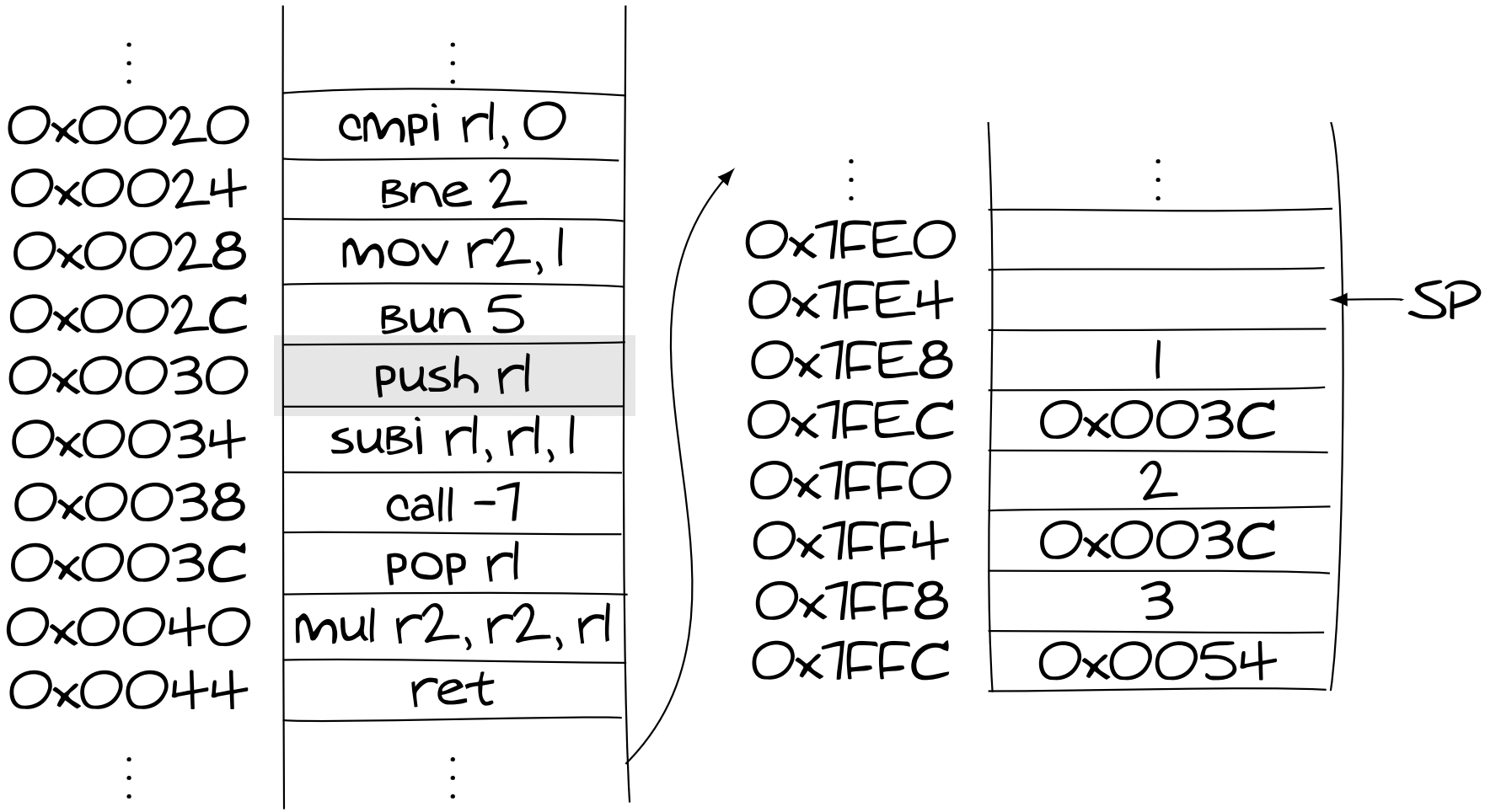
- Execução da função fatorial recursiva



R1 = 1, R2 = 0, SP = 0x7FE8

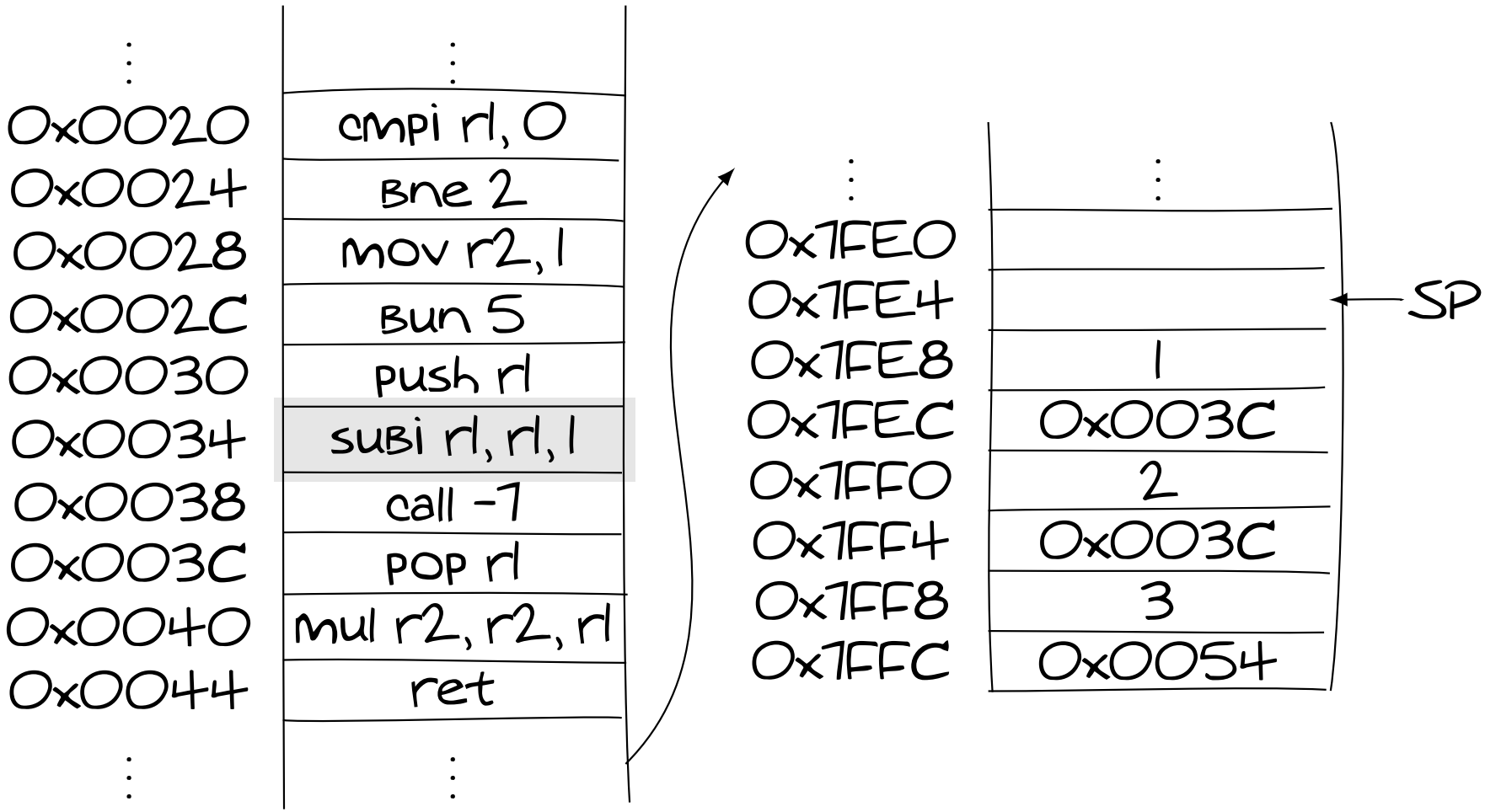
Sub-rotina

- Execução da função fatorial recursiva



Sub-rotina

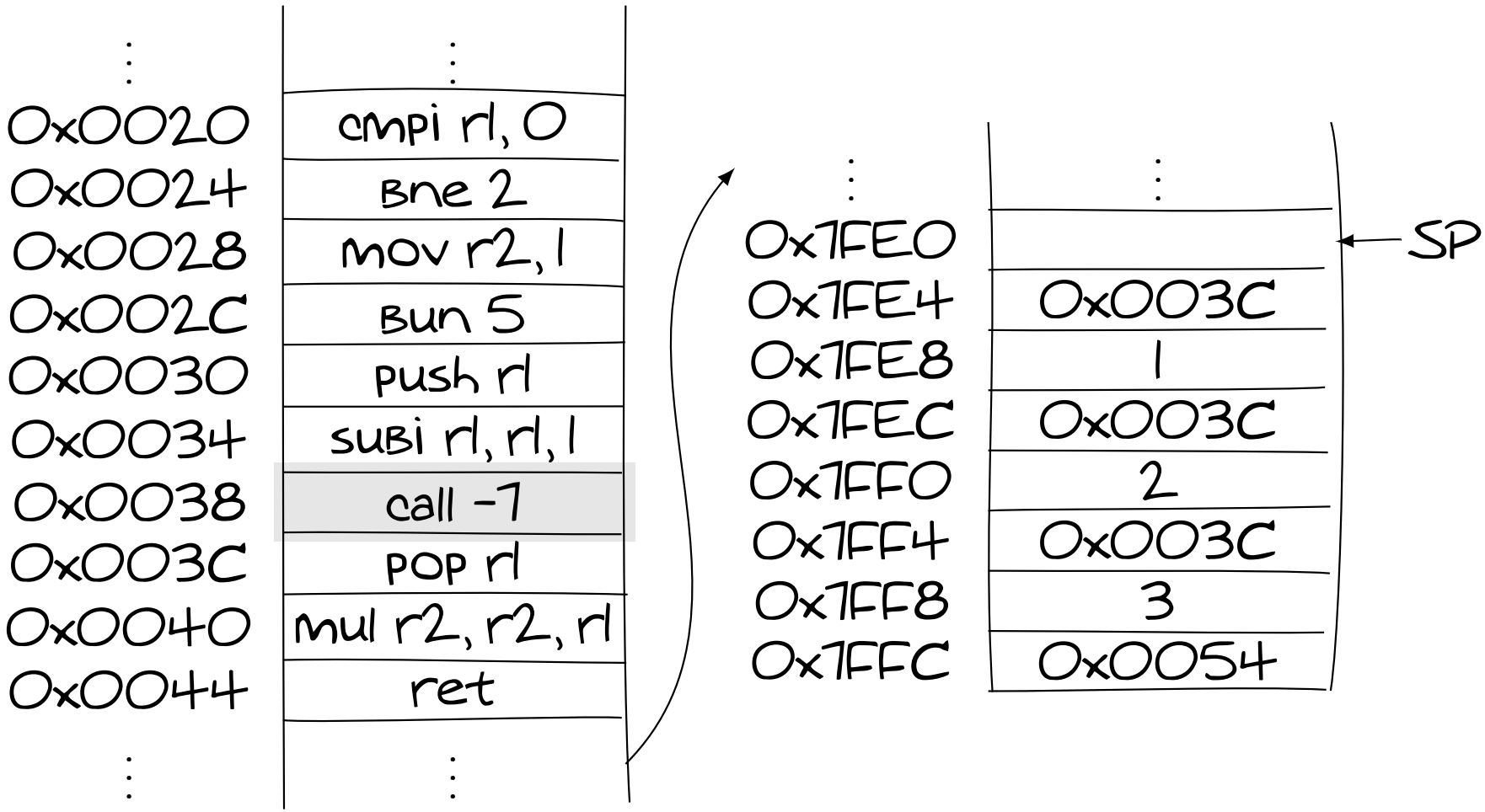
- Execução da função fatorial recursiva



R1 = 0, R2 = 0, SP = 0x7FE4

Sub-rotina

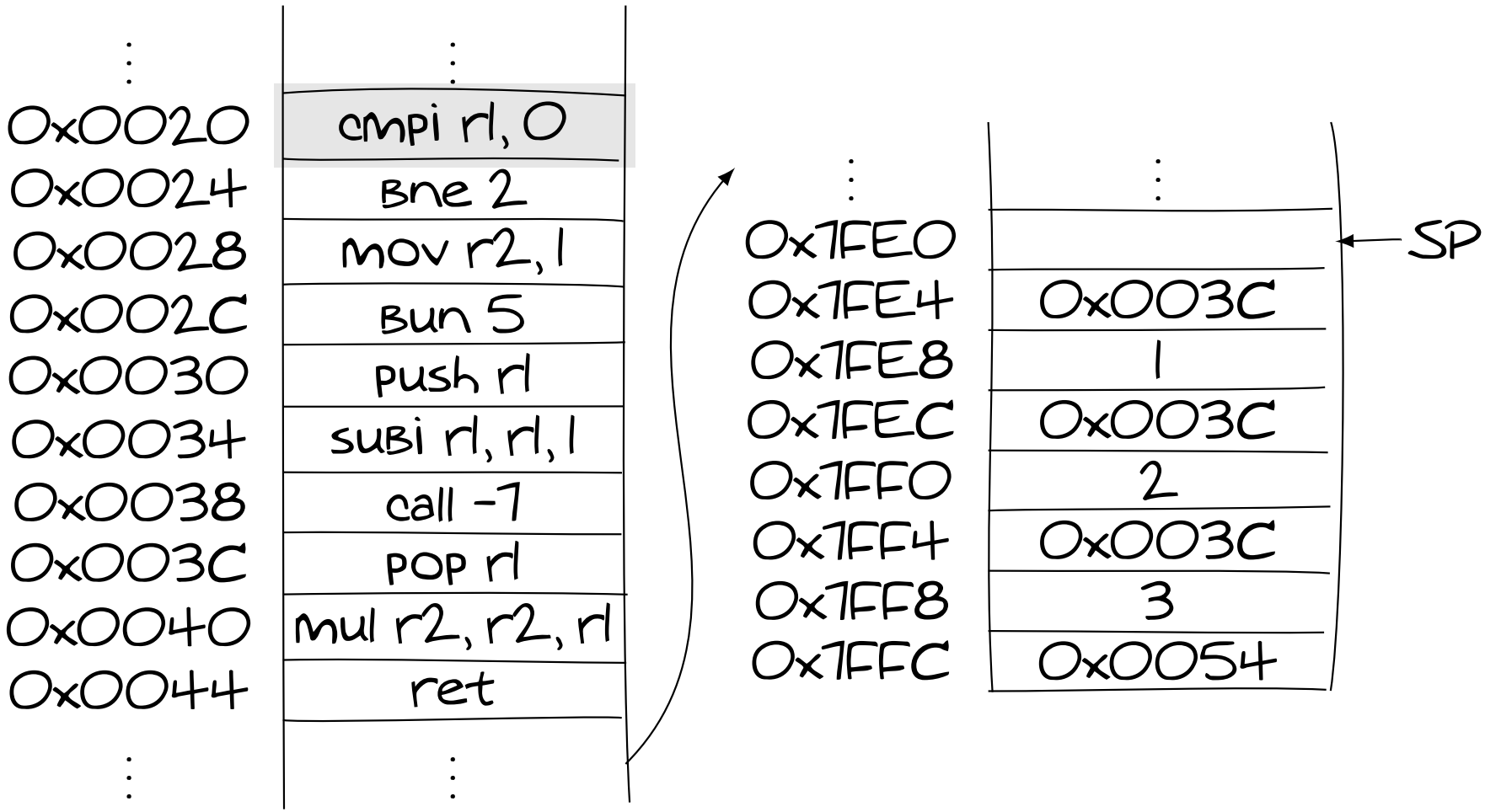
- Execução da função fatorial recursiva



R1 = 0, R2 = 0, SP = 0x7FE0

Sub-rotina

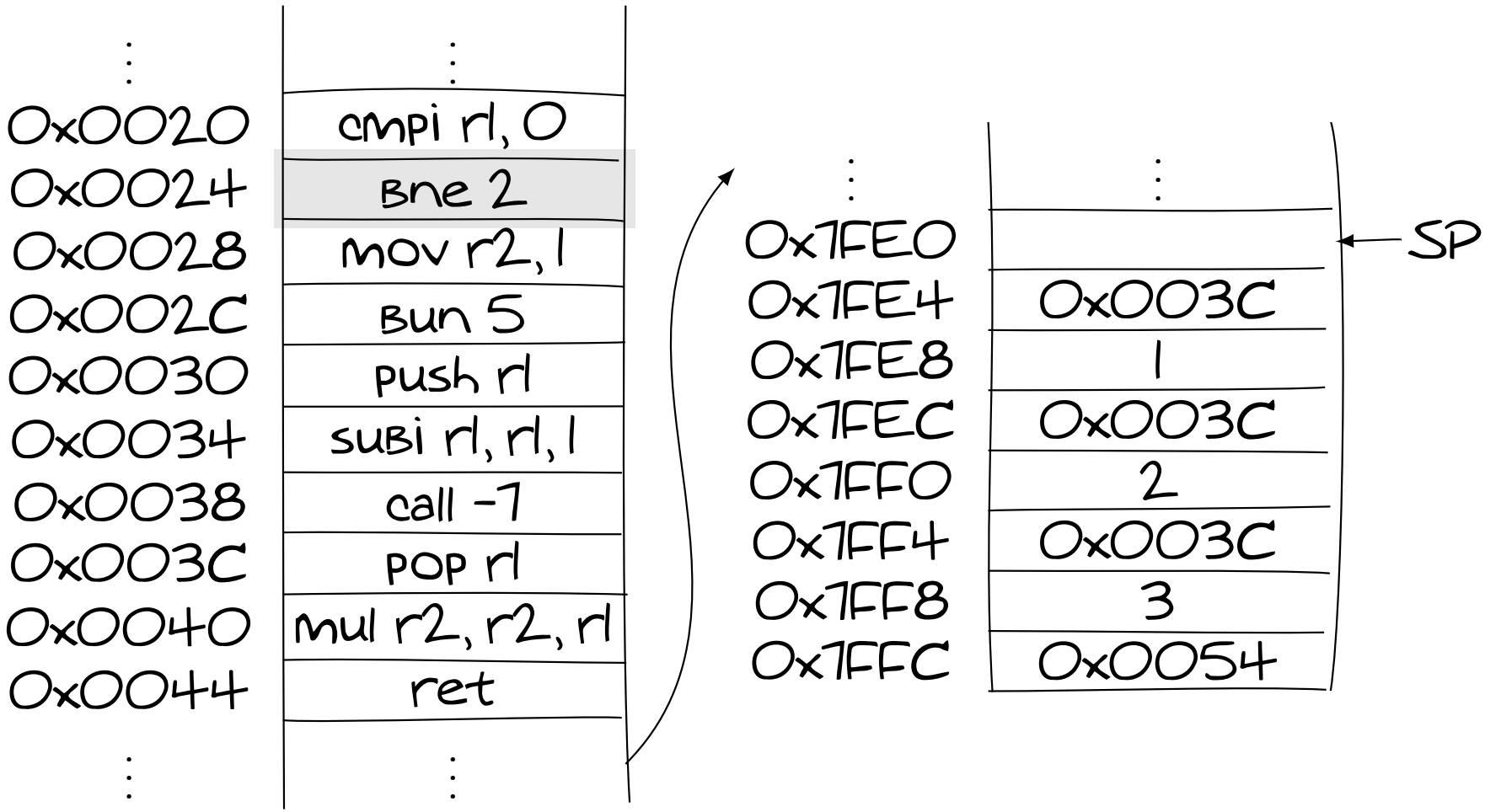
- Execução da função fatorial recursiva



R1 = 0, R2 = 0, SP = 0x7FE0

Sub-rotina

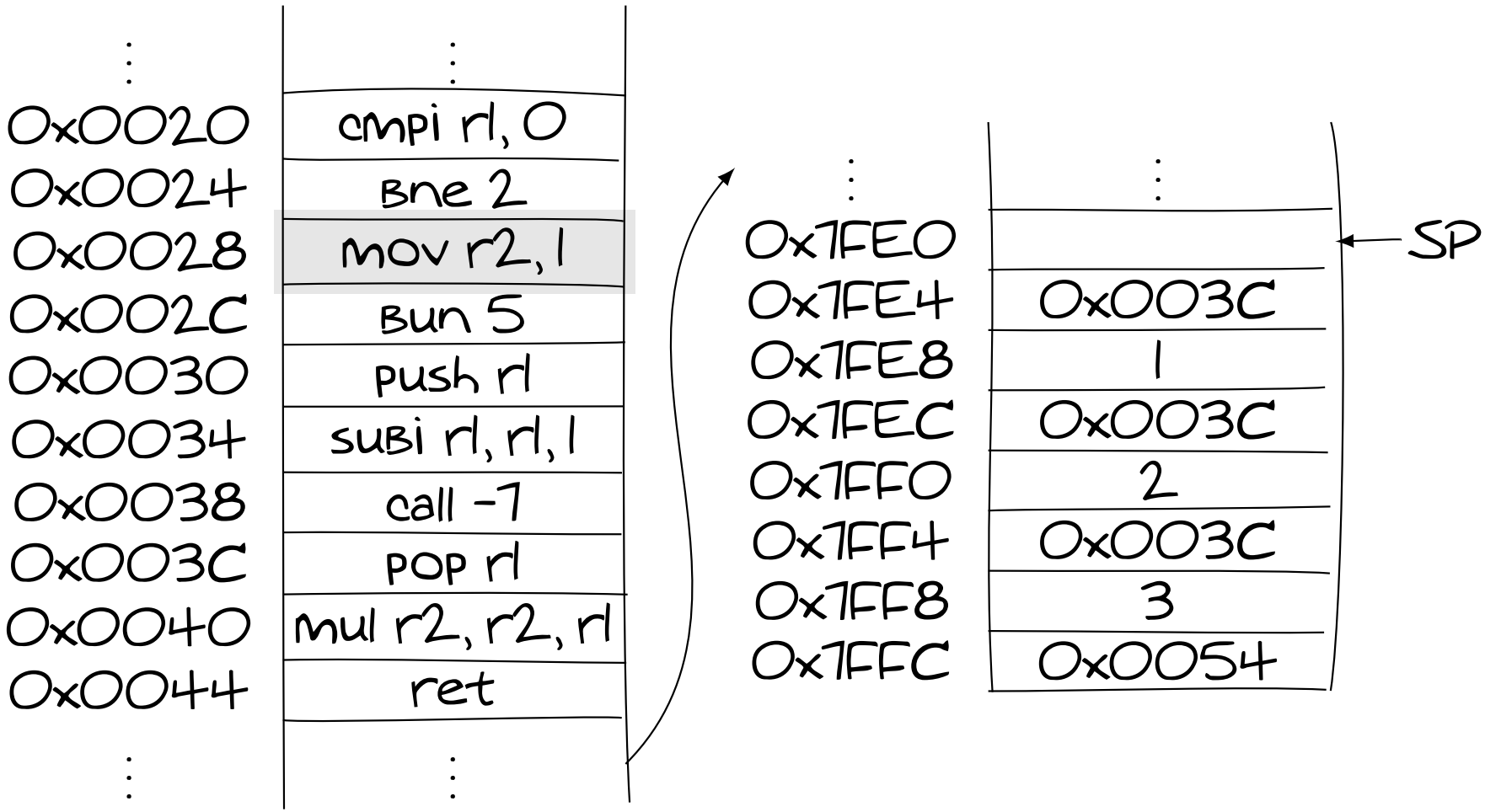
- Execução da função fatorial recursiva



R1 = 0, R2 = 0, SP = 0x7FE0

Sub-rotina

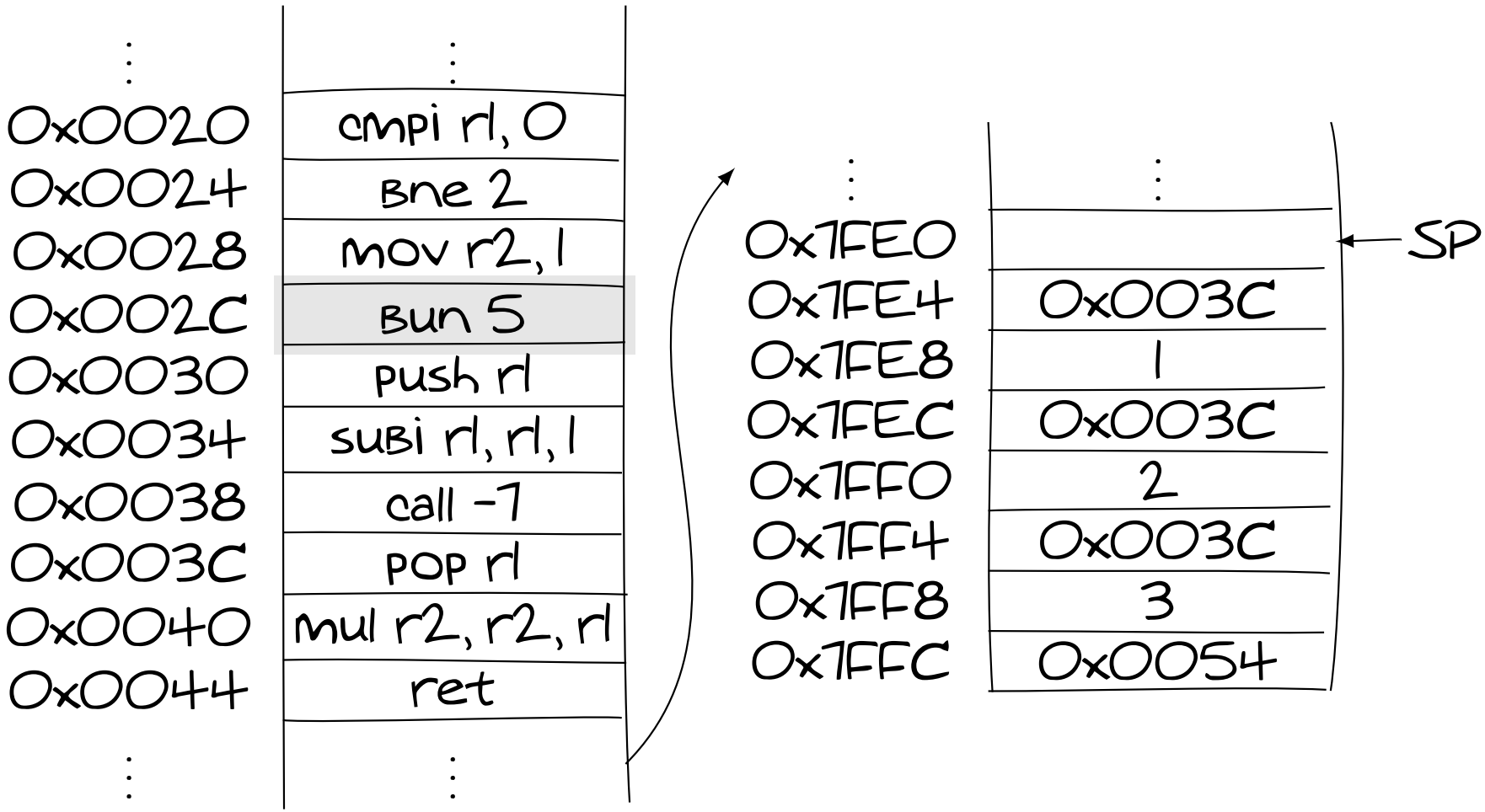
- Execução da função fatorial recursiva



R1 = 0, R2 = 1, SP = 0x7FE0

Sub-rotina

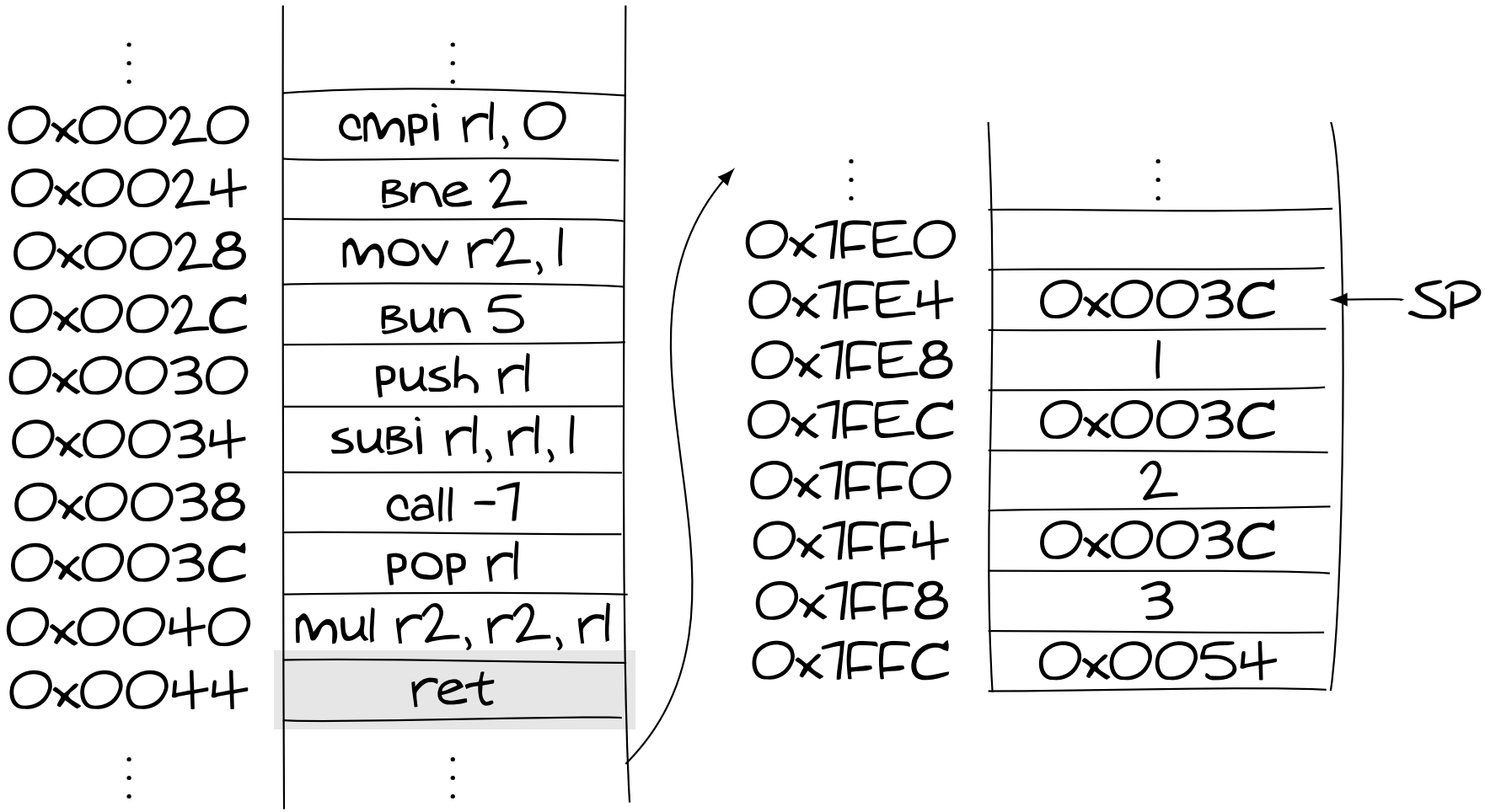
- Execução da função fatorial recursiva



R1 = 0, R2 = 1, SP = 0x7FE0

Sub-rotina

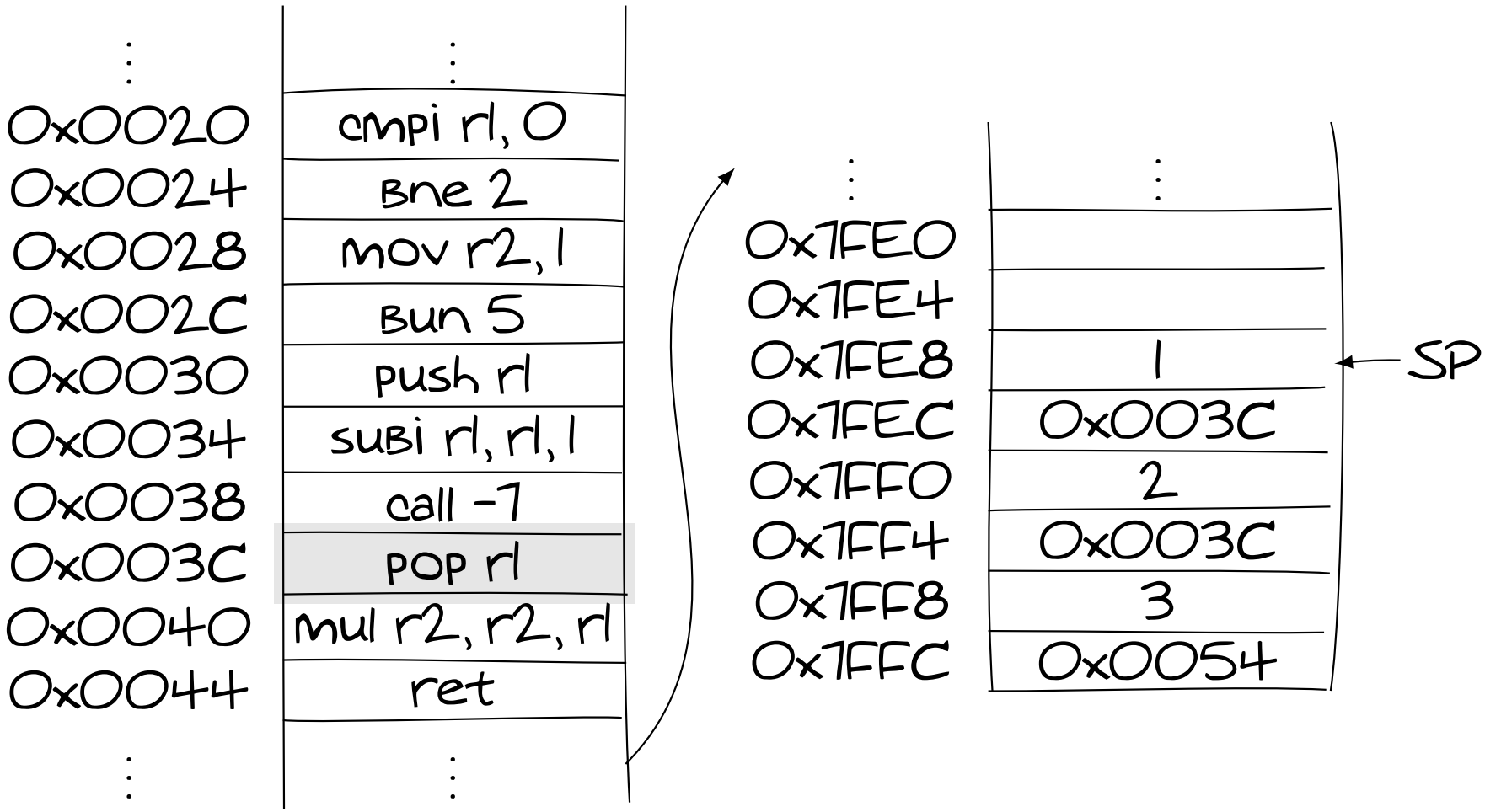
- Execução da função fatorial recursiva



R1 = 0, R2 = 1, SP = 0x7FE4

Sub-rotina

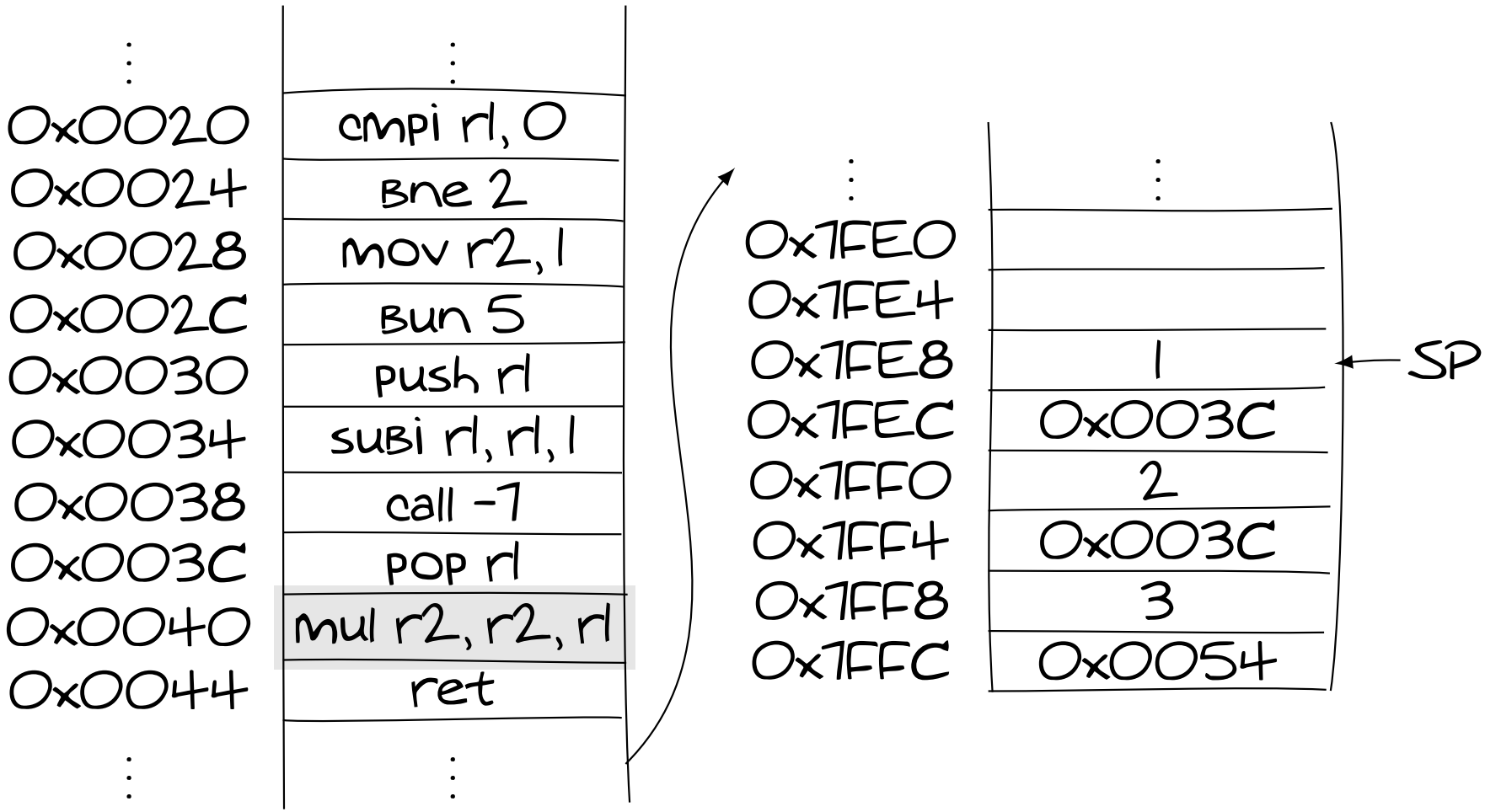
- Execução da função fatorial recursiva



R1 = 1, R2 = 1, SP = 0x7FE8

Sub-rotina

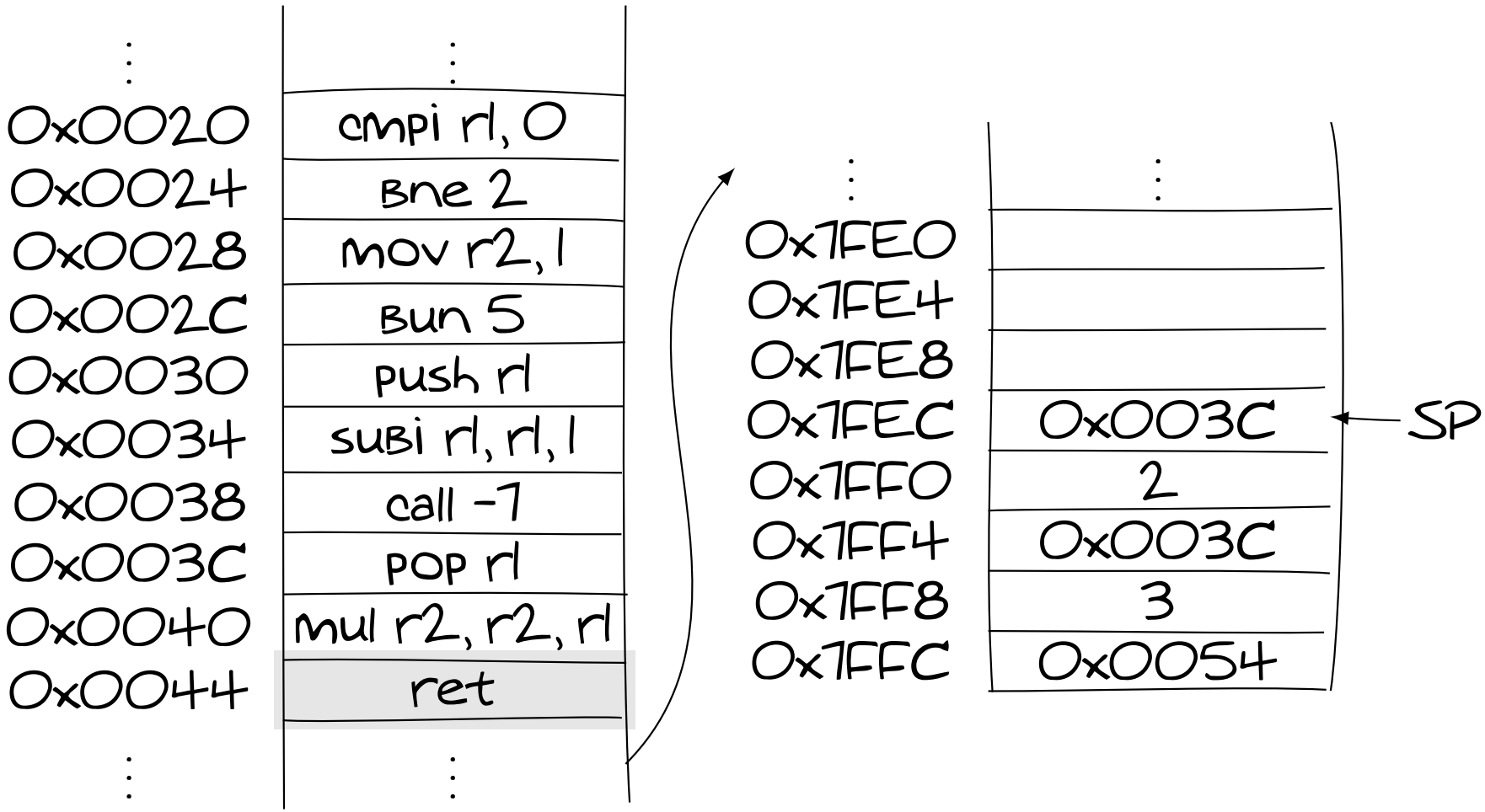
- Execução da função fatorial recursiva



R1 = 1, R2 = 1, SP = 0x7FE8

Sub-rotina

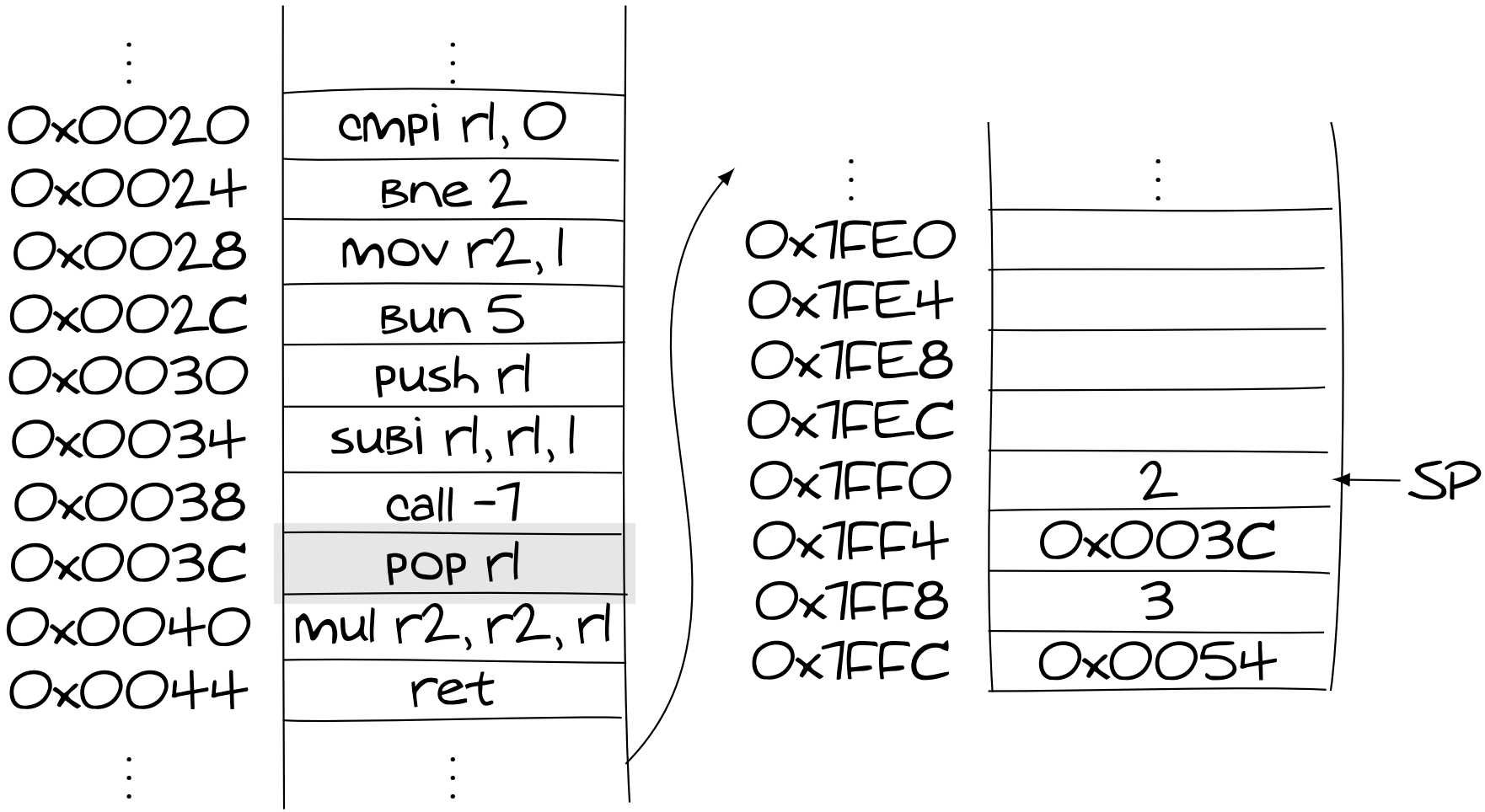
- Execução da função fatorial recursiva



R1 = 1, R2 = 1, SP = 0x7FEC

Sub-rotina

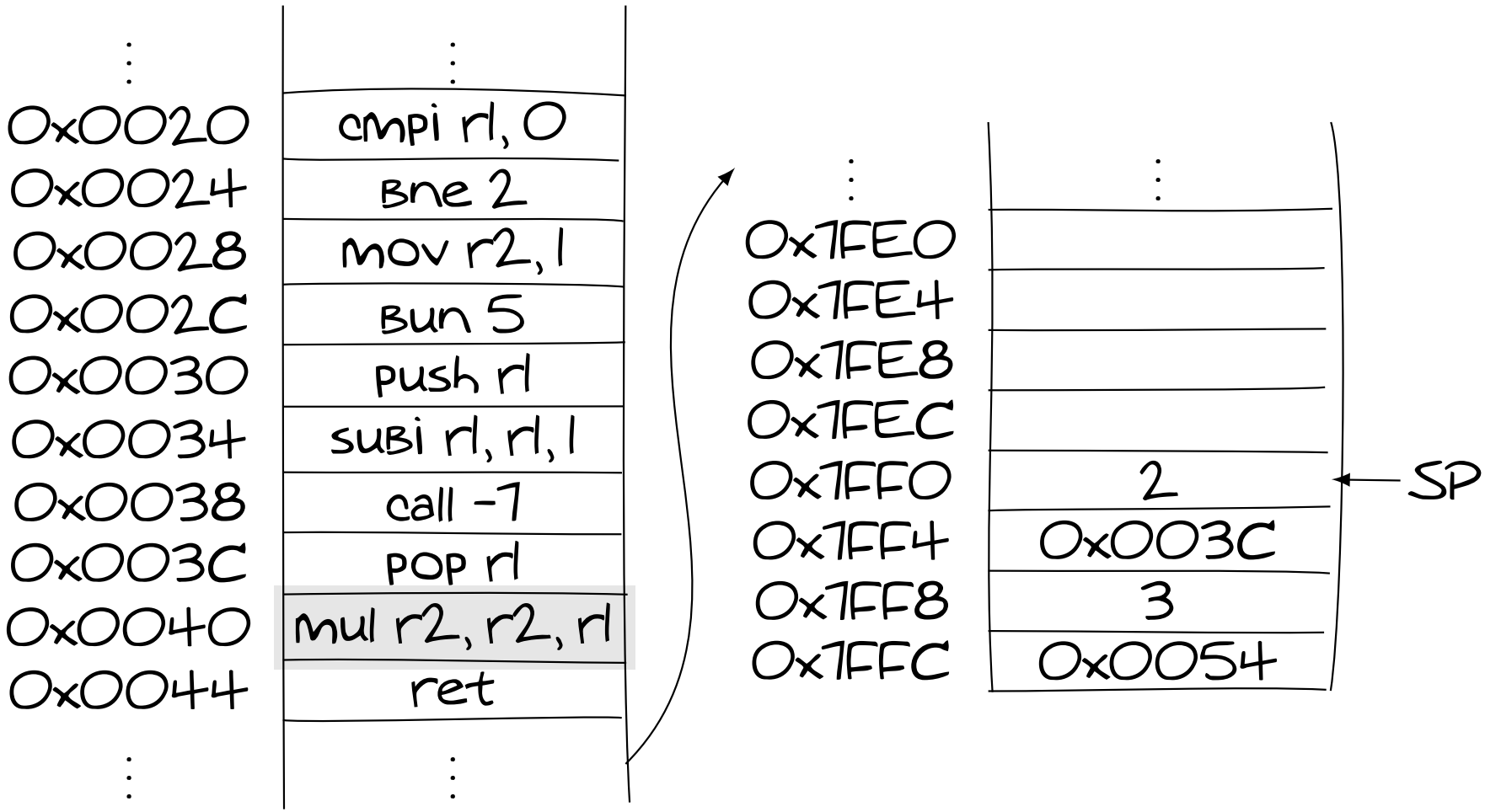
- Execução da função fatorial recursiva



R1 = 2, R2 = 1, SP = 0x7FF0

Sub-rotina

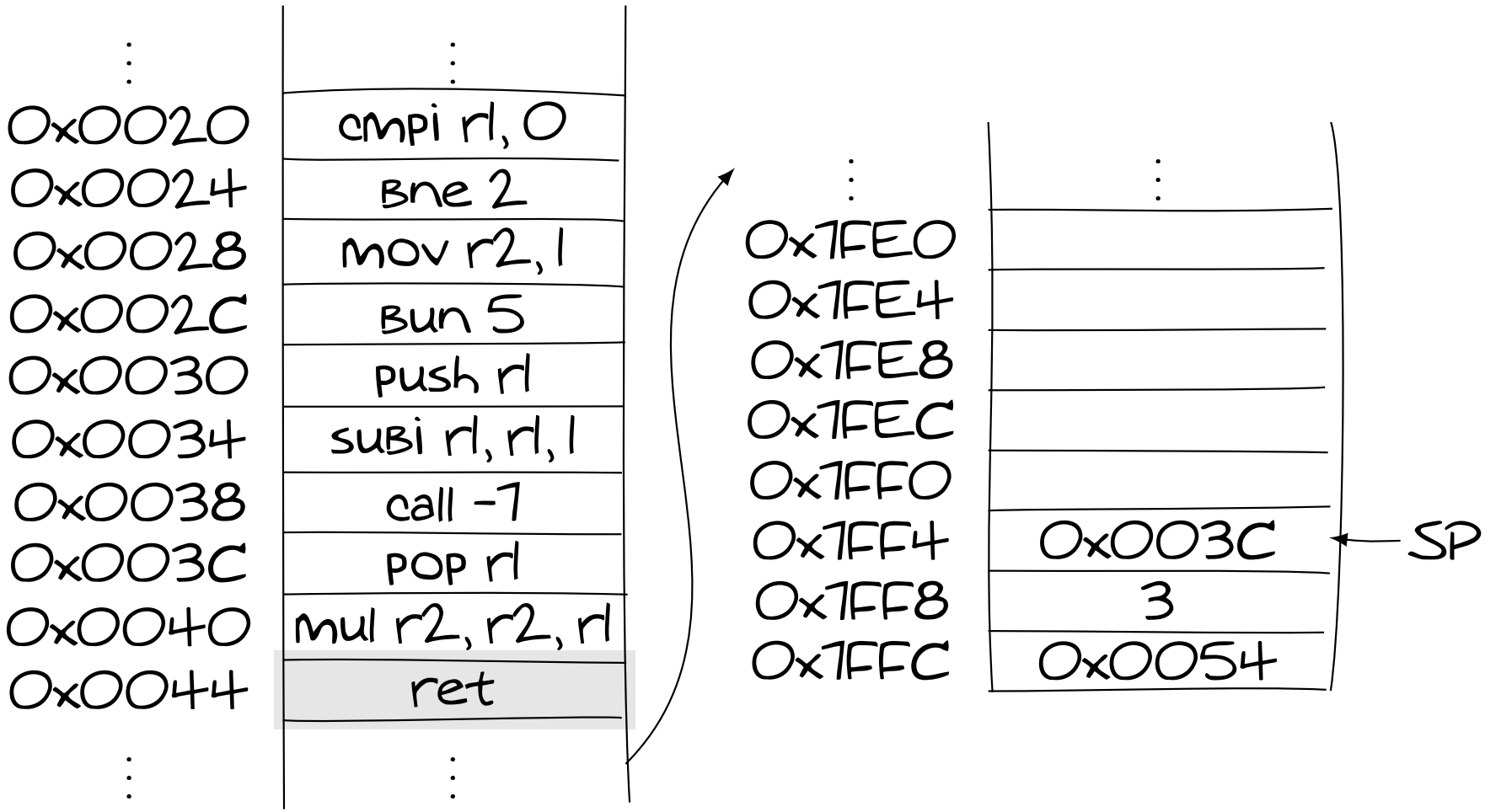
- Execução da função fatorial recursiva



R1 = 2, R2 = 2, SP = 0x7FF0

Sub-rotina

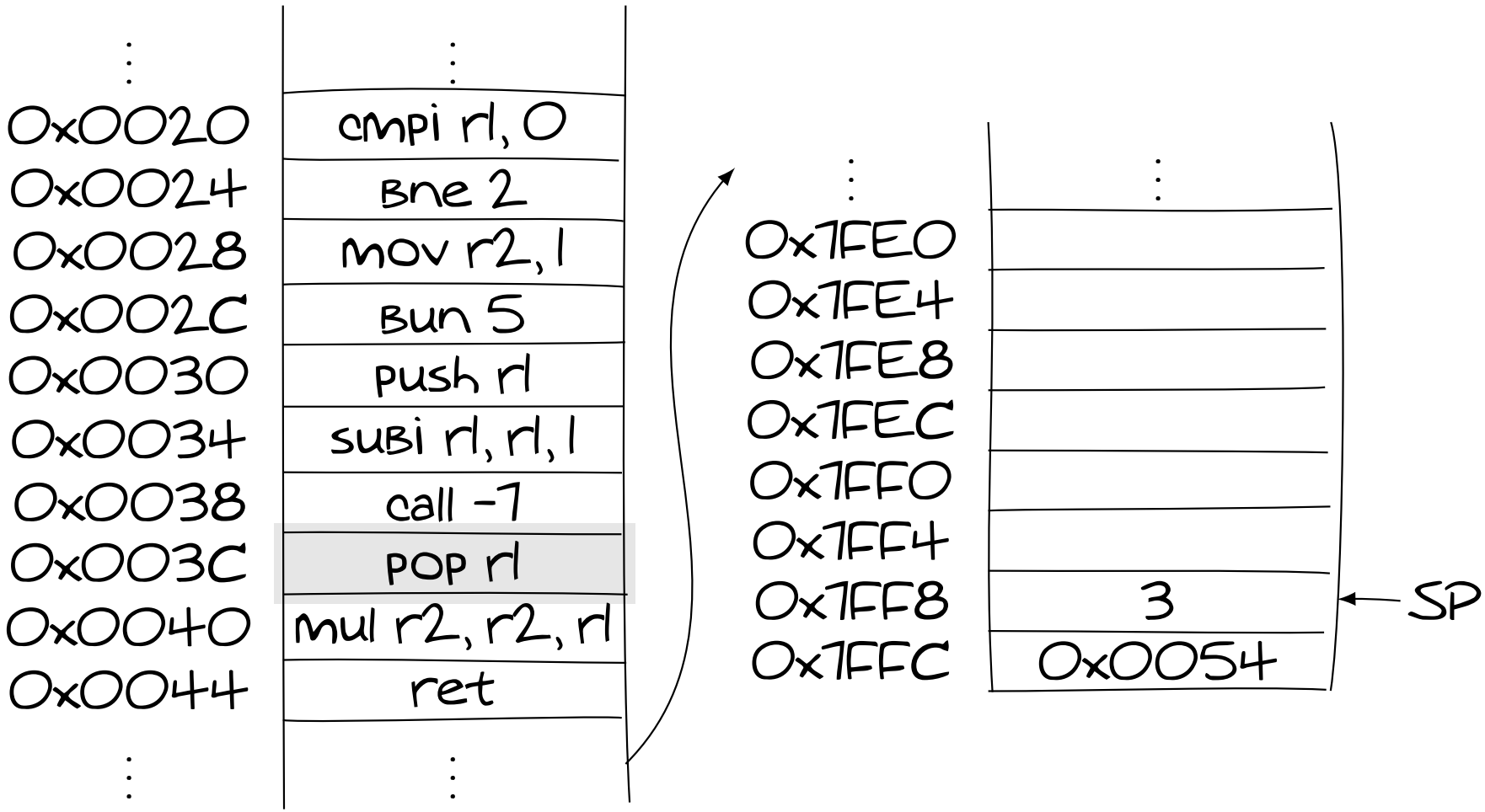
- Execução da função fatorial recursiva



R1 = 2, R2 = 2, SP = 0x7FF4

Sub-rotina

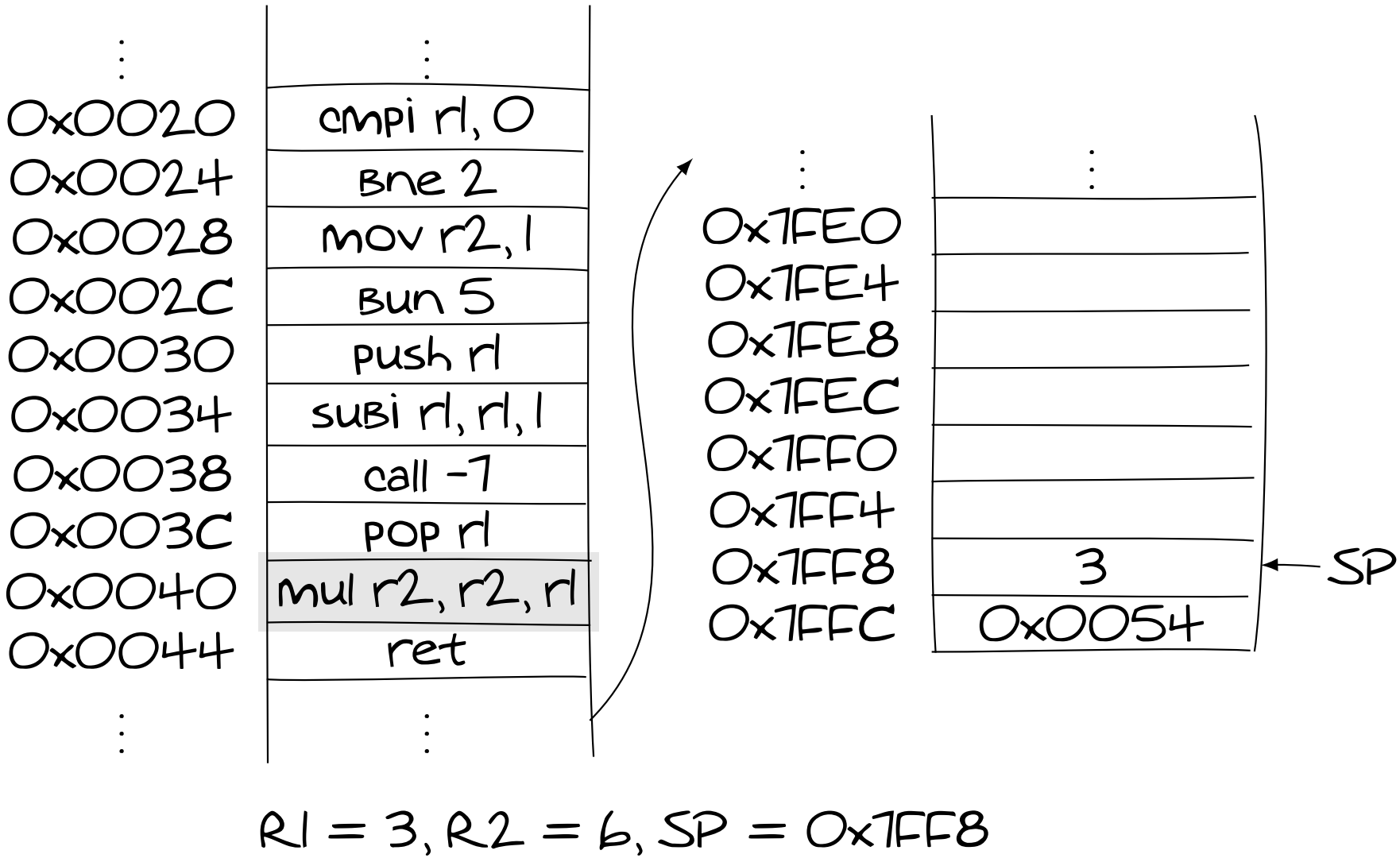
- Execução da função fatorial recursiva



R1 = 3, R2 = 2, SP = 0x7FF8

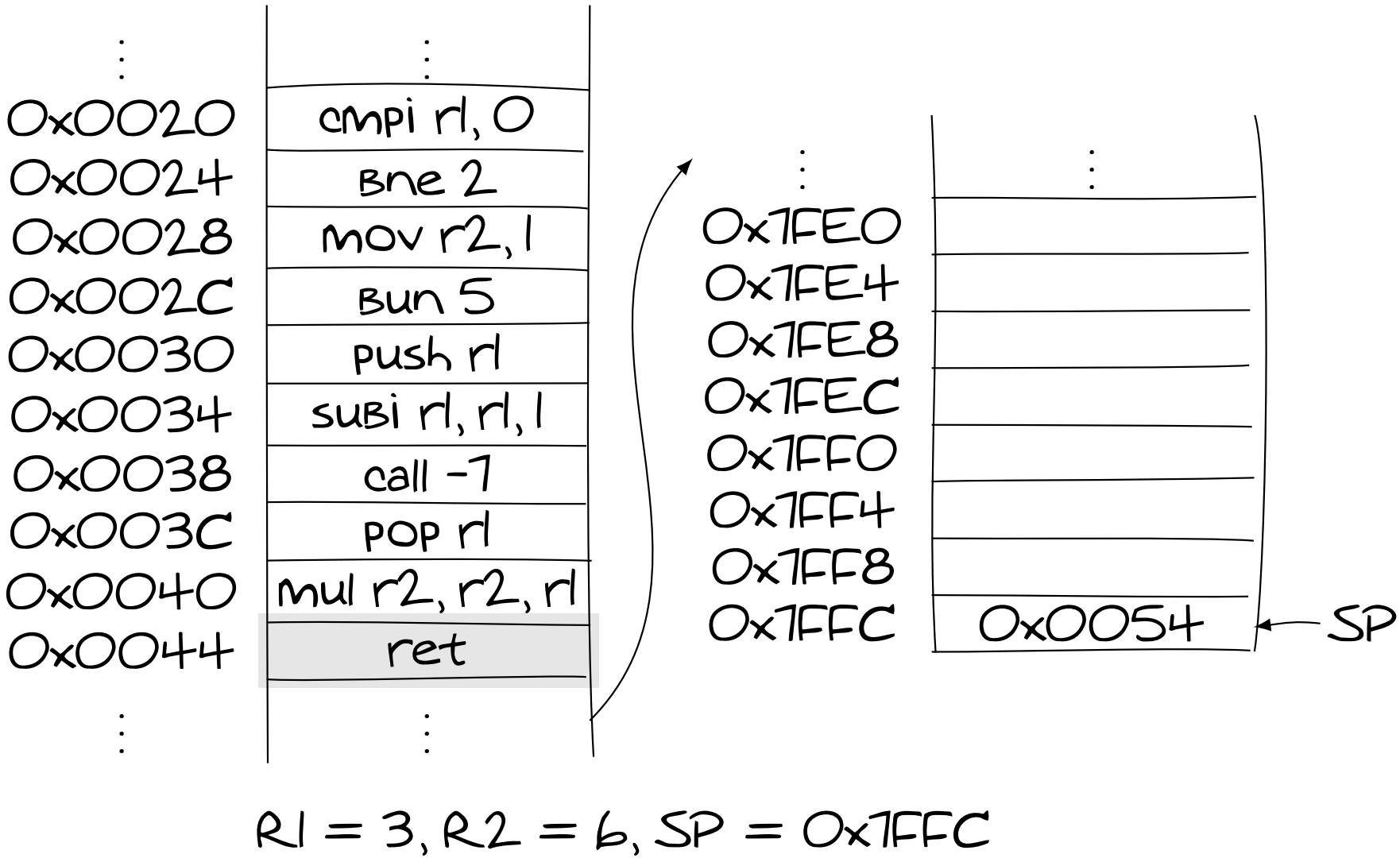
Sub-rotina

- Execução da função fatorial recursiva



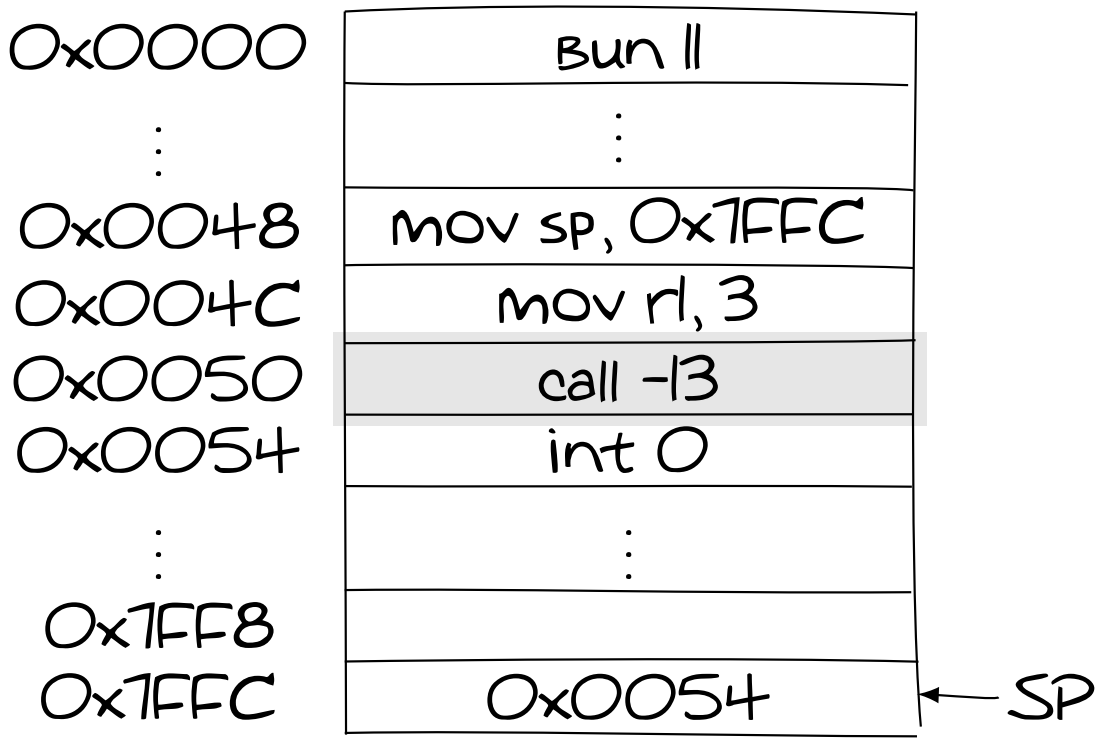
Sub-rotina

- Execução da função fatorial recursiva



Sub-rotina

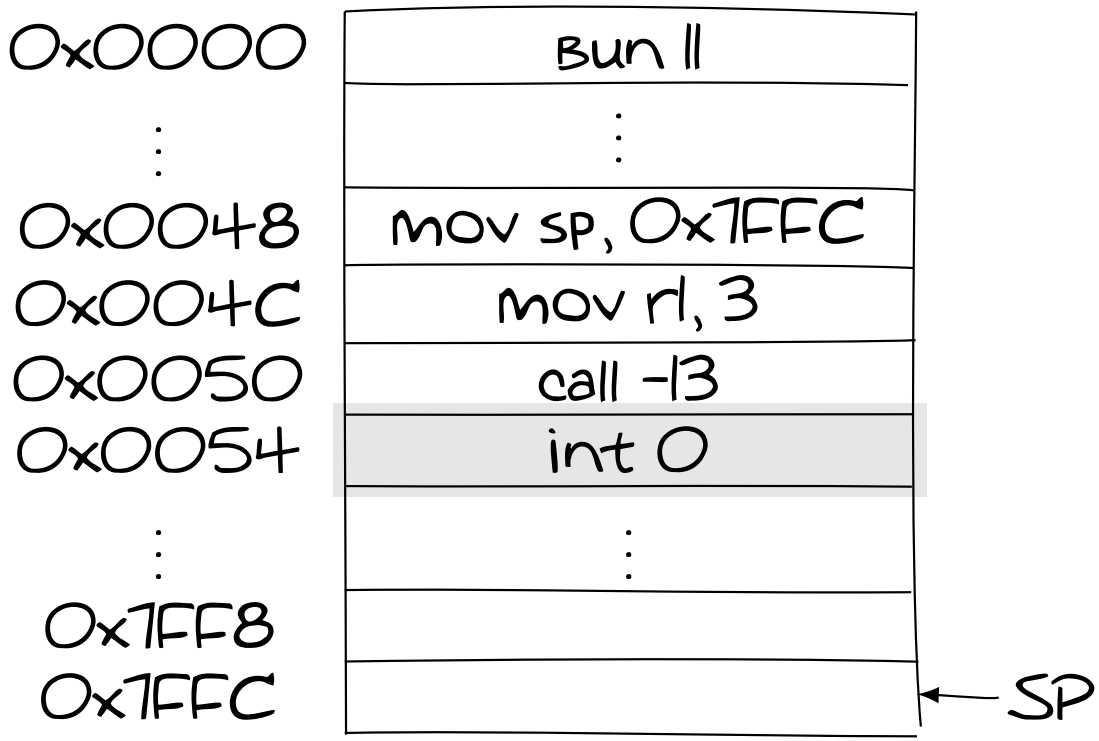
- Execução da função fatorial recursiva



R1 = 3, R2 = 6, SP = 0x7FFC

Sub-rotina

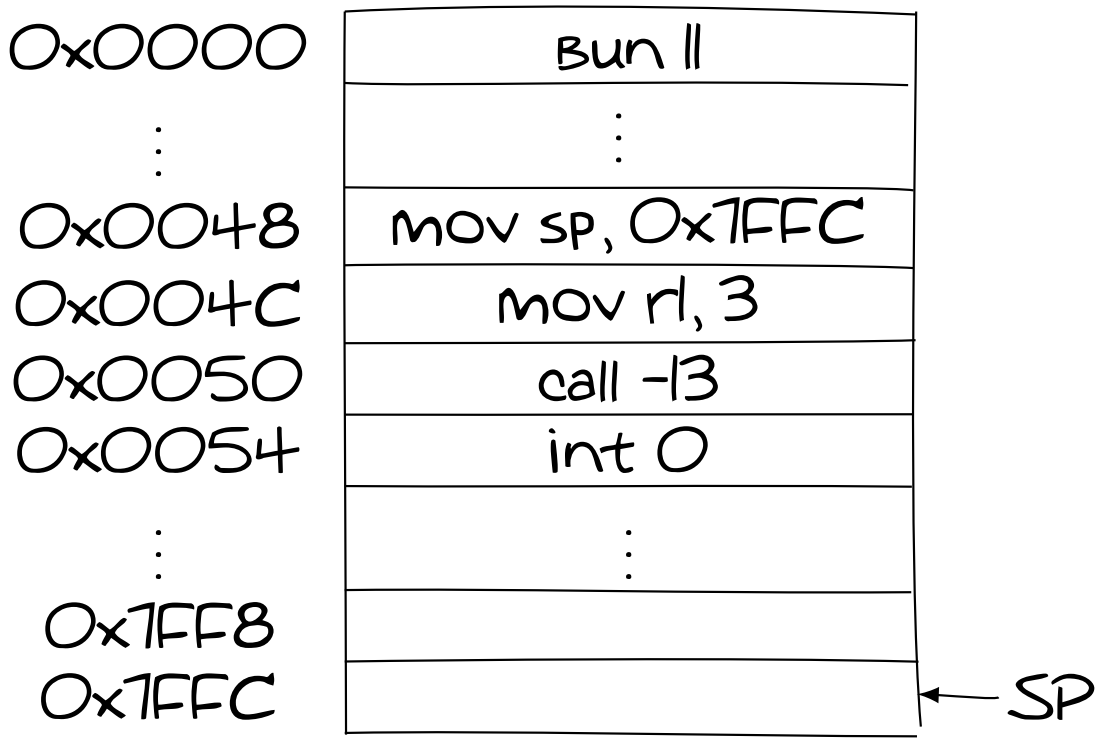
- Execução da função fatorial recursiva



R1 = 3, R2 = 6, SP = 0x7FFC

Sub-rotina

- Execução da função fatorial recursiva



R1 = 3, R2 = 6, SP = 0x7FFC

Exemplo

- Considere a implementação recursiva em C da função *fibonacci* descrita abaixo
  - Realize a sua tradução para código de montagem
  - Execute passo a passo seu funcionamento para $n = 3$

```
1   // Inteiros com tamanho fixo
2   #include <stdint.h>
3   // Vetor auxiliar
4   uint32_t V[48] = { 0 };
5   // Função fibonacci
6   uint32_t fibonacci(uint32_t n) {
7       // Caso base
8       if(n <= 1) return n;
9       // Caso recursivo
10      else if(V[n] == 0) V[n] = fibonacci(n - 2) +
            fibonacci(n - 1);
11      // Retornando valor
12      return V[n];
13  }
... ...
```