Unidade IV:
Tipos Abstratos de Dados Flexíveis em C

Instituto de Ciências Exatas e Informática
Departamento de Ciência da Computação

Sumário

- Alocação dinâmica
- Pilha flexível
- Fila flexível
- Lista simples flexível (lista simplesmente encadeada)
- Lista dupla flexível (lista duplamente encadeada)

Sumário

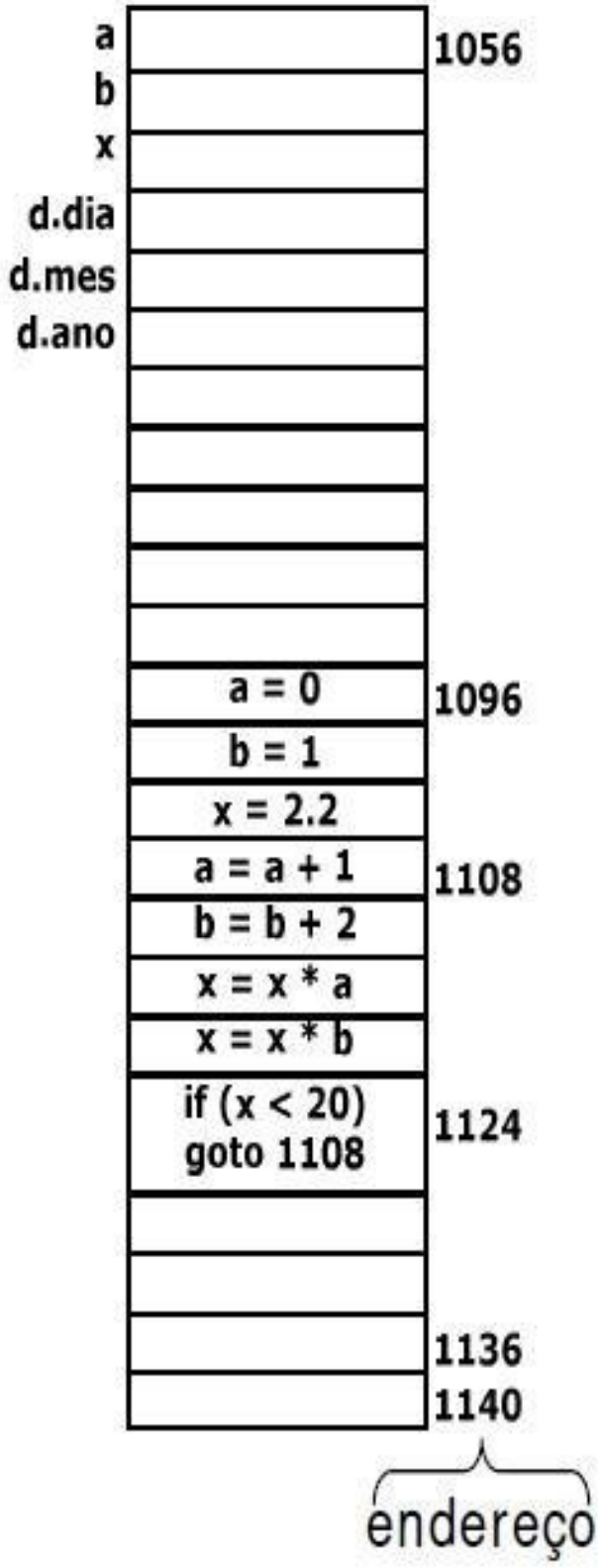
- **Alocação dinâmica**
- Pilha flexível
- Fila flexível
- Lista simples flexível (lista simplesmente encadeada)
- Lista dupla flexível (lista duplamente encadeada)

Introdução

- Um programa utiliza duas áreas de memória: uma para os dados e outra para o código fonte (ou seja, as instruções)

- Uma variável possui conteúdo e endereço
  - Seu conteúdo pode alterar durante a execução do programa
  - Seu endereço é constante

```
void main() {    // CONTEÚDO   ENDEREÇO
  int a;           // lixo       1056
  int b;           // lixo       1060
  float x;         // lixo       1064
  Data d;          // lixo       1068

  a = 0;           //  0         1056
  b = 1;           //  1         1060
  x = 2.2f;        // 2.2        1064
  do {
    a = a + 1;
    b = b + 2;
    x = x * a;
    x = x * b;
  } while (x < 20.0f);
```



Alocações Estática e Dinâmica

- A área para dados pode ser alocada de duas formas: Estática e Dinâmica

- Na estática, o SO reserva o espaço de memória das variáveis quando ele começa a executar um programa e essa reserva não pode ser alterada

int a; int b[20];

- Na dinâmica, o SO reserva esse espaço durante a execução do programa e essa reserva pode ser alterada

Alocação Dinâmica

- A memória alocada dinamicamente está localizada em uma área chamada de *heap* e, basicamente, o programa aloca e desaloca porções de memória do *heap* durante a execução

- Acessamos as posições de memória alocadas dinamicamente através de apontadores ou ponteiros

Ponteiros

- São variáveis que armazenam um endereço de memória

- Da mesma forma que um int armazena inteiro; um double, número real; um ponteiro armazena um endereço de memória

- Os ponteiros possuem tipo, ou seja, temos ponteiro para endereços de memória de um int, de um float, de um char...

Declaração de Ponteiros

tipoPonteiro *nomeVariável;

- O asterisco na declaração de uma variável indica que essa não guardará um valor e sim um endereço para o tipo especificado
- Operador endereço (**&**) determina o endereço de uma variável
- Operador de conteúdo de um ponteiro (*) determina o conteúdo da posição de memória endereçada pelo ponteiro

Declaração de Ponteiros

```
int x1, x2, x3;   int *p;
x1 = 11;   x2 = 22;   x3 = 33;
p = &x1;
x2 = *p;
*p = x3;
p = &x3;
*p = 0;

printf("cont:%d %d %d %d", x1, x2, x3, *p);
printf("addr:%p %p %p %p", &x1, &x2, &x3, p);
```

Memória		
x1		89Bh
x2		89Ch
x3		89Dh
p		89Eh

Declaração de Ponteiros

```
int x1, x2, x3;   int *p;
x1 = 11;   x2 = 22;   x3 = 33;
p = &x1;
x2 = *p;
*p = x3;
p = &x3;
*p = 0;

printf("cont:%d %d %d %d", x1, x2, x3, *p);
printf("addr:%p %p %p %p", &x1, &x2, &x3, p);
```

Memória		
x1	?	89Bh
x2	?	89Ch
x3	?	89Dh
p	?	89Eh

Declaração de Ponteiros

```
int x1, x2, x3;   int *p;
x1 = 11;   x2 = 22;   x3 = 33;
p = &x1;
x2 = *p;
*p = x3;
p = &x3;
*p = 0;

printf("cont:%d %d %d %d", x1, x2, x3, *p);
printf("addr:%p %p %p %p", &x1, &x2, &x3, p);
```

Memória		
x1	**11**	89Bh
x2	**22**	89Ch
x3	**33**	89Dh
p	?	89Eh

Declaração de Ponteiros

```
int x1, x2, x3;   int *p;
x1 = 11;   x2 = 22;   x3 = 33;
p = &x1;
x2 = *p;
*p = x3;
p = &x3;
*p = 0;

printf("cont:%d %d %d %d", x1, x2, x3, *p);
printf("addr:%p %p %p %p", &x1, &x2, &x3, p);
```

Memória		
x1	11	**89Bh**
x2	22	89Ch
x3	33	89Dh
p	**89Bh**	89Eh

Declaração de Ponteiros

```
int x1, x2, x3;   int *p;
x1 = 11;   x2 = 22;   x3 = 33;
p = &x1;
x2 = *p;
*p = x3;
p = &x3;
*p = 0;

printf("cont:%d %d %d %d", x1, x2, x3, *p);
printf("addr:%p %p %p %p", &x1, &x2, &x3, p);
```

Memória		
x1	11	89Bh
x2	**11**	89Ch
x3	33	89Dh
p	89Bh	89Eh

Declaração de Ponteiros

```
int x1, x2, x3;   int *p;
x1 = 11;   x2 = 22;   x3 = 33;
p = &x1;
x2 = *p;
*p = x3;
p = &x3;
*p = 0;

printf("cont:%d %d %d %d", x1, x2, x3, *p);
printf("addr:%p %p %p %p", &x1, &x2, &x3, p);
```

Memória		
x1	**33**	89Bh
x2	11	89Ch
x3	33	89Dh
p	89Bh	89Eh

Declaração de Ponteiros

```
int x1, x2, x3;   int *p;
x1 = 11;   x2 = 22;   x3 = 33;
p = &x1;
x2 = *p;
*p = x3;
p = &x3;
*p = 0;

printf("cont:%d %d %d %d", x1, x2, x3, *p);
printf("addr:%p %p %p %p", &x1, &x2, &x3, p);
```

Memória		
x1	33	89Bh
x2	11	89Ch
x3	33	**89Dh**
p	**89Dh**	89Eh

Declaração de Ponteiros

```
int x1, x2, x3;   int *p;
x1 = 11;   x2 = 22;   x3 = 33;
p = &x1;
x2 = *p;
*p = x3;
p = &x3;
*p = 0;

printf("cont:%d %d %d %d", x1, x2, x3, *p);
printf("addr:%p %p %p %p", &x1, &x2, &x3, p);
```

Memória		
x1	33	89Bh
x2	11	89Ch
x3	**0**	89Dh
p	89Dh	89Eh

Observações

- Os símbolos usados para notação de ponteiros em C/C++ não são tão claros como deveriam ser

- Descuidado com ponteiros ⇒ problemas

- Atenção: Sempre inicialize os ponteiros

Observações

- p1 = p2: faz com que eles apontem para o mesmo local

- *p1 = *p2: Atribui o conteúdo apontado por p2 o por p1

- p++, p--, p=p+5 e p+=3: Incrementa e decrementa o valor do endereço apontado pelo ponteiro, fazendo com que o ponteiro antes sizeof(tipoPonteiro) bytes na memória

Observações

- (*p)++ e (*p) --: Incrementa / decrementa o conteúdo da variável apontada pelo ponteiro p

- Os testes relacionais como >, <, >=, <=, == ou != são aceitos apenas para ponteiros do mesmo tipo, contudo, eles comparam endereços

Alocar Memória em C: malloc

- Protótipo da função malloc()

```
void* malloc (int tamanho)
```

- O malloc aloca o número de bytes passados como parâmetro e retorna um ponteiro para a primeira posição da área alocada

Desalocar Memória em C: free()

- Protótipo da função free()

void free (void*)

- O free desaloca o espaço de memória apontado pelo ponteiro recebido como parâmetro

Exemplo do malloc() e do free()

```
char* p1 = (char*) malloc (sizeof(char));
int* p2 = (int*) malloc (sizeof(int));
float* p3 = (float*) malloc (sizeof(float));
Cliente* p4 = (Cliente*) malloc (sizeof(Cliente));
int* p5 = (int*) malloc (MAXTAM * sizeof(int));
Cliente* p6 =(Cliente*) malloc (MAXTAM * sizeof(Cliente));
free(p1);
free(p2);
free(p3);
free(p4);
free(p5);
free(p6);
```

Alocar/Desalocar Memória em C++: new e delete

```
char* p1 = new char;
int* p2 = new int;
float* p3 = new float;
Cliente* p4 = new Cliente;
int* p5 = new int[MAXTAM];
Cliente* p6 = new Cliente[MAXTAM];
delete p1;
delete p2;
delete p3;
delete p4;
delete [] p5;
delete [] p6;
```

Erros Comuns

- Esquecer de alocar memória e tentar acessar o conteúdo da variável
- Copiar o valor do apontador quando deveria ser o conteúdo da variável apontada
- Esquecer de desalocar memória
    - O SO desaloca no final do programa ou da função onde a variável está declarada
- Tentar acessar o conteúdo da variável depois de desalocá-la

Exercício

- Mostre a saída na tela

```
double a;
double *p, *q;

a = 3.14;
printf("%f\n", a);
p = &a;
*p = 2.718;
printf("%f\n", a);
a = 5;
printf("%f\n", *p);
p = NULL;
p = (double *)malloc(sizeof(double));
*p = 20;
q = p;
printf("%f\n", *p);
printf("%f\n", a);
free(p);
printf("%f\n", *q);
```

Dúvida

- **int *a não é a declaração de um vetor de int?**
  - Em C, todo vetor é um apontador, portanto pode-se fazer coisas como:

```
int a[10], *b;
b = a;
b[5] = 100;
Printf("%d\n", a[5]);
Printf("%d\n", b[5]);
```

```
100
100
```

```
int a[10], *b;
b = (int *) malloc(10*sizeof(int));
b[5] = 100;
printf("%d\n", a[5]);
Printf("%d\n", b[5]);
```

```
42657
100
```

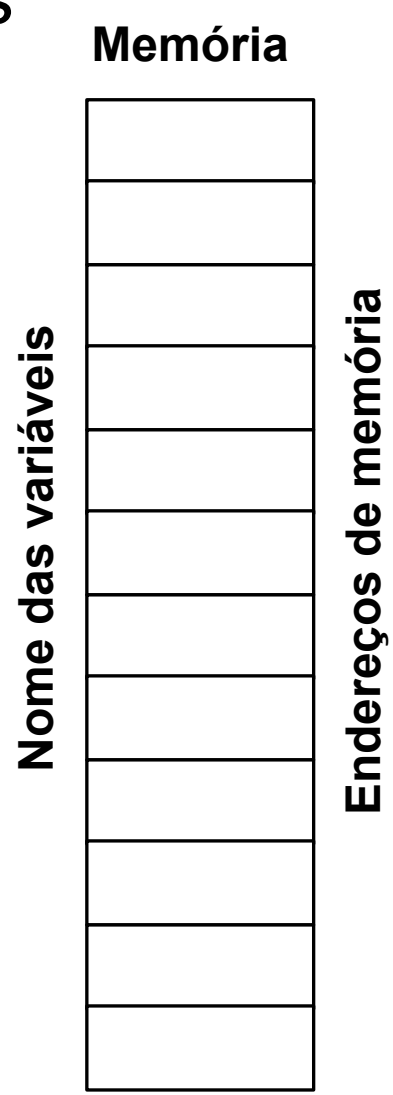
Obs. Não se pode fazer a = b no exemplo acima

Exercício sobre Alocação Dinâmica

- Execute o programa abaixo, supondo os atributos código (int) e salário (double) para cada Cliente

```
...
Cliente c;
c.codigo = 5;
Cliente *p = NULL;
p = (Cliente*) malloc (sizeof(Cliente));
p->codigo = 6;
Cliente *p2 = &c;
p2->codigo = 7;
```

Representação gráfica

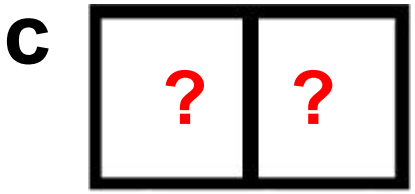


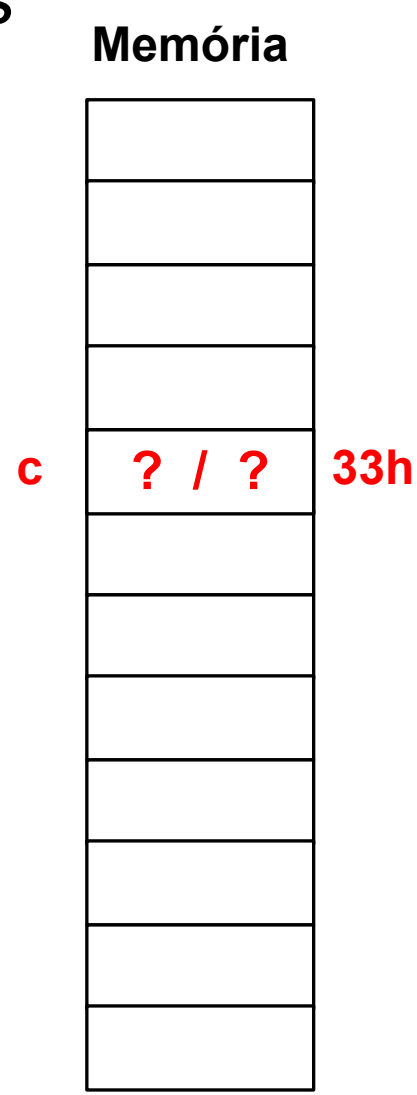
Exercício sobre Alocação Dinâmica

- Execute o programa abaixo, supondo os atributos código (int) e salário (double) para cada Cliente

```
...
Cliente c;
c.codigo = 5;
Cliente *p = NULL;
p = (Cliente*) malloc (sizeof(Cliente));
p->codigo = 6;
Cliente *p2 = &c;
p2->codigo = 7;
```

Representação gráfica



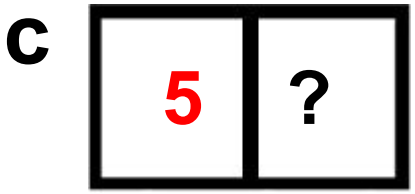


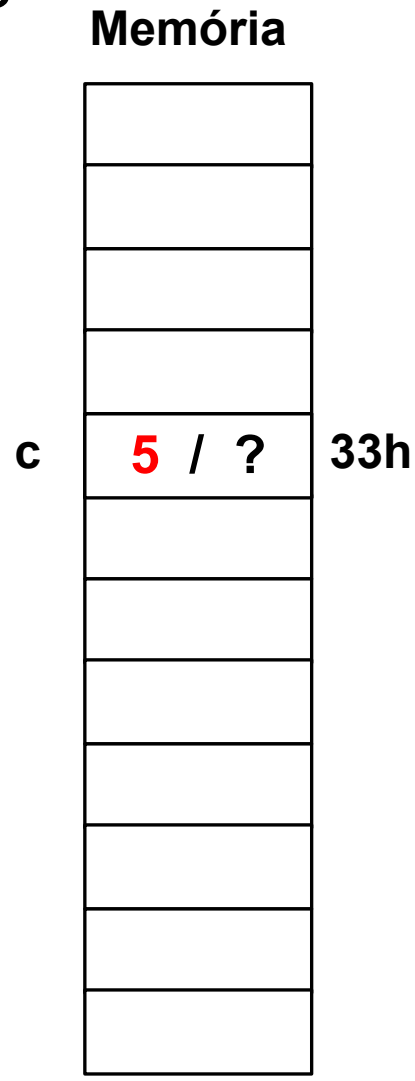
Exercício sobre Alocação Dinâmica

- Execute o programa abaixo, supondo os atributos código (int) e salário (double) para cada Cliente

```
...
Cliente c;
c.codigo = 5;
Cliente *p = NULL;
p = (Cliente*) malloc (sizeof(Cliente));
p->codigo = 6;
Cliente *p2 = &c;
p2->codigo = 7;
```

Representação gráfica

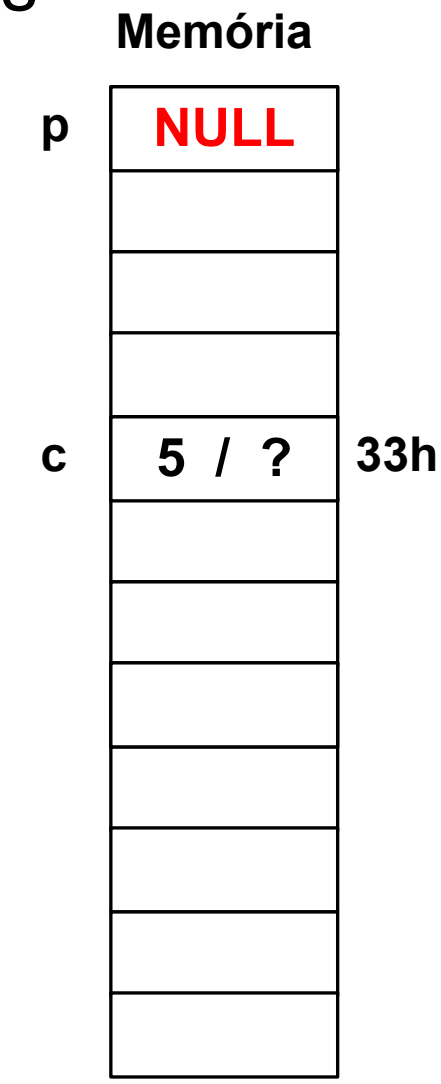




Exercício sobre Alocação Dinâmica

- Execute o programa abaixo, supondo os atributos código (int) e salário (double) para cada Cliente

```
...
Cliente c;
c.codigo = 5;
Cliente *p = NULL;
p = (Cliente*) malloc (sizeof(Cliente));
p->codigo = 6;
Cliente *p2 = &c;
p2->codigo = 7;
```

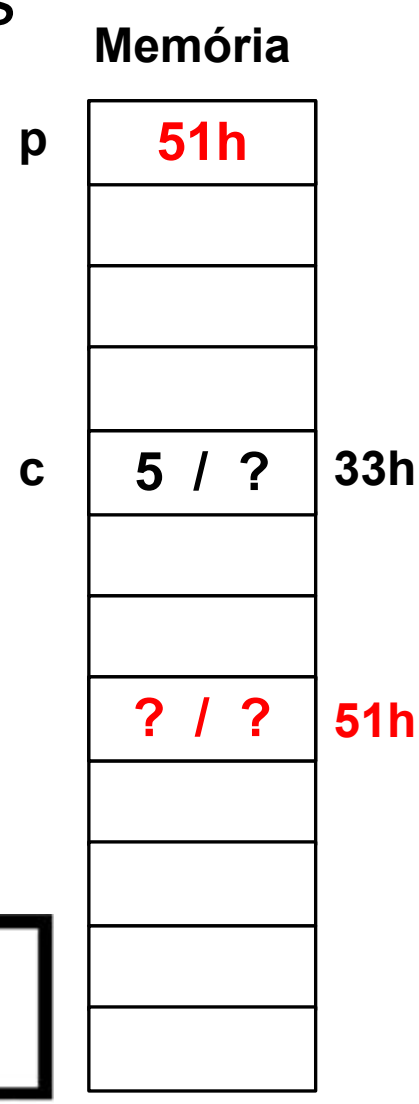


Representação gráfica

Exercício sobre Alocação Dinâmica

- Execute o programa abaixo, supondo os atributos código (int) e salário (double) para cada Cliente

```
...
Cliente c;
c.codigo = 5;
Cliente *p = NULL;
p = (Cliente*) malloc (sizeof(Cliente));
p->codigo = 6;
Cliente *p2 = &c;
p2->codigo = 7;
```

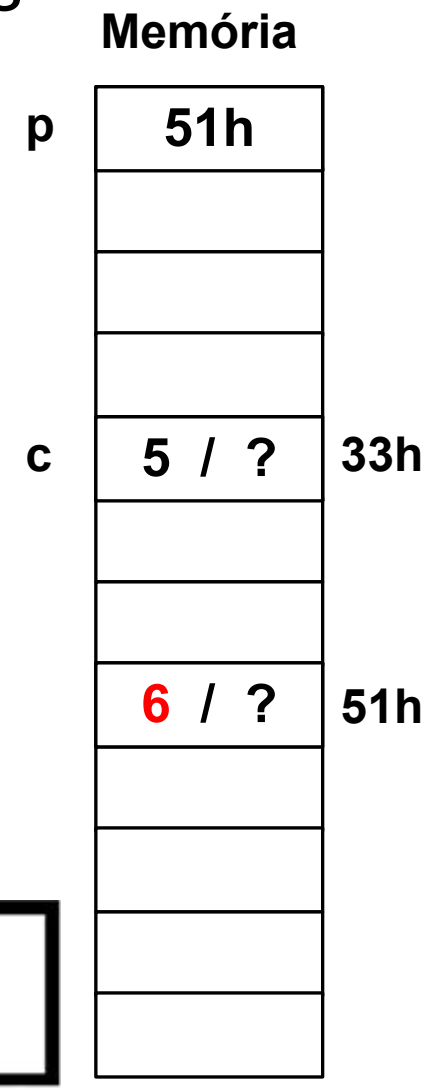


Representação gráfica

Exercício sobre Alocação Dinâmica

- Execute o programa abaixo, supondo os atributos código (int) e salário (double) para cada Cliente

```
...
Cliente c;
c.codigo = 5;
Cliente *p = NULL;
p = (Cliente*) malloc (sizeof(Cliente));
p->codigo = 6;
Cliente *p2 = &c;
p2->codigo = 7;
```

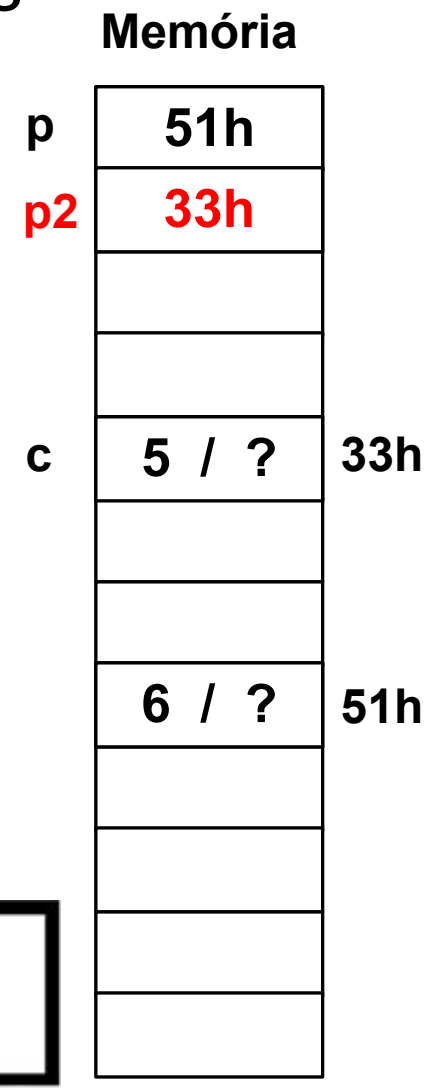


Representação gráfica

Exercício sobre Alocação Dinâmica

- Execute o programa abaixo, supondo os atributos código (int) e salário (double) para cada Cliente

```
...
Cliente c;
c.codigo = 5;
Cliente *p = NULL;
p = (Cliente*) malloc (sizeof(Cliente));
p->codigo = 6;
Cliente *p2 = &c;
p2->codigo = 7;
```



Representação gráfica

Exercício sobre Alocação Dinâmica

- Execute o programa abaixo, supondo os atributos código (int) e salário (double) para cada Cliente

```
...
Cliente c;
c.codigo = 5;
Cliente *p = NULL;
p = (Cliente*) malloc (sizeof(Cliente));
p->codigo = 6;
Cliente *p2 = &c;
p2->codigo = 7;
```

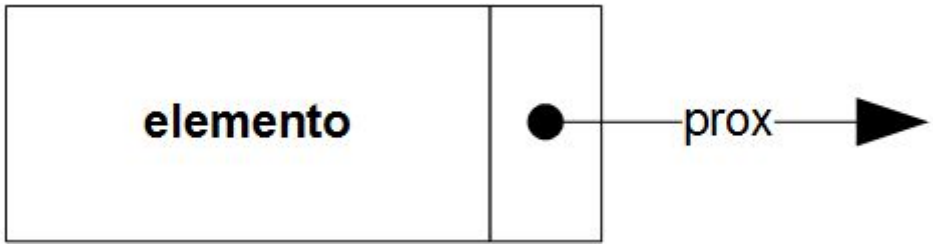
Memória

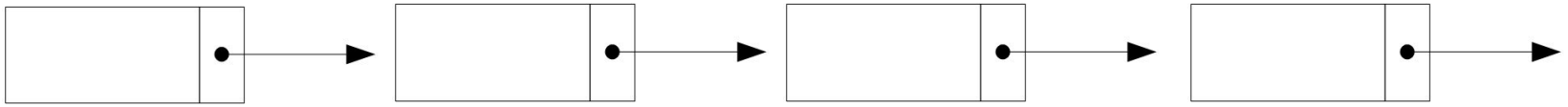
p	51h	
p2	33h	
c	7 / ?	33h
	6 / ?	51h

Representação gráfica

Exercício sobre Alocação Dinâmica

- Crie um registro célula contendo os atributos elemento (inteiro) e prox (apontador para outra célula)

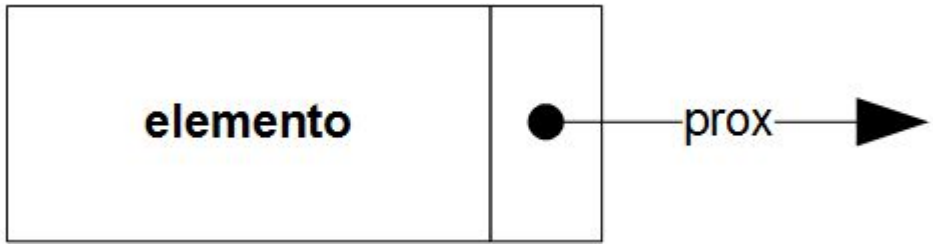


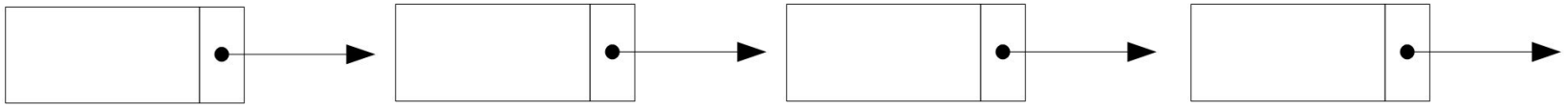


Exercício sobre Alocação Dinâmica

- Crie um registro célula contendo os atributos elemento (inteiro) e prox (apontador para outra célula)

```
typedef struct Celula {
      int elemento;
      struct Celula *prox;
 } Celula;

 Celula *novaCelula(int elemento) {
      Celula *nova = (Celula*) malloc(sizeof(Celula));
      nova->elemento = elemento;
      nova->prox = NULL;
      return nova;
 }
```





Exercício sobre Alocação Dinâmica

- Mostre o que acontece se um método tiver o comando *Celula *tmp = novaCelula(3)*.

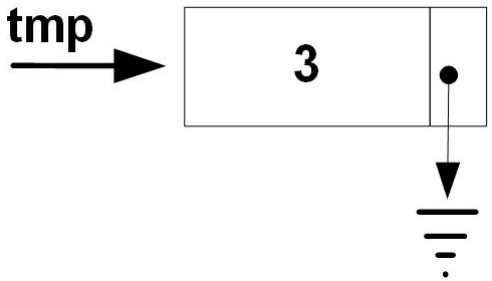
```
typedef struct Celula {
      int elemento;
      struct Celula *prox;
 } Celula;

 Celula *novaCelula(int elemento) {
      Celula *nova = (Celula*) malloc(sizeof(Celula));
      nova->elemento = elemento;
      nova->prox = NULL;
      return nova;
 }
```

Exercício sobre Alocação Dinâmica

- Mostre o que acontece se um método tiver o comando

*Celula *tmp = novaCelula(3)*.

```
typedef struct Celula {
      int elemento;
      struct Celula *prox;
 } Celula;

 Celula *novaCelula(int elemento) {
      Celula *nova = (Celula*) malloc(sizeof(Celula));
      nova->elemento = elemento;
      nova->prox = NULL;
      return nova;
 }
```

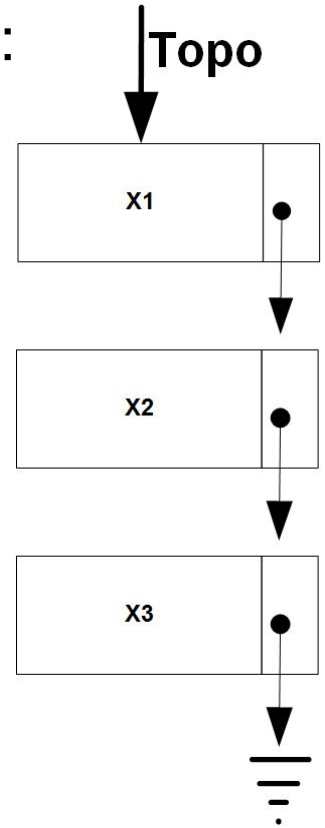


Sumário

- Alocação dinâmica
- **Pilha flexível**
- Fila flexível
- Lista simples flexível (lista simplesmente encadeada)
- Lista dupla flexível (lista duplamente encadeada)

Pilha Flexível

- Código fonte:
  - O método main é igual ao da estrutura sequencial
  - O código criará uma instância como:

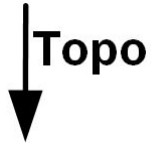


Pilha Flexível

```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

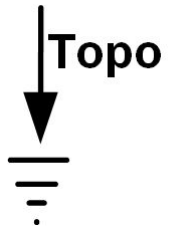
Pilha Flexível

```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```



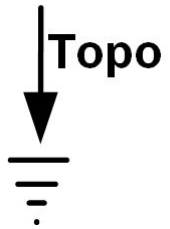
Pilha Flexível

```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```



Pilha Flexível

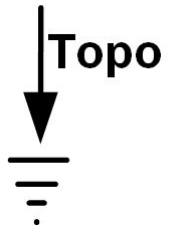
```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```




```
void inserir(int x) {
   Celula *tmp = novaCelula(x);
   tmp->prox = topo;
   topo = tmp;
   tmp = NULL;
}
```

Pilha Flexível

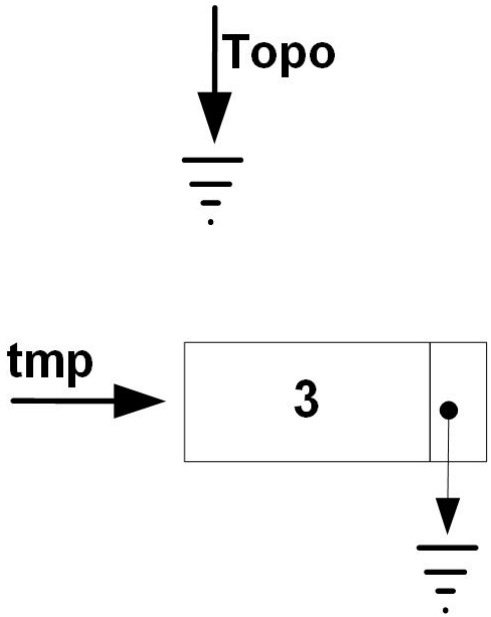
```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```




```
void inserir(int x) {  //Inserir(3)
   Celula *tmp = novaCelula(x);
   tmp->prox = topo;
   topo = tmp;
   tmp = NULL;
}
```

Pilha Flexível

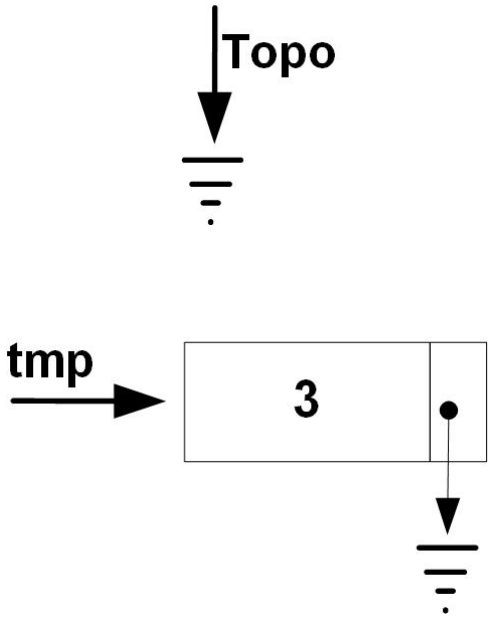
```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```




```
void inserir(int x) {  //Inserir(3)
   Celula *tmp = novaCelula(x);
   tmp->prox = topo;
   topo = tmp;
   tmp = NULL;
}
```

Pilha Flexível

```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

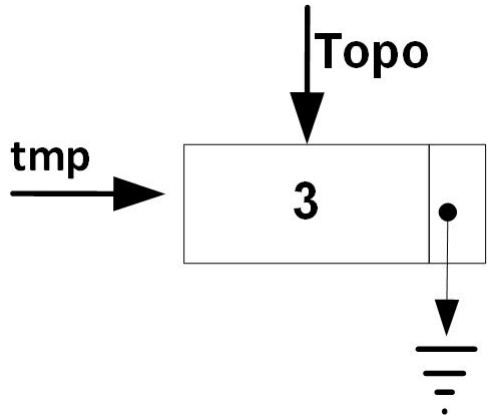



```
void inserir(int x) {  //Inserir(3)
   Celula *tmp = novaCelula(x);
   tmp->prox = topo;
   topo = tmp;
   tmp = NULL;
}
```

Como topo aponta para NULL, tmp->prox continua apontando para NULL

Pilha Flexível

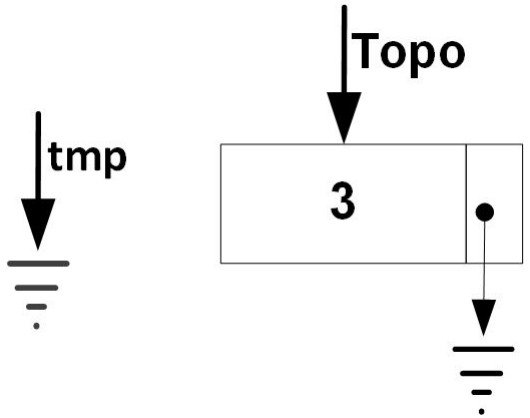
```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```




```
void inserir(int x) {  //Inserir(3)
   Celula *tmp = novaCelula(x);
   tmp->prox = topo;
   topo = tmp;
   tmp = NULL;
}
```

Pilha Flexível

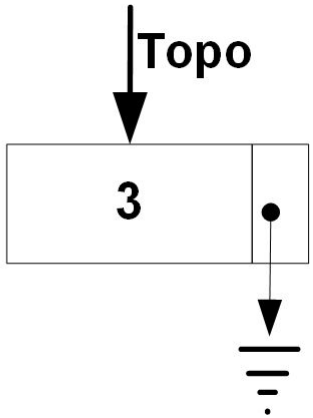
```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```




```
void inserir(int x) {  //Inserir(3)
   Celula *tmp = novaCelula(x);
   tmp->prox = topo;
   topo = tmp;
   tmp = NULL;
}
```

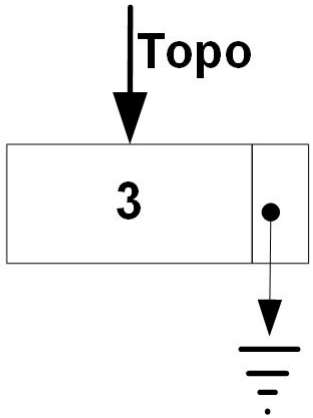
Pilha Flexível

```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```



Pilha Flexível

```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

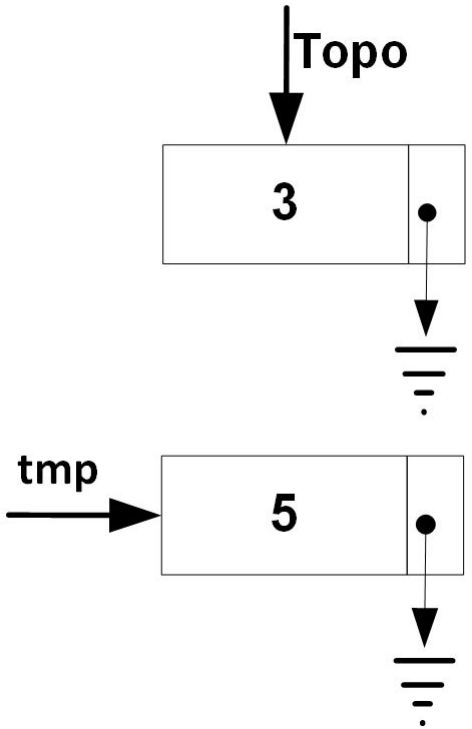



```
void inserir(int x) {  //Inserir(5)
   Celula *tmp = novaCelula(x);
   tmp->prox = topo;
   topo = tmp;
   tmp = NULL;
}
```

Pilha Flexível

```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

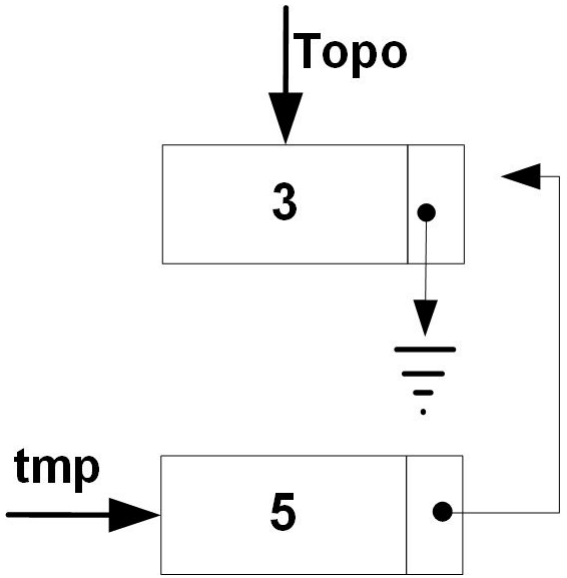
```
void inserir(int x) {  //Inserir(5)
   Celula *tmp = novaCelula(x);
   tmp->prox = topo;
   topo = tmp;
   tmp = NULL;
}
```



Pilha Flexível

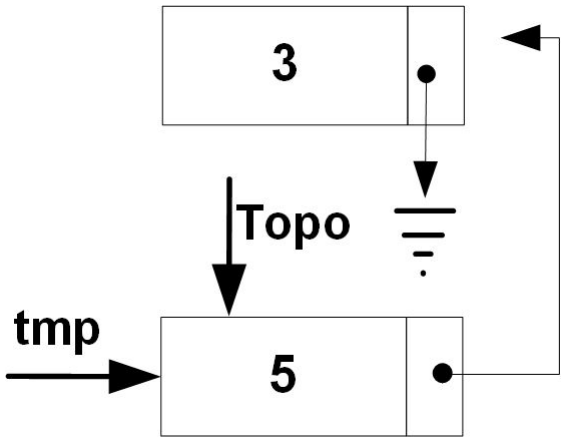
```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

```
void inserir(int x) {  //Inserir(5)
   Celula *tmp = novaCelula(x);
   tmp->prox = topo;
   topo = tmp;
   tmp = NULL;
}
```



Pilha Flexível

```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

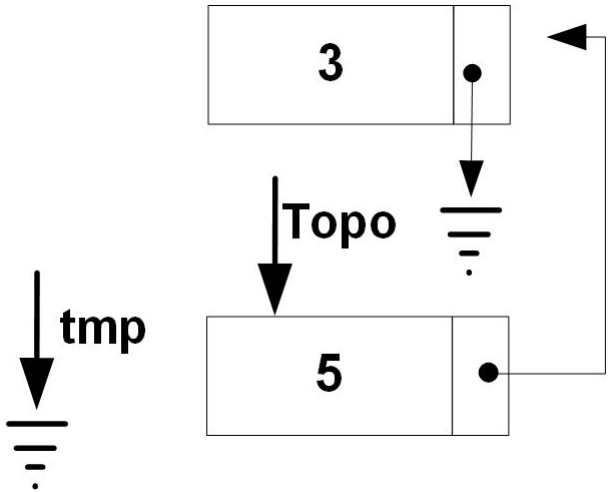



```
void inserir(int x) {  //Inserir(5)
   Celula *tmp = novaCelula(x);
   tmp->prox = topo;
   topo = tmp;
   tmp = NULL;
}
```

Pilha Flexível

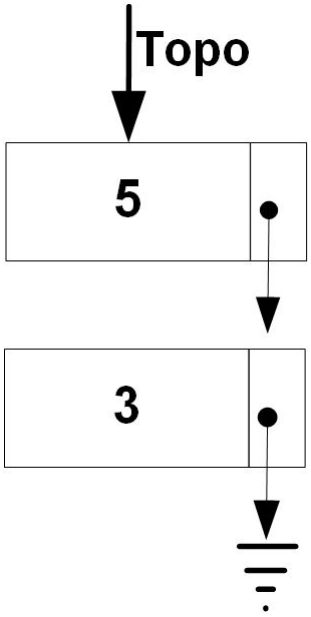
```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

```
void inserir(int x) {  //Inserir(5)
   Celula *tmp = novaCelula(x);
   tmp->prox = topo;
   topo = tmp;
   tmp = NULL;
}
```



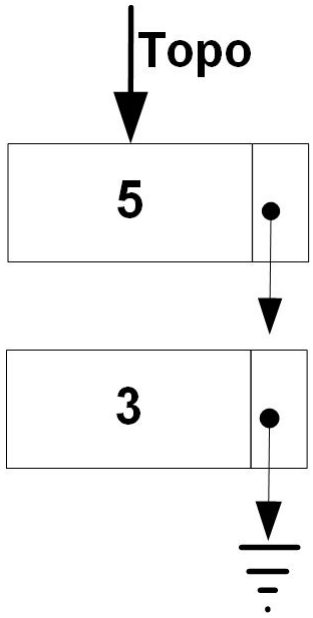
Pilha Flexível

```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```



Pilha Flexível

```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

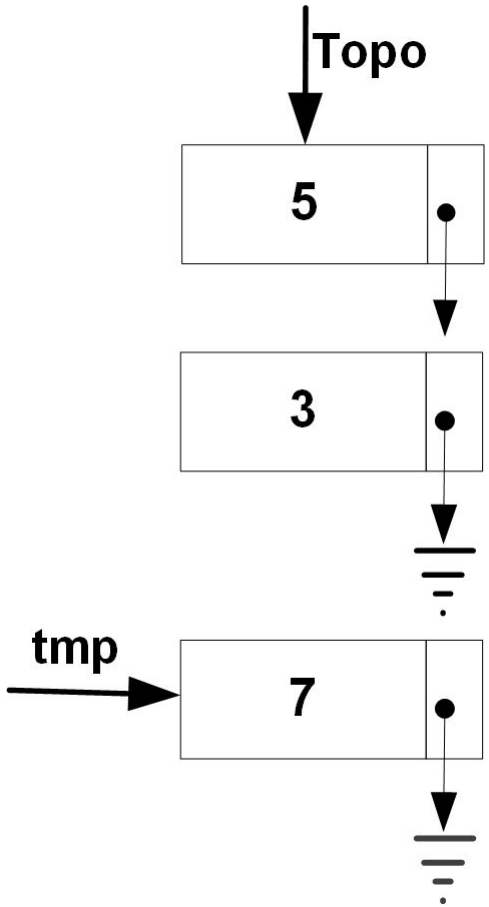



```
void inserir(int x) {  //Inserir(7)
   Celula *tmp = novaCelula(x);
   tmp->prox = topo;
   topo = tmp;
   tmp = NULL;
}
```

Pilha Flexível

```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

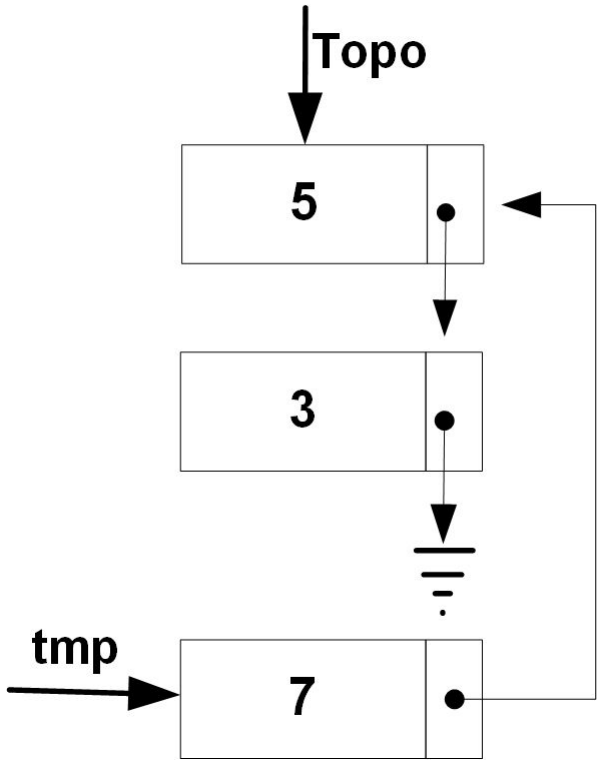
```
void inserir(int x) {  //Inserir(7)
   Celula *tmp = novaCelula(x);
   tmp->prox = topo;
   topo = tmp;
   tmp = NULL;
}
```



Pilha Flexível

```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

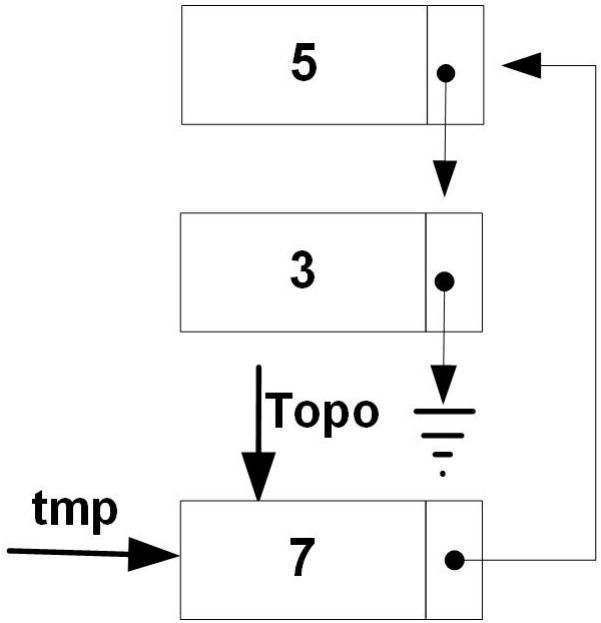
```
void inserir(int x) {  //Inserir(7)
   Celula *tmp = novaCelula(x);
   tmp->prox = topo;
   topo = tmp;
   tmp = NULL;
}
```



Pilha Flexível

```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

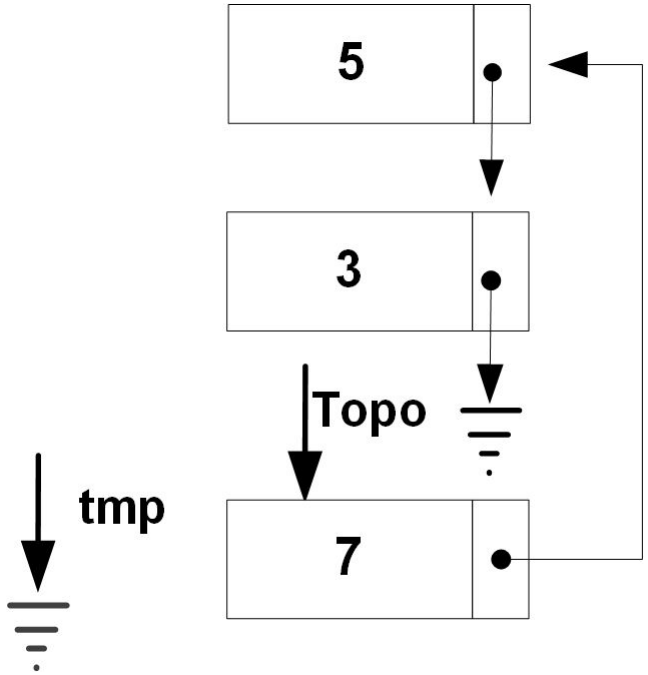
```
void inserir(int x) {  //Inserir(7)
   Celula *tmp = novaCelula(x);
   tmp->prox = topo;
   topo = tmp;
   tmp = NULL;
}
```



Pilha Flexível

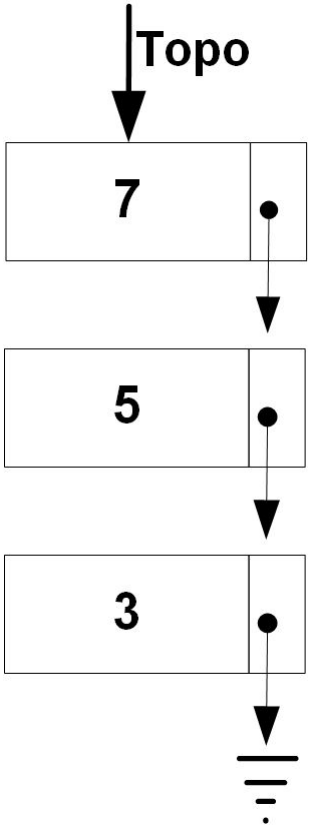
```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

```
void inserir(int x) {  //Inserir(7)
   Celula *tmp = novaCelula(x);
   tmp->prox = topo;
   topo = tmp;
   tmp = NULL;
}
```



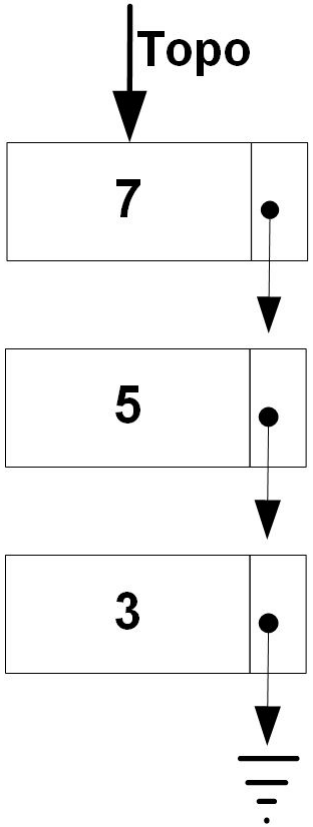
Pilha Flexível

```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```



Pilha Flexível

```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```



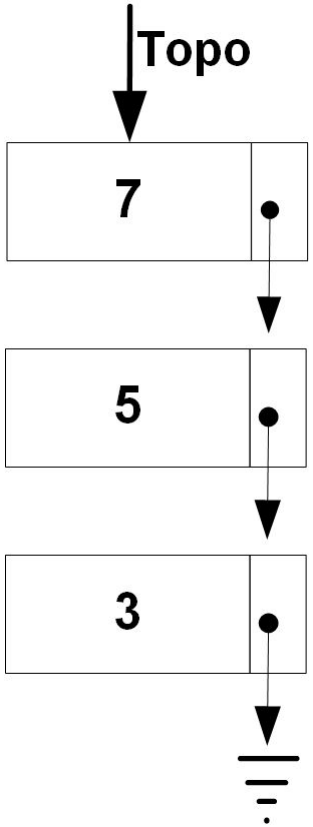

```
int remover() {
   if (topo == NULL)
      errx(1, "Erro!");
   int elemento = topo->elemento;
   Celula *tmp = topo;
   topo = topo->prox;
   tmp->prox = NULL;
   free(tmp);                tmp = NULL;
   return elemento;
}
```

Pilha Flexível

```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

```
int remover() {
   if (topo == NULL)
      errx(1, "Erro!");
   int elemento = topo->elemento;
   Celula *tmp = topo;
   topo = topo->prox;
   tmp->prox = NULL;
   free(tmp);                tmp = NULL;
   return elemento;
}
```

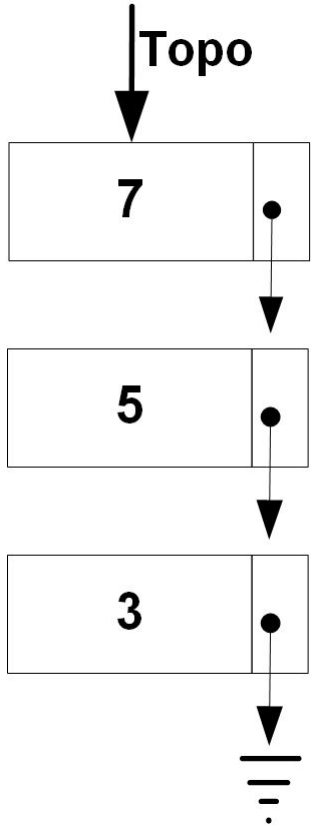
false



Pilha Flexível

```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

```
int remover() {
   if (topo == NULL)
      errx(1, "Erro!");
   int elemento = topo->elemento;
   Celula *tmp = topo;
   topo = topo->prox;
   tmp->prox = NULL;
   free(tmp);                tmp = NULL;
   return elemento;
}
```

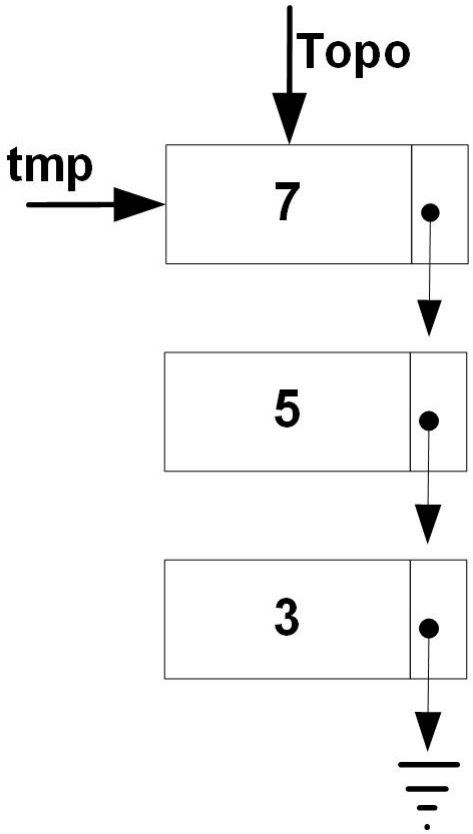


elemento 7

Pilha Flexível

```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

```
int remover() {
   if (topo == NULL)
      errx(1, "Erro!");
   int elemento = topo->elemento;
   Celula *tmp = topo;
   topo = topo->prox;
   tmp->prox = NULL;
   free(tmp);                tmp = NULL;
   return elemento;
}
```

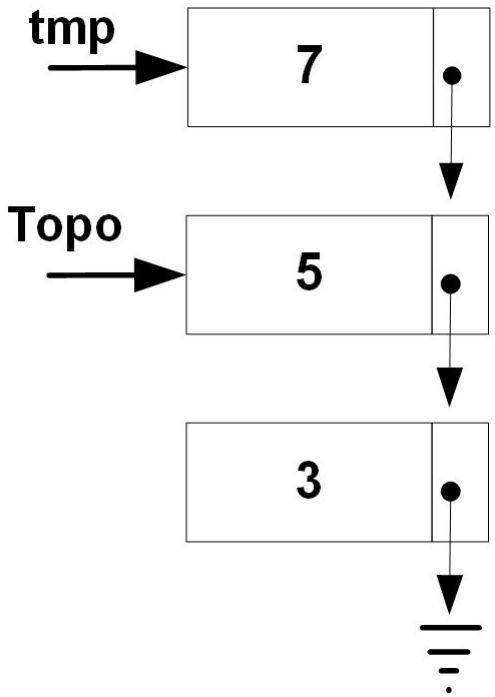


elemento 7

Pilha Flexível

```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

```
int remover() {
   if (topo == NULL)
      errx(1, "Erro!");
   int elemento = topo->elemento;
   Celula *tmp = topo;
   topo = topo->prox;
   tmp->prox = NULL;
   free(tmp);                tmp = NULL;
   return elemento;
}
```

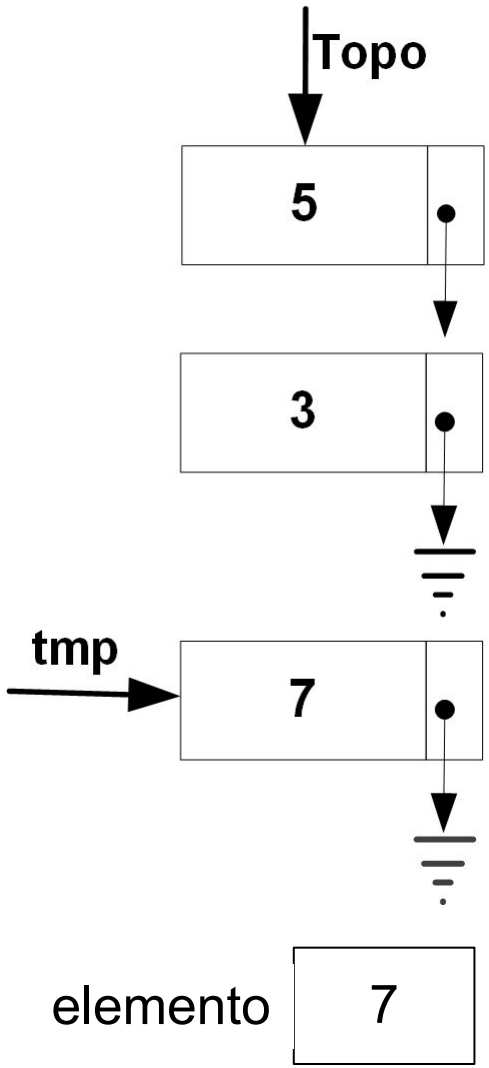


elemento 7

Pilha Flexível

```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

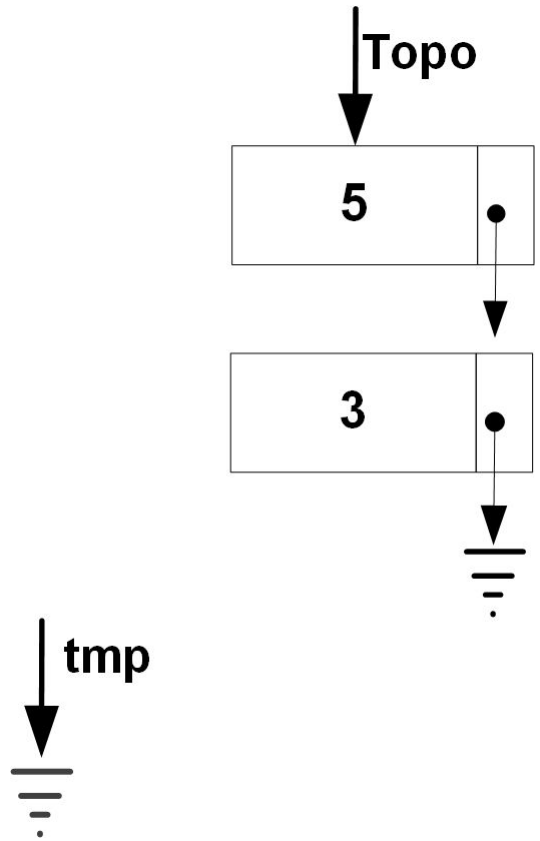
```
int remover() {
   if (topo == NULL)
      errx(1, "Erro!");
   int elemento = topo->elemento;
   Celula *tmp = topo;
   topo = topo->prox;
   tmp->prox = NULL;
   free(tmp);                tmp = NULL;
   return elemento;
}
```



Pilha Flexível

```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

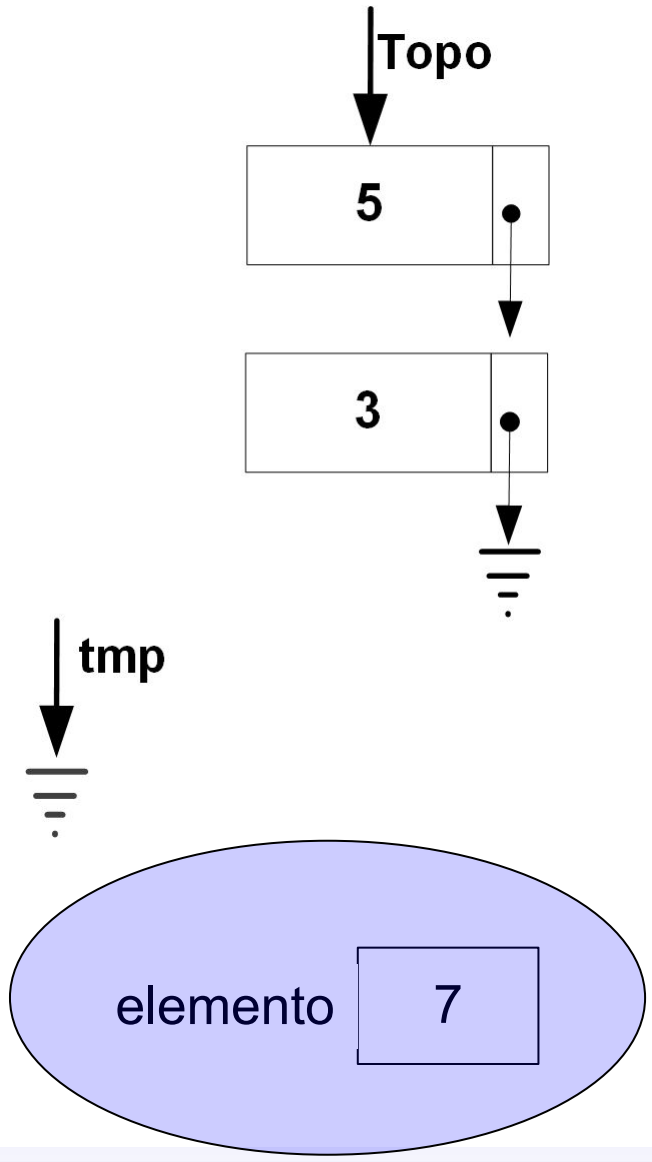
```
int remover() {
   if (topo == NULL)
      errx(1, "Erro!");
   int elemento = topo->elemento;
   Celula *tmp = topo;
   topo = topo->prox;
   tmp->prox = NULL;
   free(tmp);                tmp = NULL;
   return elemento;
}
```



Pilha Flexível

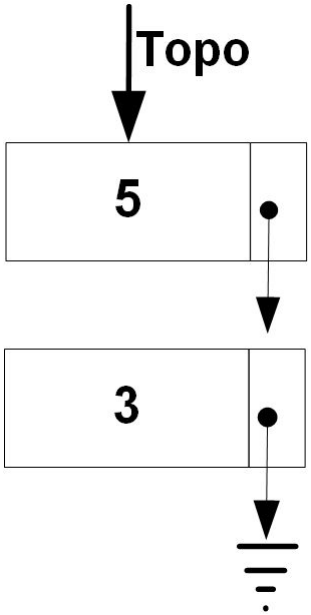
```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

```
int remover() {
   if (topo == NULL)
      errx(1, "Erro!");
   int elemento = topo->elemento;
   Celula *tmp = topo;
   topo = topo->prox;
   tmp->prox = NULL;
   free(tmp);                tmp = NULL;
   return elemento;
}
```



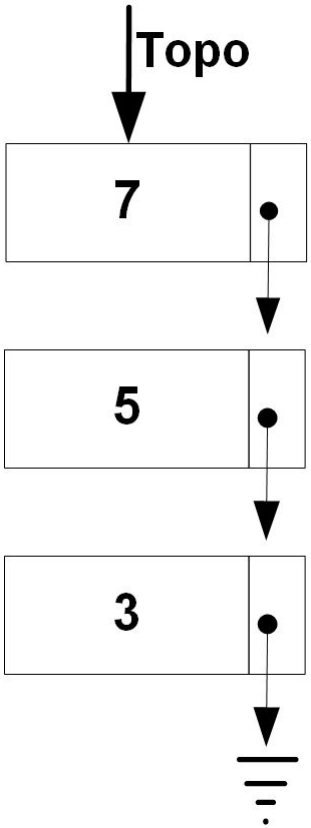
Pilha Flexível

```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```



Pilha Flexível

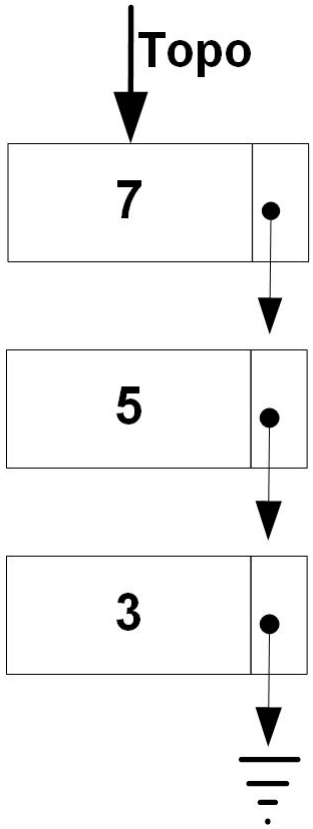
```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```



Pilha Flexível

```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

```
void mostrar() {
    Celula *i;
    printf("[ ");
    for (i = topo; i != NULL; i = i->prox){
        printf("%i  ", i->elemento);
    }
    printf("]");
}
```

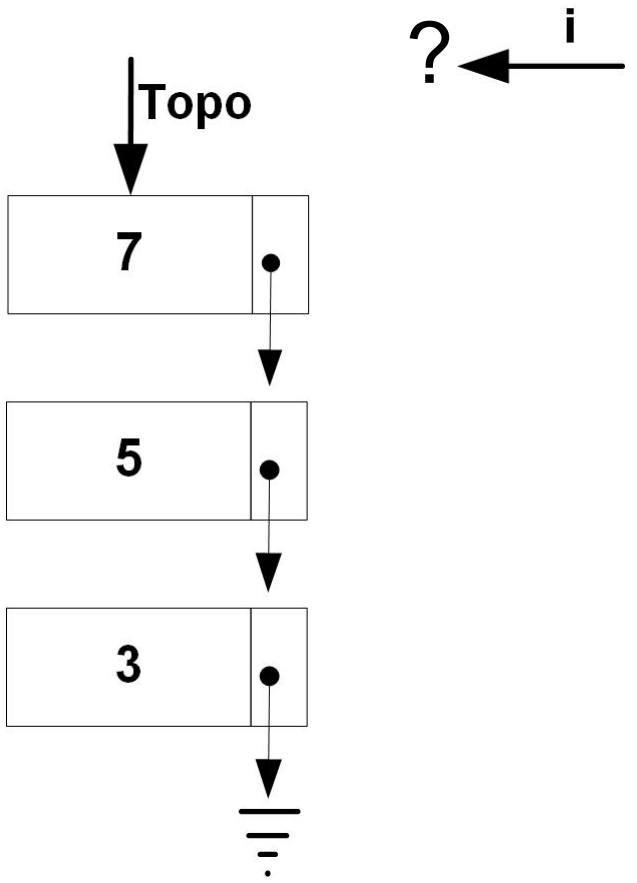


Saída na tela

Pilha Flexível

```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

```
void mostrar() {
    Celula *i;
    printf("[ ");
    for (i = topo; i != NULL; i = i->prox){
        printf("%i  ", i->elemento);
    }
    printf("]");
}
```

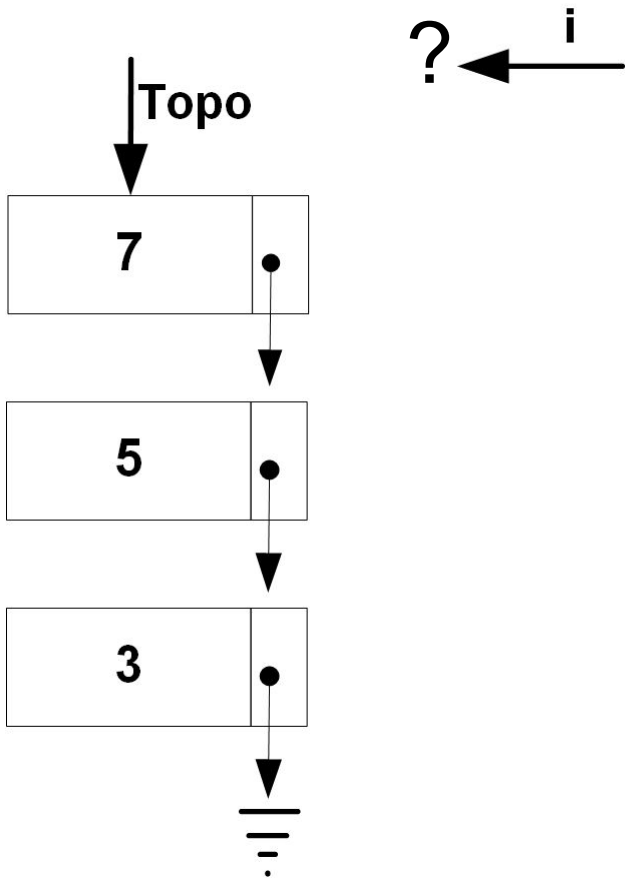


Saída na tela

Pilha Flexível

```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

```
void mostrar() {
    Celula *i;
    printf("[ ");
    for (i = topo; i != NULL; i = i->prox){
        printf("%i  ", i->elemento);
    }
    printf("]");
}
```



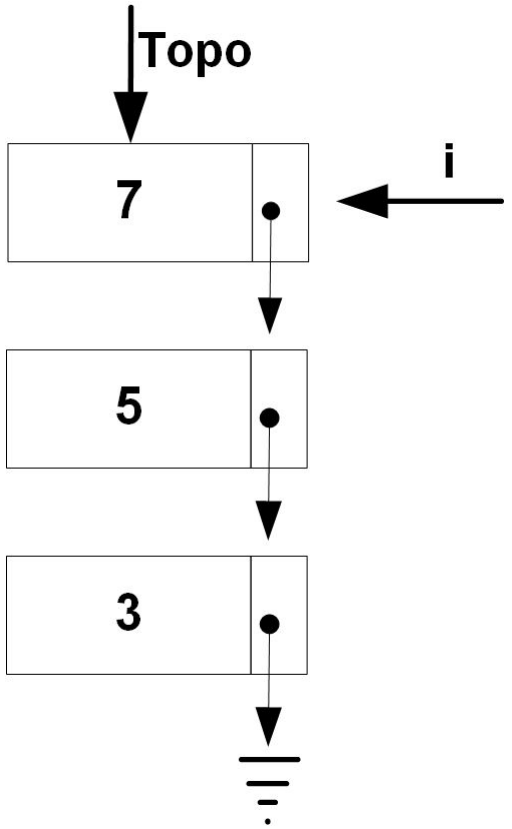
Saída na tela

[

Pilha Flexível

```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

```
void mostrar() {
      Celula *i;
      printf("[ ");
      for (i = topo; i != NULL; i = i->prox){
          printf("%i  ", i->elemento);
      }
      printf("]");
}
```



Saída na tela

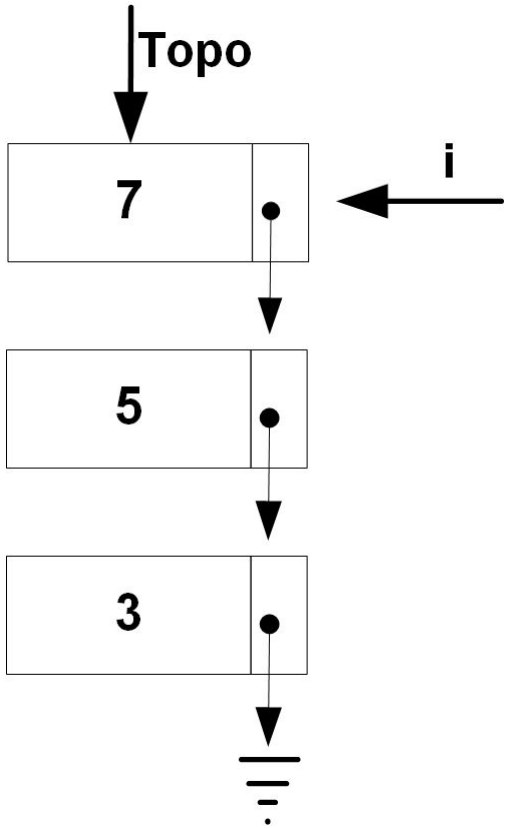
[

Pilha Flexível

```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

```
void mostrar() {
      Celula *i;
      printf("[ ");
      for (i = topo; i != NULL; i = i->prox){
          printf("%i  ", i->elemento);
      }
      printf("]");
}
```

true



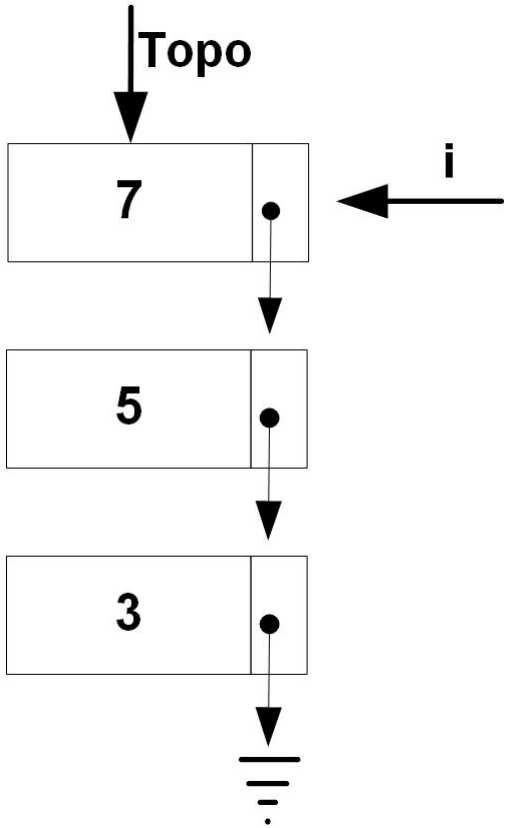
Saída na tela

[

Pilha Flexível

```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

```
void mostrar() {
    Celula *i;
    printf("[ ");
    for (i = topo; i != NULL; i = i->prox){
        printf("%i  ", i->elemento);
    }
    printf("]");
}
```



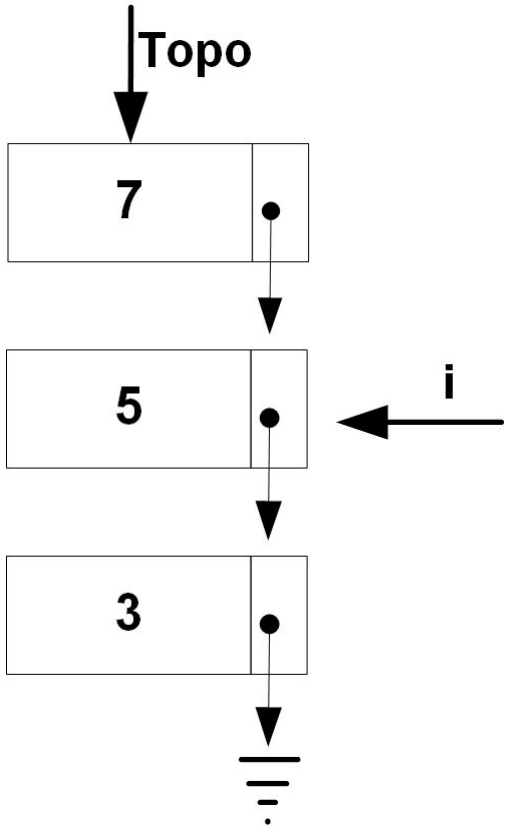
Saída na tela

```
[ 7
```

Pilha Flexível

```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

```
void mostrar() {
    Celula *i;
    printf("[ ");
    for (i = topo; i != NULL; i = i->prox){
        printf("%i  ", i->elemento);
    }
    printf("]");
}
```



Saída na tela

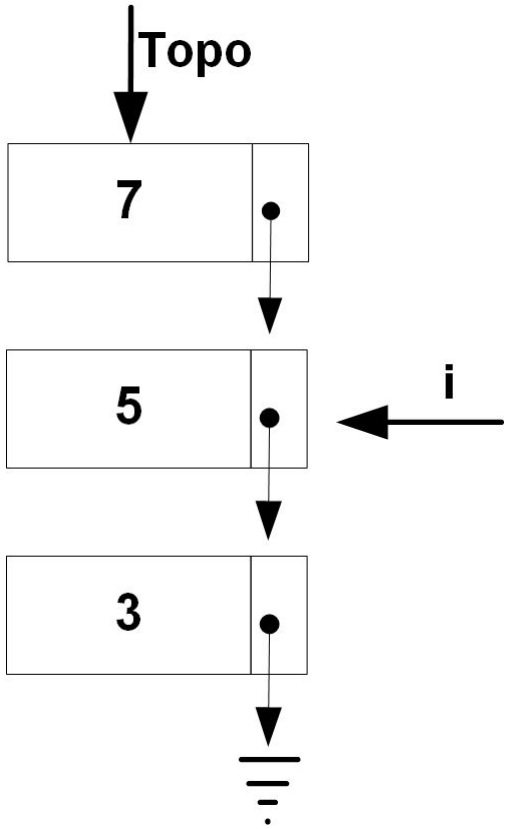
```
[ 7
```

Pilha Flexível

```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

```
void mostrar() {
      Celula *i;
      printf("[ ");
      for (i = topo; i != NULL; i = i->prox){
          printf("%i  ", i->elemento);
      }
      printf("]");
}
```

true



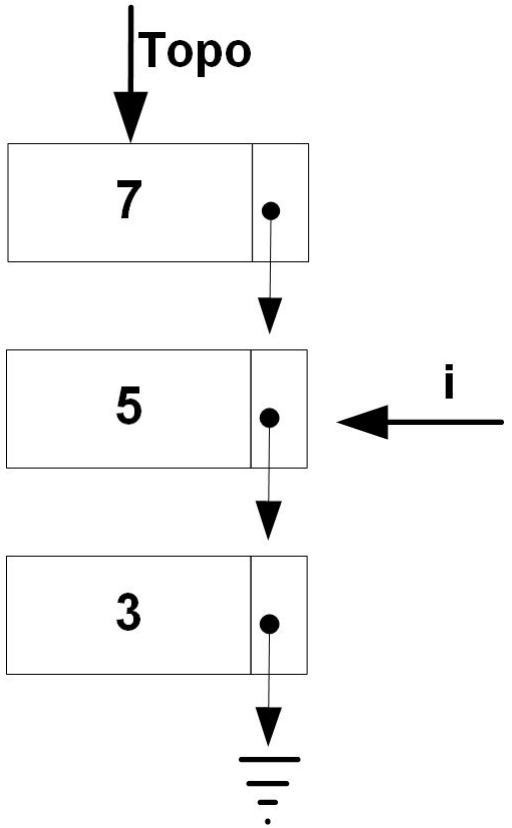
Saída na tela

```
[ 7
```

Pilha Flexível

```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

```
void mostrar() {
    Celula *i;
    printf("[ ");
    for (i = topo; i != NULL; i = i->prox){
        printf("%i  ", i->elemento);
    }
    printf("]");
}
```



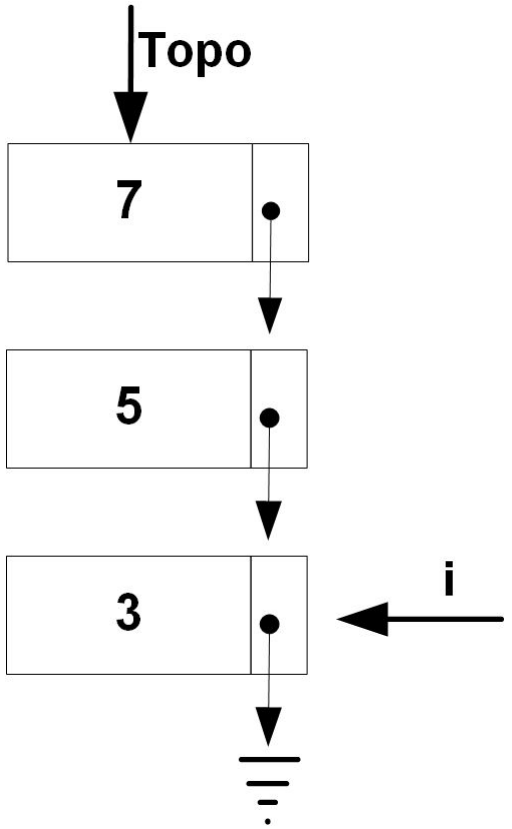
Saída na tela

```
[ 7  5
```

Pilha Flexível

```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

```
void mostrar() {
    Celula *i;
    printf("[ ");
    for (i = topo; i != NULL; i = i->prox){
        printf("%i  ", i->elemento);
    }
    printf("]");
}
```



Saída na tela

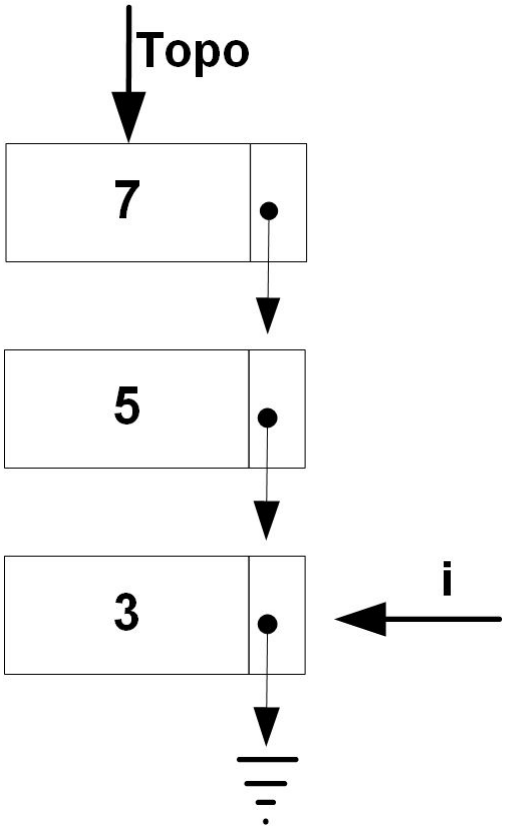
```
[ 7  5
```

Pilha Flexível

```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

```
void mostrar() {
      Celula *i;
      printf("[ ");
      for (i = topo; i != NULL; i = i->prox){
          printf("%i  ", i->elemento);
      }
      printf("]");
}
```

true



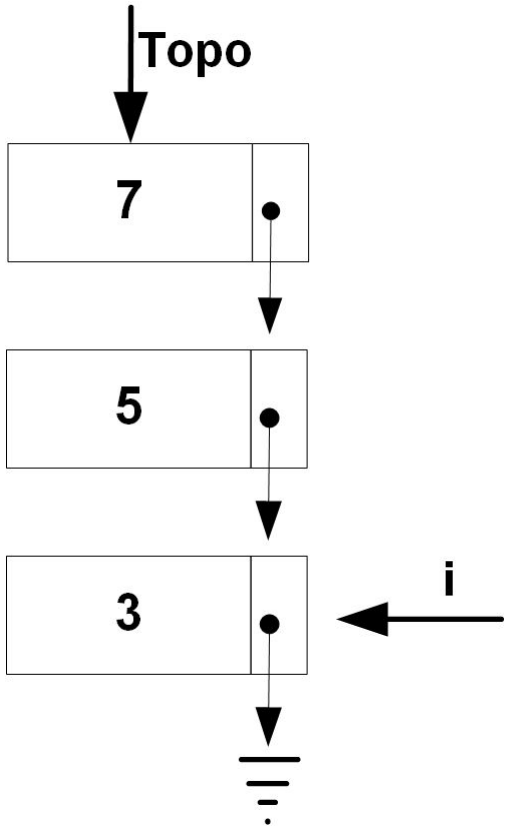
Saída na tela

```
[ 7  5
```

Pilha Flexível

```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

```
void mostrar() {
    Celula *i;
    printf("[ ");
    for (i = topo; i != NULL; i = i->prox){
        printf("%i  ", i->elemento);
    }
    printf("]");
}
```



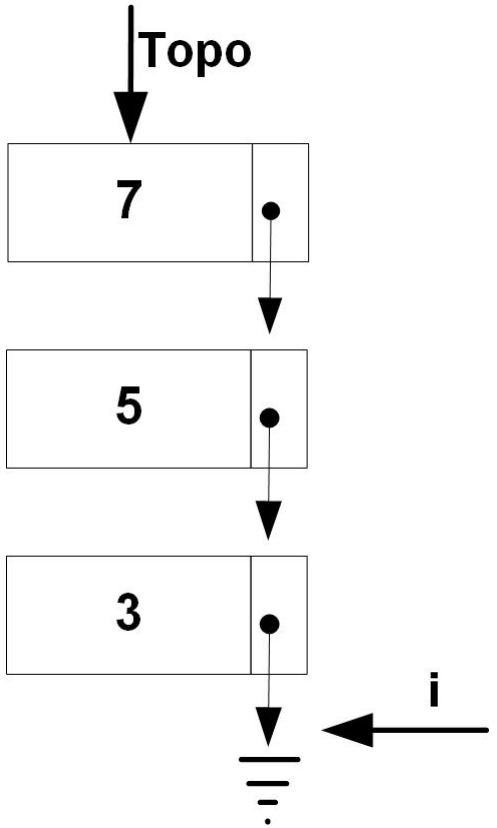
Saída na tela

```
[ 7  5  3
```

Pilha Flexível

```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

```
void mostrar() {
    Celula *i;
    printf("[ ");
    for (i = topo; i != NULL; i = i->prox){
        printf("%i  ", i->elemento);
    }
    printf("]");
}
```



Saída na tela

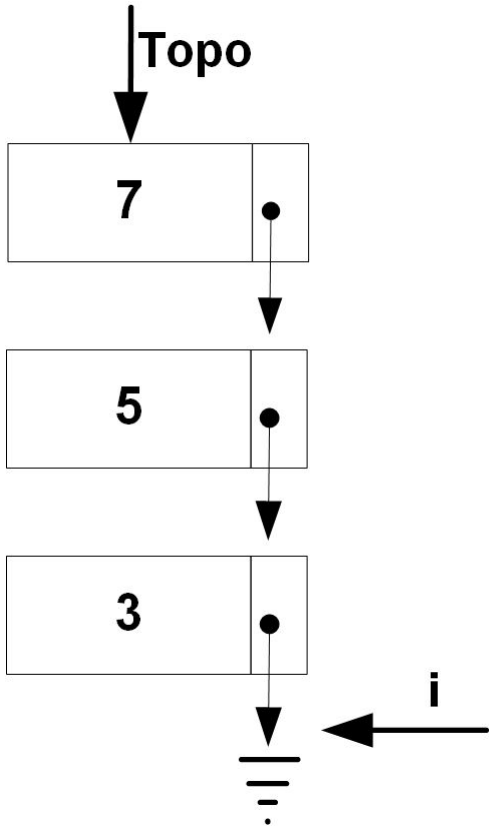
```
[ 7  5  3
```

Pilha Flexível

```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

```
void mostrar() {
      Celula *i;
      printf("[ ");
      for (i = topo; i != NULL; i = i->prox){
          printf("%i  ", i->elemento);
      }
      printf("]");
}
```

false



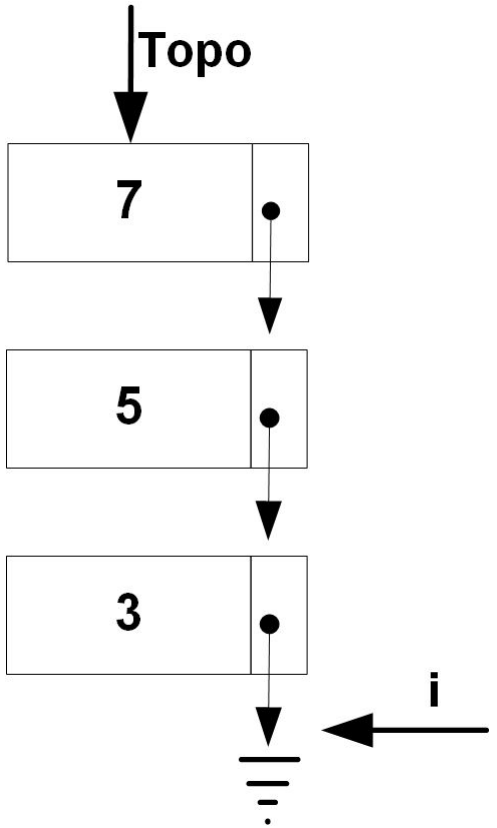
Saída na tela

```
[ 7  5  3
```

Pilha Flexível

```
Celula *topo;
void start() {
        topo = NULL;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

```
void mostrar() {
    Celula *i;
    printf("[ ");
    for (i = topo; i != NULL; i = i->prox){
        printf("%i  ", i->elemento);
    }
    printf("]");
}
```



Saída na tela

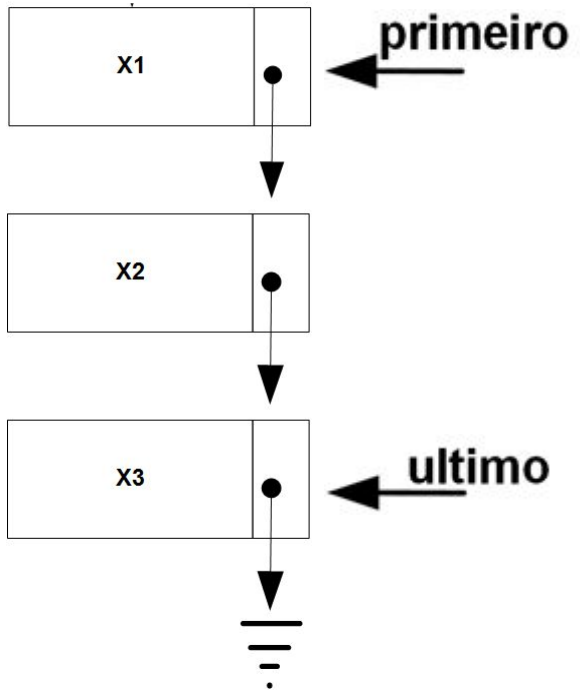
```
[ 7  5  3 ]
```

Sumário

- Alocação dinâmica
- Pilha flexível
- **Fila flexível**
- Lista simples flexível (lista simplesmente encadeada)
- Lista dupla flexível (lista duplamente encadeada)

Fila Flexível

- Código fonte:

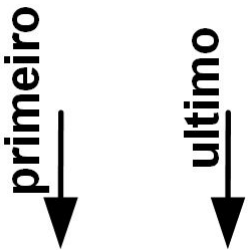


Fila Flexível

```
Celula *primeiro, *ultimo;
void start () {
        primeiro = novaCelula(-1);
        ultimo = primeiro;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

Fila Flexível

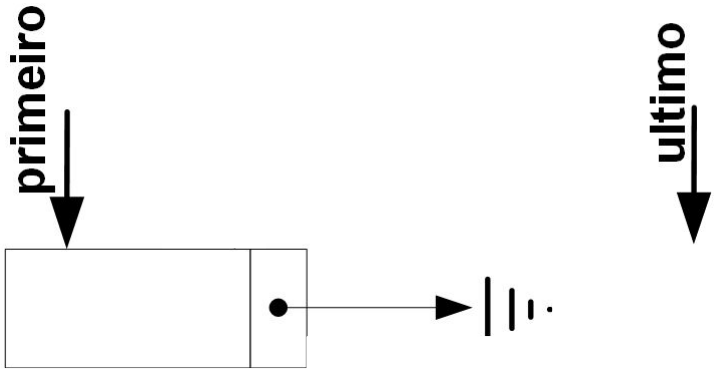
```
Celula *primeiro, *ultimo;
void start () {
      primeiro = novaCelula(-1);
      ultimo = primeiro;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```



Fila Flexível

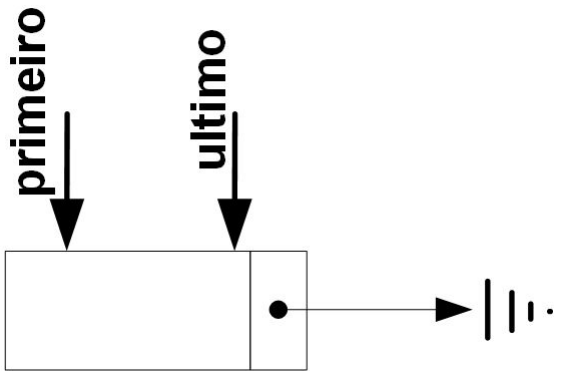
```
Celula *primeiro, *ultimo;
void start () {
      primeiro = novaCelula(-1);
      ultimo = primeiro;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

A primeira célula da nossa fila é o nó cabeça, célula "café com leite" cuja função é eliminar um if no inserir



Fila Flexível

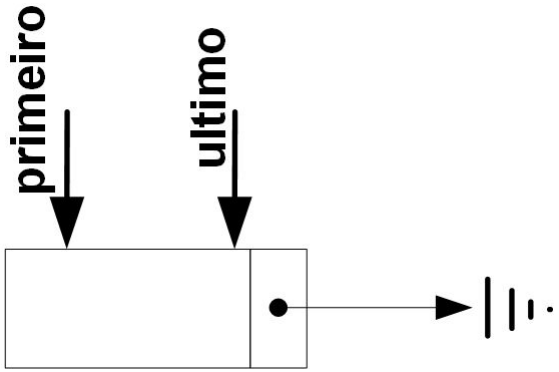
```
Celula *primeiro, *ultimo;
void start () {
      primeiro = novaCelula(-1);
      ultimo = primeiro;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```



Fila Flexível

```
Celula *primeiro, *ultimo;
void start () {
      primeiro = novaCelula(-1);
      ultimo = primeiro;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

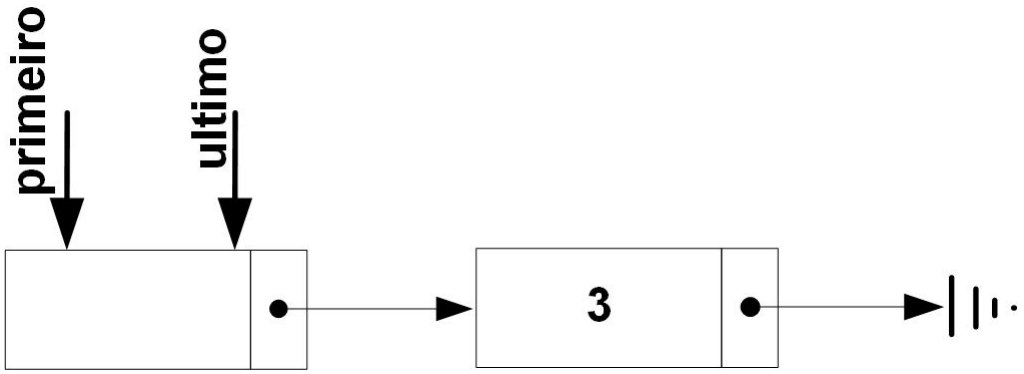
```
void inserir(int x) {  //Inserir(3)
     ultimo->prox = novaCelula(x);
     ultimo = ultimo->prox;
}
```



Fila Flexível

```
Celula *primeiro, *ultimo;
void start () {
      primeiro = novaCelula(-1);
      ultimo = primeiro;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

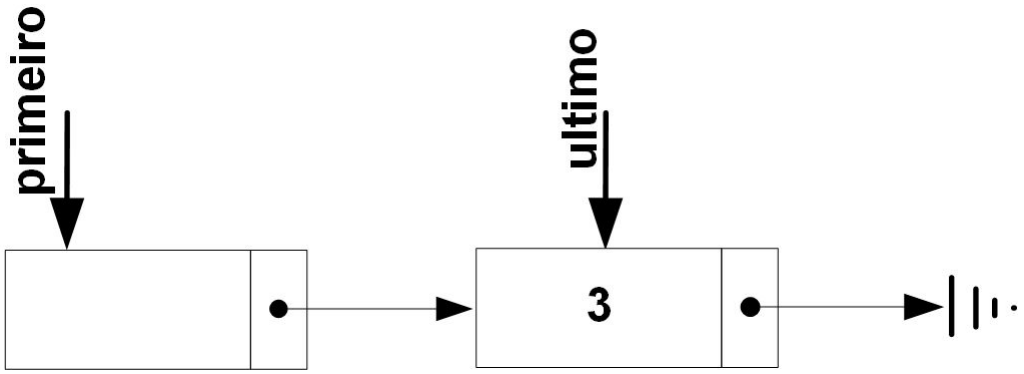
```
void inserir(int x) {  //Inserir(3)
      ultimo->prox = novaCelula(x);
      ultimo = ultimo->prox;
}
```



Fila Flexível

```
Celula *primeiro, *ultimo;
void start () {
      primeiro = novaCelula(-1);
      ultimo = primeiro;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

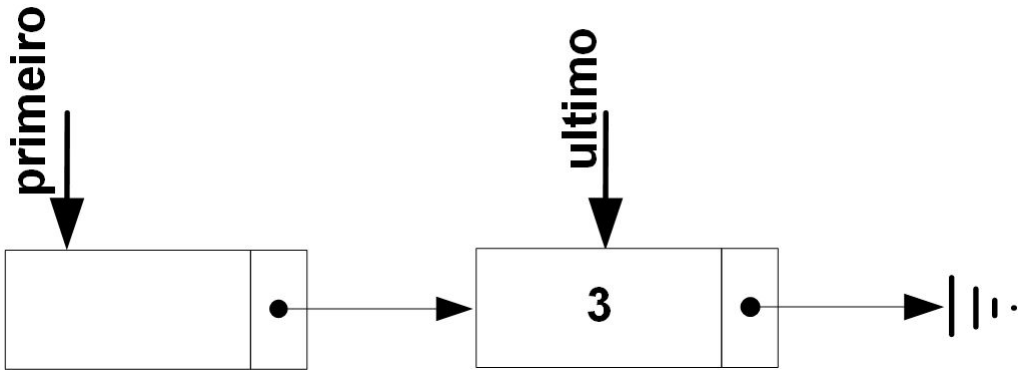
```
void inserir(int x) {  //Inserir(3)
    ultimo->prox = novaCelula(x);
    ultimo = ultimo->prox;
}
```



Fila Flexível

```
Celula *primeiro, *ultimo;
void start () {
      primeiro = novaCelula(-1);
      ultimo = primeiro;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

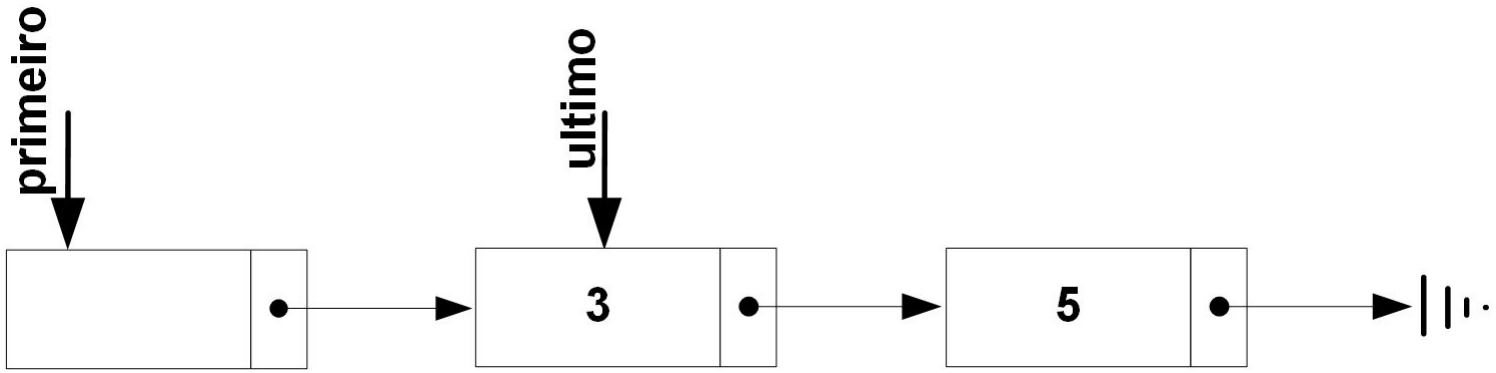
```
void inserir(int x) {  //Inserir(5)
     ultimo->prox = novaCelula(x);
     ultimo = ultimo->prox;
}
```



Fila Flexível

```
Celula *primeiro, *ultimo;
void start () {
      primeiro = novaCelula(-1);
      ultimo = primeiro;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

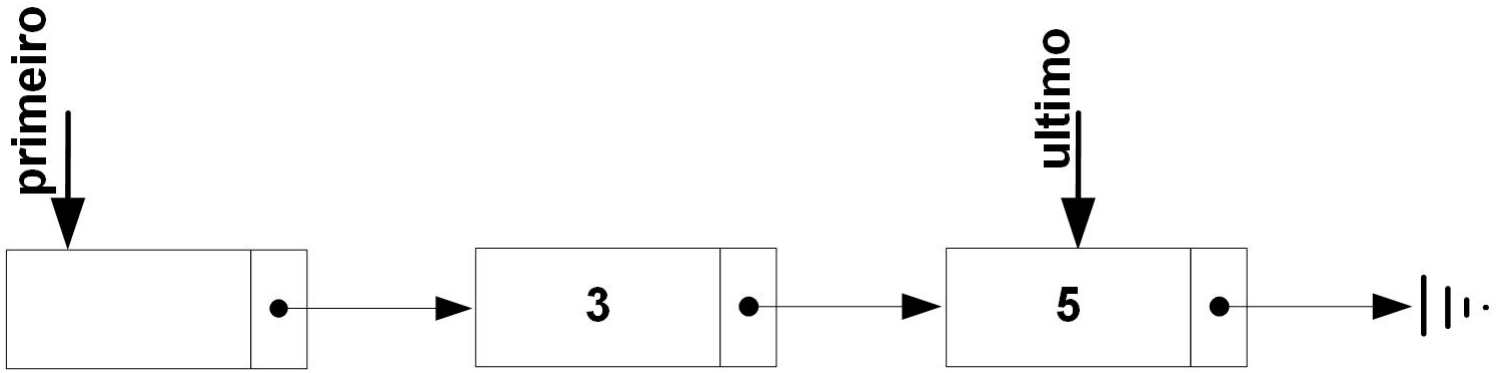
```
void inserir(int x) {  //Inserir(5)
      ultimo->prox = novaCelula(x);
      ultimo = ultimo->prox;
}
```



Fila Flexível

```
Celula *primeiro, *ultimo;
void start () {
      primeiro = novaCelula(-1);
      ultimo = primeiro;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

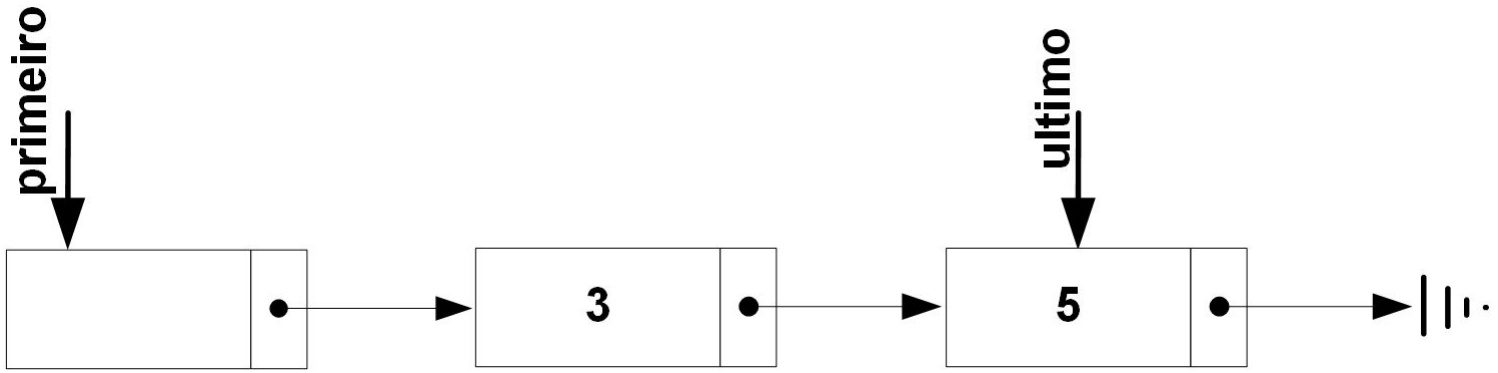
```
void inserir(int x) {  //Inserir(5)
      ultimo->prox = novaCelula(x);
      ultimo = ultimo->prox;
}
```



Fila Flexível

```
Celula *primeiro, *ultimo;
void start () {
      primeiro = novaCelula(-1);
      ultimo = primeiro;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

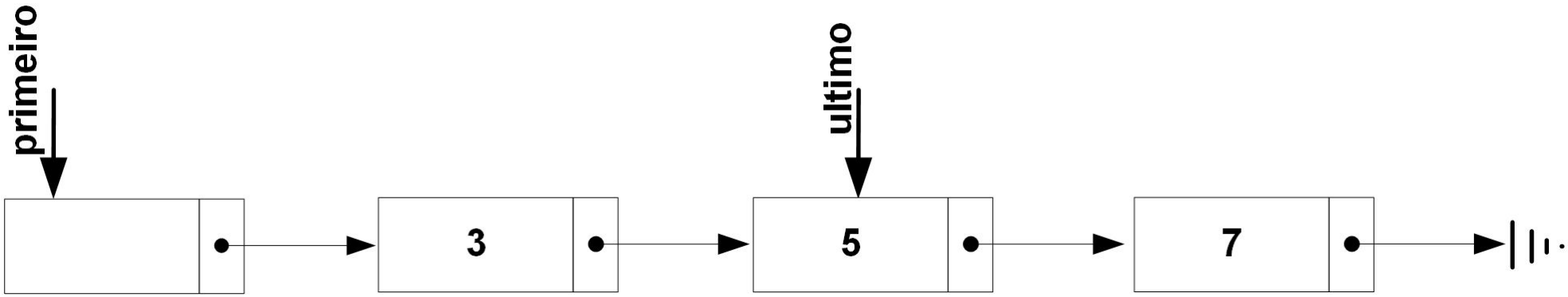
```
void inserir(int x) {  //Inserir(7)
     ultimo->prox = novaCelula(x);
     ultimo = ultimo->prox;
}
```



Fila Flexível

```
Celula *primeiro, *ultimo;
void start () {
      primeiro = novaCelula(-1);
      ultimo = primeiro;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

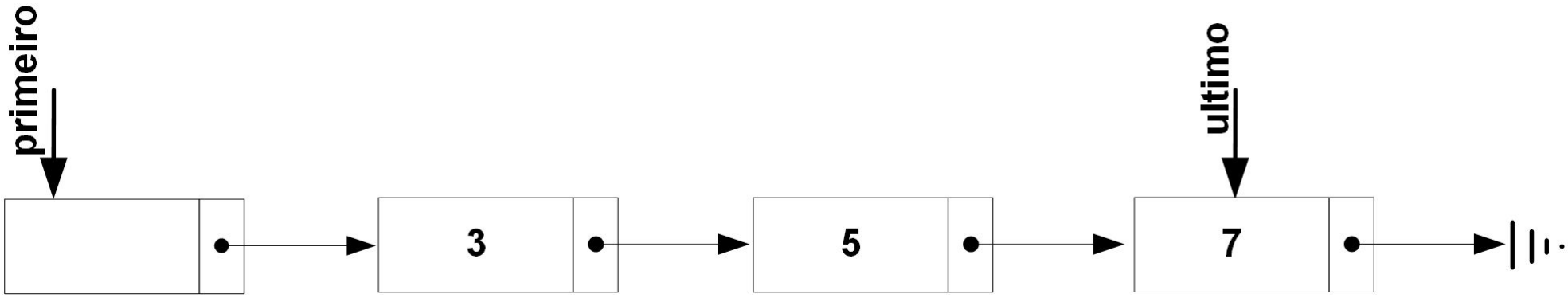
```
void inserir(int x) {  //Inserir(7)
      ultimo->prox = novaCelula(x);
      ultimo = ultimo->prox;
}
```



Fila Flexível

```
Celula *primeiro, *ultimo;
void start () {
      primeiro = novaCelula(-1);
      ultimo = primeiro;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

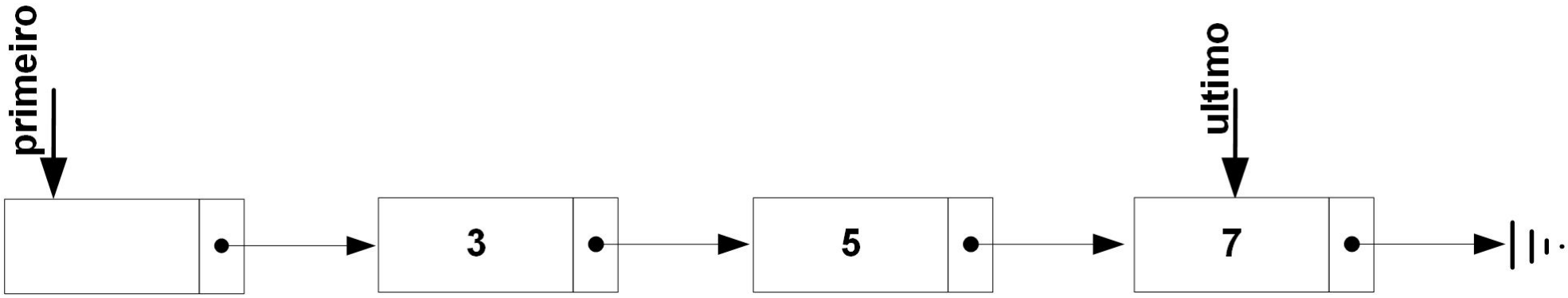
```
void inserir(int x) {  //Inserir(7)
    ultimo->prox = novaCelula(x);
    ultimo = ultimo->prox;
}
```



Fila Flexível

```
Celula *primeiro, *ultimo;
void start () {
        primeiro = novaCelula(-1);
        ultimo = primeiro;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

```
int remover(){
   if (primeiro == ultimo)
      errx(1, "Erro!");
   Celula *tmp = primeiro;
   primeiro = primeiro->prox;
   int elemento = primeiro->elemento;
   tmp->prox = NULL;
   free(tmp);          tmp = NULL;
   return elemento;
}
```

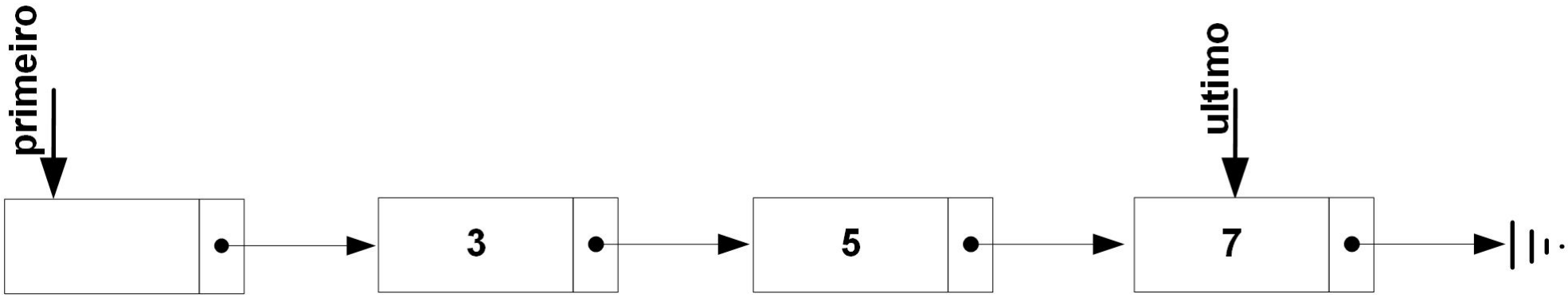


Fila Flexível

```
Celula *primeiro, *ultimo;
void start () {
        primeiro = novaCelula(-1);
        ultimo = primeiro;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

```
int remover(){
   if (primeiro == ultimo)
      errx(1, "Erro!");
   Celula *tmp = primeiro;
   primeiro = primeiro->prox;
   int elemento = primeiro->elemento;
   tmp->prox = NULL;
   free(tmp);          tmp = NULL;
   return elemento;
}
```

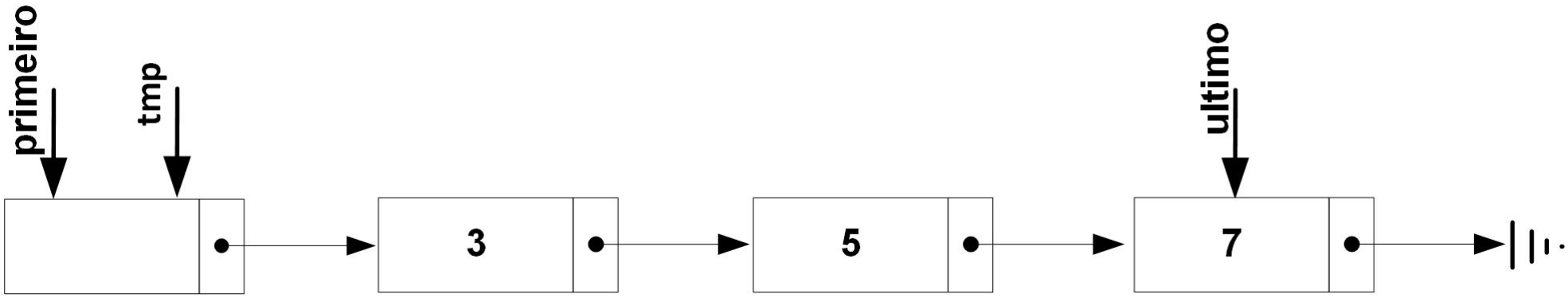
false



Fila Flexível

```
Celula *primeiro, *ultimo;
void start () {
        primeiro = novaCelula(-1);
        ultimo = primeiro;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

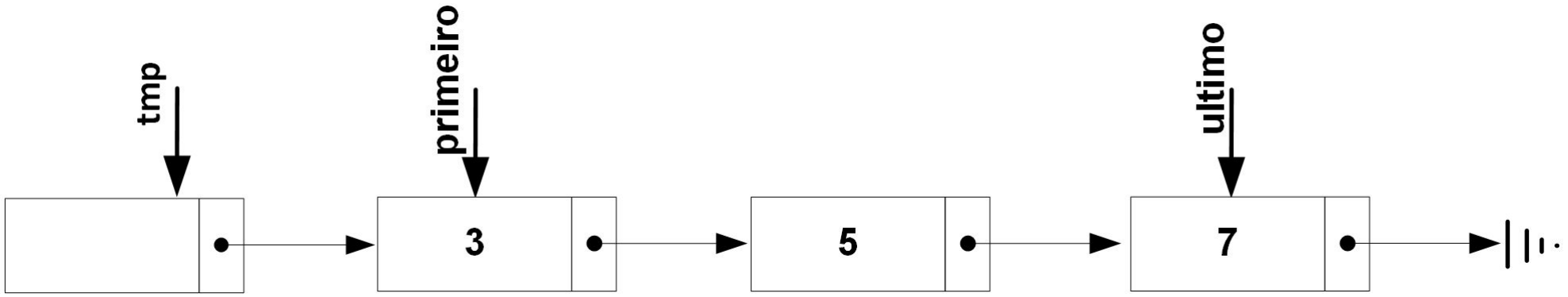
```
int remover(){
   if (primeiro == ultimo)
      errx(1, "Erro!”);
   Celula *tmp = primeiro;
   primeiro = primeiro->prox;
   int elemento = primeiro->elemento;
   tmp->prox = NULL;
   free(tmp);          tmp = NULL;
   return elemento;
}
```



Fila Flexível

```
Celula *primeiro, *ultimo;
void start () {
        primeiro = novaCelula(-1);
        ultimo = primeiro;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

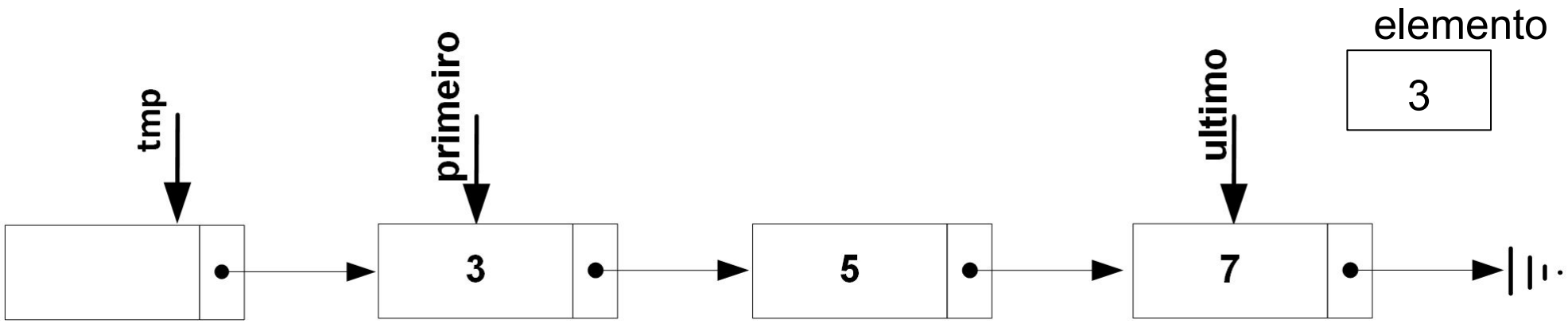
```
int remover(){
   if (primeiro == ultimo)
      errx(1, "Erro!");
   Celula *tmp = primeiro;
   primeiro = primeiro->prox;
   int elemento = primeiro->elemento;
   tmp->prox = NULL;
   free(tmp);          tmp = NULL;
   return elemento;
}
```



Fila Flexível

```
Celula *primeiro, *ultimo;
void start () {
        primeiro = novaCelula(-1);
        ultimo = primeiro;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

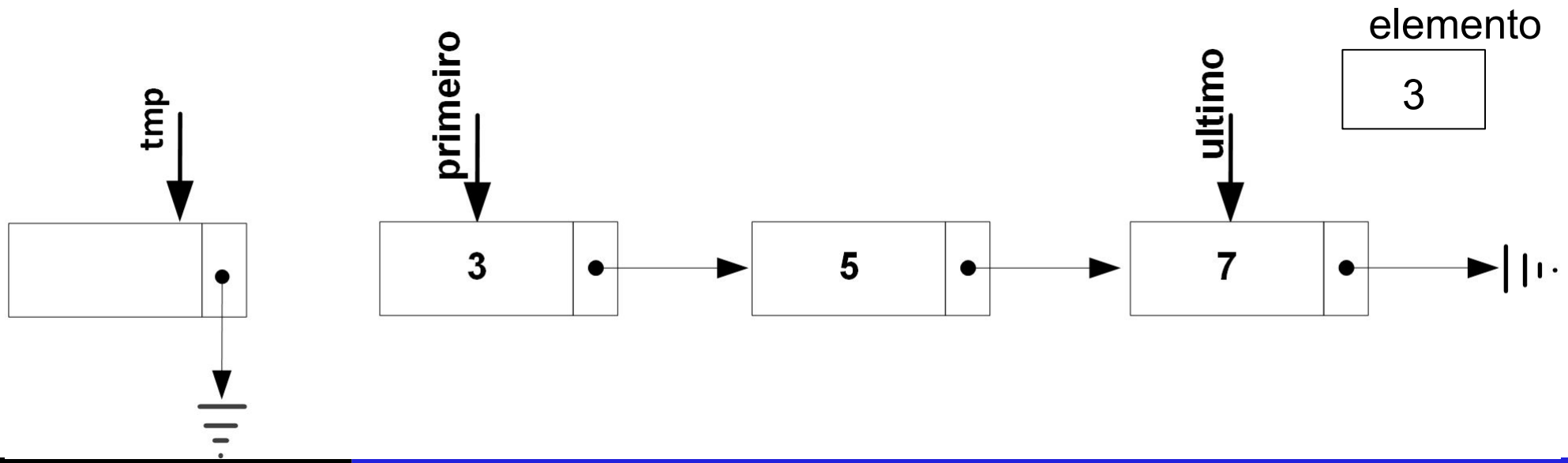
```
int remover(){
   if (primeiro == ultimo)
      errx(1, "Erro!");
   Celula *tmp = primeiro;
   primeiro = primeiro->prox;
   int elemento = primeiro->elemento;
   tmp->prox = NULL;
   free(tmp);          tmp = NULL;
   return elemento;
}
```



Fila Flexível

```
Celula *primeiro, *ultimo;
void start () {
        primeiro = novaCelula(-1);
        ultimo = primeiro;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

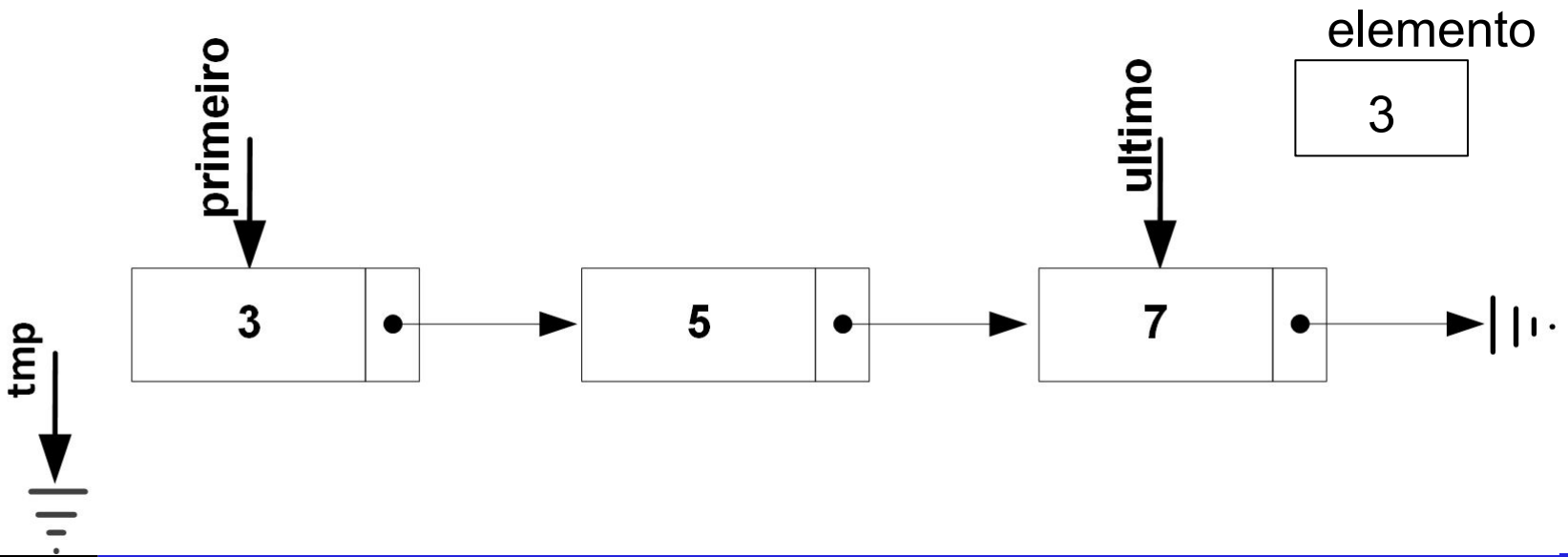
```
int remover(){
   if (primeiro == ultimo)
      errx(1, "Erro!");
   Celula *tmp = primeiro;
   primeiro = primeiro->prox;
   int elemento = primeiro->elemento;
   tmp->prox = NULL;
   free(tmp);          tmp = NULL;
   return elemento;
}
```



Fila Flexível

```
Celula *primeiro, *ultimo;
void start () {
        primeiro = novaCelula(-1);
        ultimo = primeiro;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

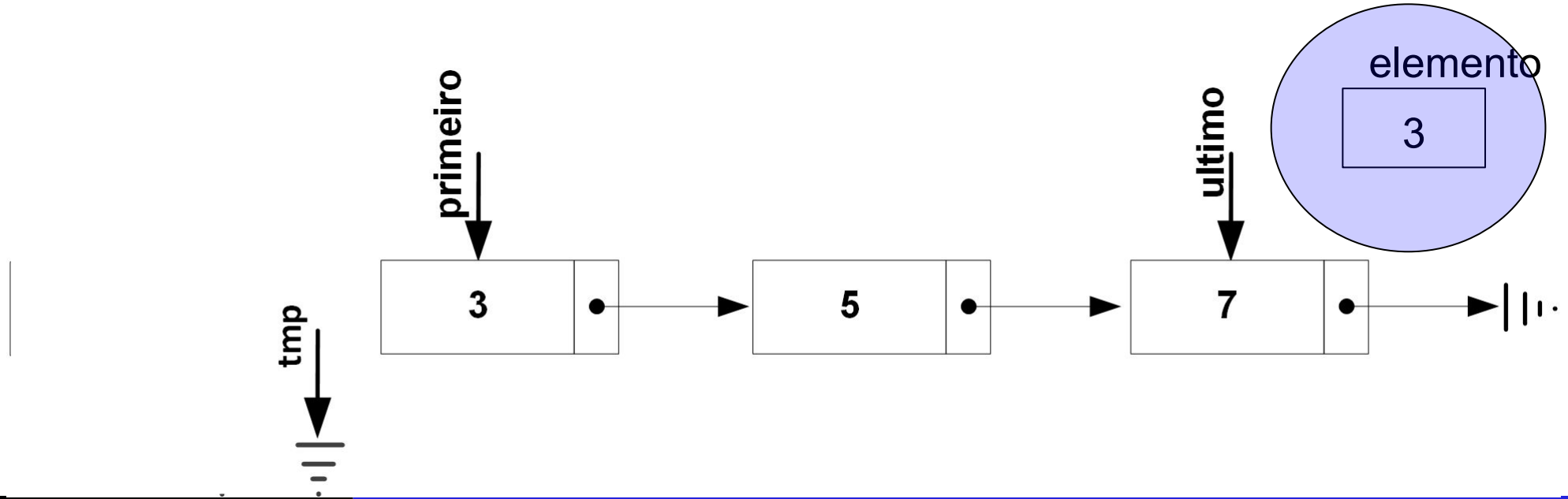
```
int remover(){
   if (primeiro == ultimo)
      errx(1, "Erro!");
   Celula *tmp = primeiro;
   primeiro = primeiro->prox;
   int elemento = primeiro->elemento;
   tmp->prox = NULL;
   free(tmp);          tmp = NULL;
   return elemento;
}
```



Fila Flexível

```
Celula *primeiro, *ultimo;
void start () {
        primeiro = novaCelula(-1);
        ultimo = primeiro;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

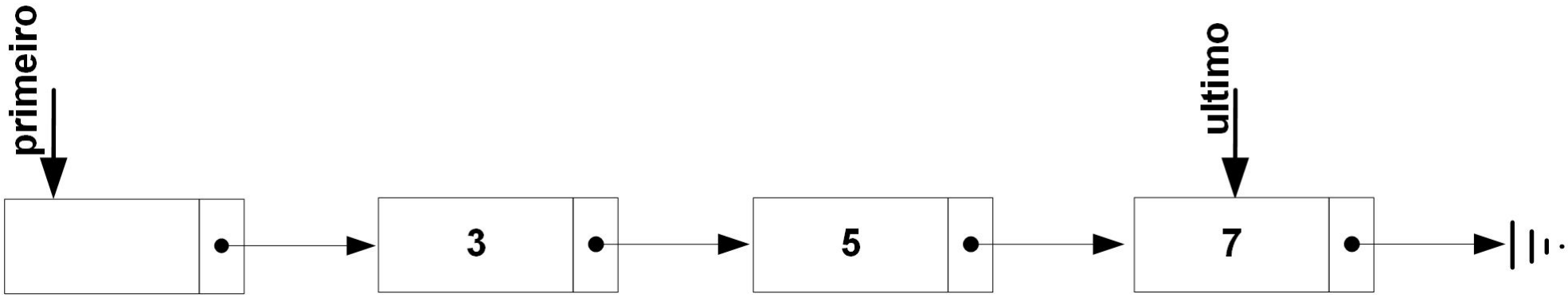
```
int remover(){
   if (primeiro == ultimo)
      errx(1, "Erro!");
   Celula *tmp = primeiro;
   primeiro = primeiro->prox;
   int elemento = primeiro->elemento;
   tmp->prox = NULL;
   free(tmp);          tmp = NULL;
   return elemento;
}
```



Fila Flexível

- Exercício: O método remover apresentado remove fisicamente o nó cabeça e faz com que a célula do três seja a cabeça. Como alterar nosso remover para que ele remova fisicamente a célula do três ? **(FAZER AGORA)**

Dica: Execute seu método na fila abaixo

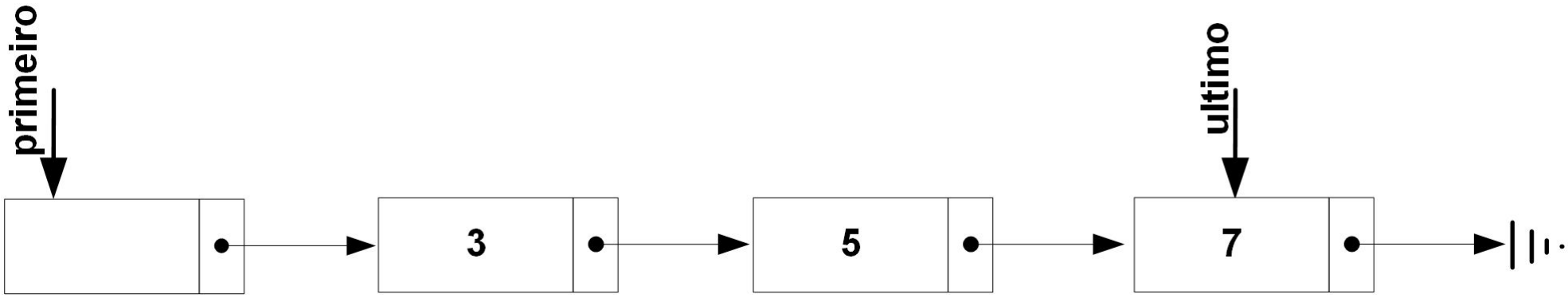


Fila Flexível

- Exercício: O método remover apresentado
e faz com que a célula do três seja a cabeç
para que ele remova fisicamente a célula d

Dica: Execute seu método na fila abaixo

```
int remover(){
   if (primeiro == ultimo)
      errx(1, "Erro!”);
   Celula *tmp = primeiro->prox;
   primeiro = primeiro->prox->prox;
   int elemento = tmp->elemento;
   tmp->prox = NULL;
   free(tmp);          tmp = NULL;
   return elemento;
}
```



Fila Flexível

```
Celula *primeiro, *ultimo;
void start () {
      primeiro = novaCelula(-1);
      ultimo = primeiro;
}
void inserir(int x) { ... }
int remover() { ... }
void mostrar() { ... }
```

```
void mostrar() {
   // Exercício: Implemente este método
}
```

Fila Flexível

- Exercício: Seja nossa Fila, faça um método que retorne o maior elemento contido na mesma **(FAZER AGORA)**

Fila Flexível

- Exercício: Seja nossa Fila, faça um método que retorne o maior elemento contido na mesma **(FAZER AGORA)**

```
int maior() {
int maior = - 1;
if (primeiro == ultimo) {
        errx(1, "Erro!”);
} else {
                maior = primeiro->prox->elemento;
                Celula *i = primeiro->prox->prox;
                while (i != NULL){
                        if (i->elemento > maior) {
                                maior = i->elemento;
                        }
                        i = i->prox;
        }       }
        return maior;
}
```

Fila Flexível

- Exercício: Seja nossa Fila, faça um método para mostrar o terceiro elemento supondo que o mesmo existe **(FAZER AGORA)**

Fila Flexível

- Exercício: Seja nossa Fila, faça um método para mostrar o terceiro elemento supondo que o mesmo existe **(FAZER AGORA)**

```
int mostrarTerceiroElemento(){
    return (primeiro->prox->prox->prox->elemento);
}
```

Fila Flexível

- Exercício: Seja nossa Fila, faça um método que soma o conteúdo dos elementos contidos na mesma

Fila Flexível

- Exercício: Seja nossa Fila, faça um método que soma o conteúdo dos elementos contidos na mesma

```
int somar() {
int elemento = 0;
    for (Celula *i = primeiro->prox; i != NULL; i = i->prox) {
        elemento += i->elemento;
    }
    return elemento;
}
```

Fila Flexível

- Exercício: Seja nossa Fila, faça um método que inverta a ordem dos seus elementos

Fila Flexível

- Exercício: Seja nossa Fila, faça um método que inverta a ordem dos seus elementos

```
void inverter () {
        Celula *fim = ultimo;
        while (primeiro != fim){
        Celula* nova = novaCelula (primeiro->prox->elemento);
                nova->prox = fim->prox;
                fim->prox = nova;
                Celula tmp = primeiro->prox;
                primeiro->prox = tmp->prox;             free(tmp);
                nova = tmp = tmp.prox = null;
                if (ultimo == fim) {ultimo = ultimo->prox; }
        }
        fim = NULL;
}
```

Fila Flexível

- Exercício: Seja nossa Fila, faça um método recursivo para contar o número de elementos pares AND múltiplos de cinco contidos na fila

Fila Flexível

- Exercício: Seja nossa Fila, faça um método recursivo para contar o número de elementos pares AND múltiplos de cinco contidos na fila

```
int contar() { return contar(primeiro->prox);  }
int contar(Celula *i){
        int elemento;
        if (i == NULL){
        elemento = 0;
        } else if (i->elemento % 2 == 0 && i->elemento % 5 == 0){
                elemento = 1 + contar(i->prox);
        } else {
                elemento = contar(i->prox);
        }
        return elemento;
}
```

Fila Flexível

- Exercício: Seja nossa Fila, mostre graficamente a execução do código abaixo supondo que a fila contém 5, 10, 15, 20 e 25, elementoectivamente

```
        void metodoDoidao () {
        Celula *fim = ultimo;
              while (primeiro != fim) {
                    ultimo->prox = novaCelula (primeiro->prox->elemento);
                    Celula *tmp = primeiro;
                    primeiro = primeiro->prox;
                    tmp->prox = NULL;
                    free(tmp);      tmp = NULL;
                    ultimo = ultimo->prox;
              }
              fim = NULL;
    }
```

Sumário

- Alocação dinâmica
- Pilha flexível
- Fila flexível
- **Lista simples flexível (lista simplesmente encadeada)**
- Lista dupla flexível (lista duplamente encadeada)

Sumário

- Alocação dinâmica
- Pilha flexível
- Fila flexível
- Lista simples flexível (lista simplesmente encadeada)
- **Lista dupla flexível (lista duplamente encadeada)**

Lista Simples Flexível

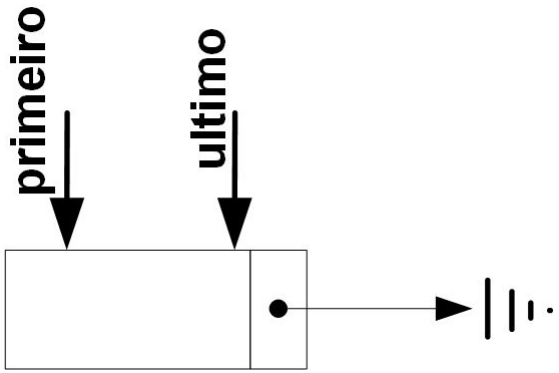
- Tem os atributos primeiro e início e os métodos abaixo:
  - Inserir no início
  - Inserir no fim
  - Inserir
  - Remover no início
  - Remover no fim
  - Remover

Lista Simples Flexível

```
Celula *primeiro, *ultimo;
void start () {
        primeiro = novaCelula(-1);
        ultimo = primeiro;
}
void inserirInicio(int x) { ... }
void inserirFim(int x) { ... }
int removerInicio() { ... }
int removerFim() { ... }
void inserir(int x, int pos) { ... }
int remover(int pos) { ... }
void mostrar() { ... }
```

Lista Simples Flexível

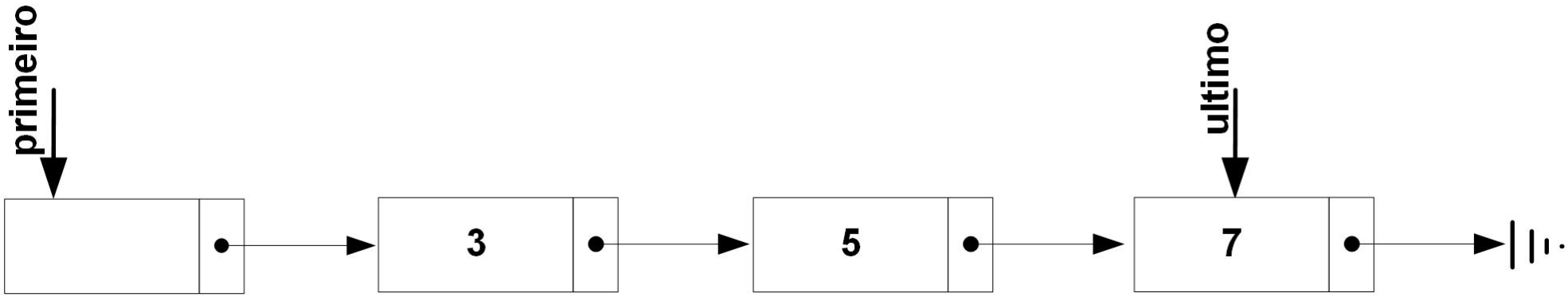
```
Celula *primeiro, *ultimo;
void start () {
        primeiro = novaCelula(-1);
        ultimo = primeiro;
}
void inserirInicio(int x) { ... }
void inserirFim(int x) { ... }
int removerInicio() { ... }
int removerFim() { ... }
void inserir(int x, int pos) { ... }
int remover(int pos) { ... }
void mostrar() { ... }
```



Lista Simples Flexível

```
Celula *primeiro, *ultimo;
void start () {
        primeiro = novaCelula(-1);
        ultimo = primeiro;
}
void inserirInicio(int x) { ... }
void inserirFim(int x) { ... }
int removerInicio() { ... }
int removerFim() { ... }
void inserir(int x, int pos) { ... }
int remover(int pos) { ... }
void mostrar() { ... }
```

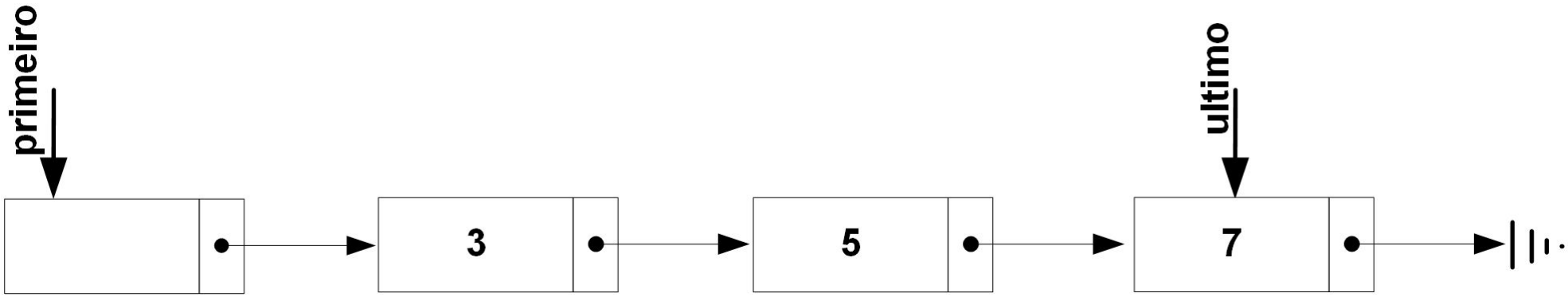
Iguais aos métodos da fila



Lista Simples Flexível

```
Celula *primeiro, *ultimo;
void start () {
        primeiro = novaCelula(-1);
        ultimo = primeiro;
}
void inserirInicio(int x) { ... }
void inserirFim(int x) { ... }
int removerInicio() { ... }
int removerFim() { ... }
void inserir(int x, int pos) { ... }
int remover(int pos) { ... }
void mostrar() { ... }
```

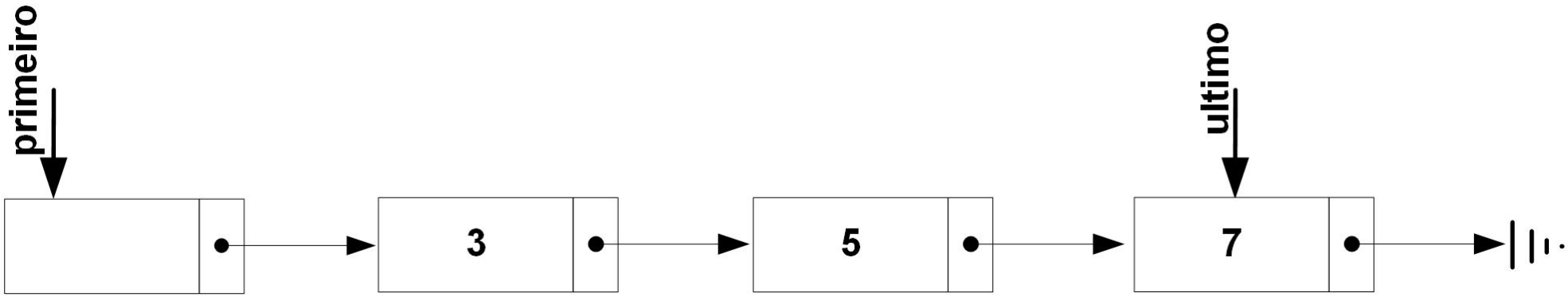
Igual aos da fila/pilha



Lista Simples Flexível

```
Celula *primeiro, *ultimo;
void start () {
        primeiro = novaCelula(-1);
        ultimo = primeiro;
}
void inserirInicio(int x) { ... }
void inserirFim(int x) { ... }
int removerInicio() { ... }
int removerFim() { ... }
void inserir(int x, int pos) { ... }
int remover(int pos) { ... }
void mostrar() { ... }
```

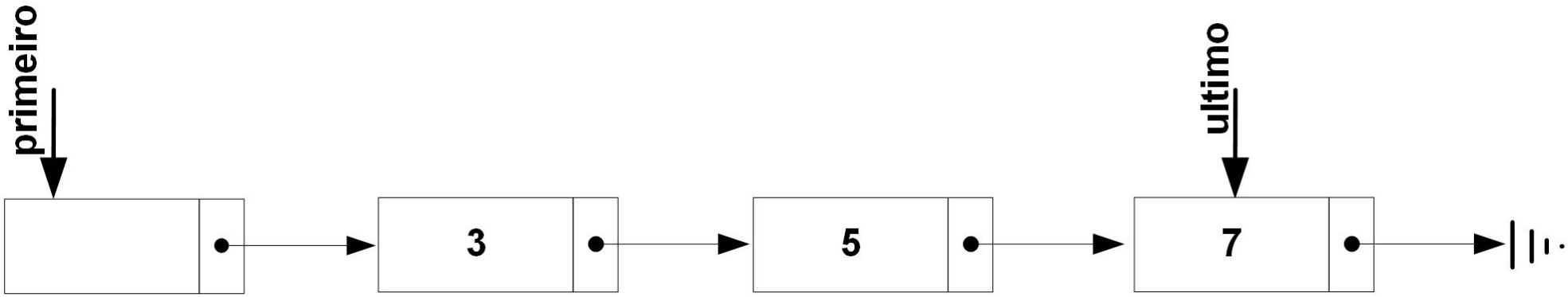
Assim, ...



Lista Simples Flexível

```
void inserirInicio(int x) { ... }

int removerFim() { ... }
void inserir(int x, int pos) { ... }
int remover(int pos) { ... }
```

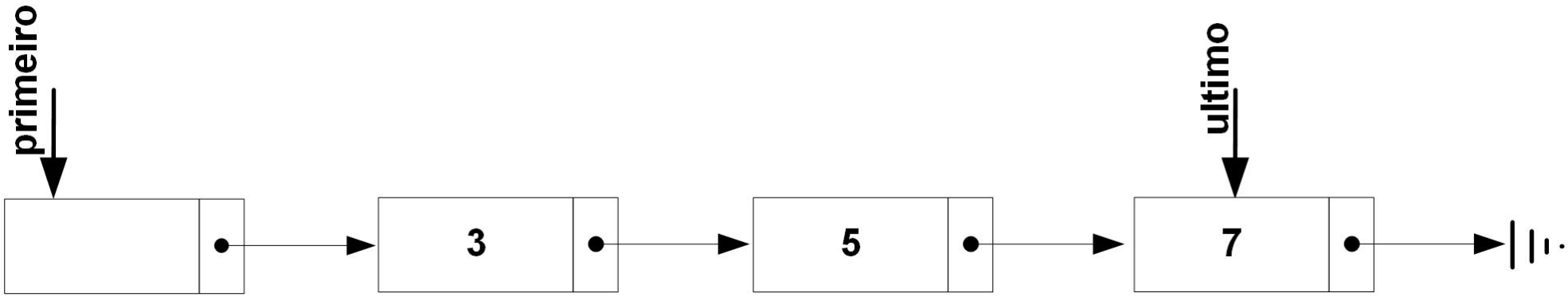
Assim, ...



Lista Simples Flexível

```
...
void inserirInicio(int x) { ... }
int removerFim() { ... }
void inserir(int x, int pos) { ... }
int remover(int pos) { ... }
```

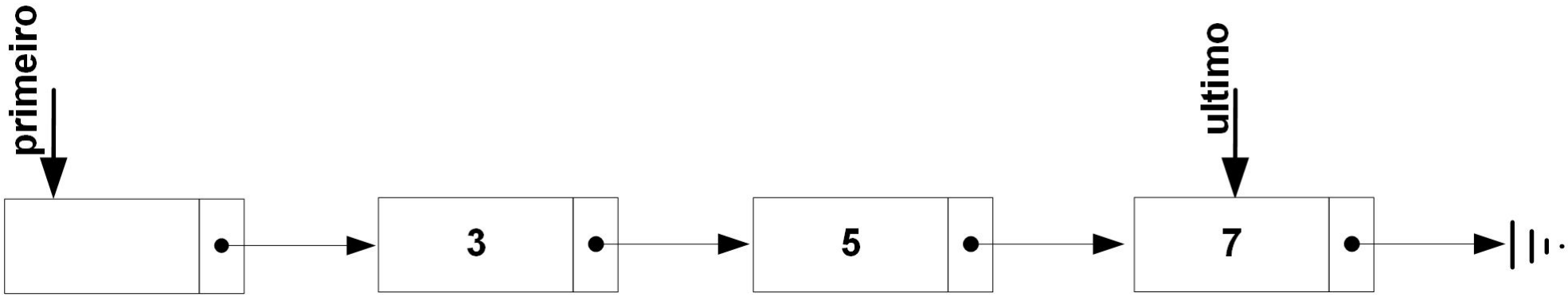
Assim, ...



Lista Simples Flexível

```
...
void inserirInicio(int x) { ... }
int removerFim() { ... }
void inserir(int x, int pos) { ... }
int remover(int pos) { ... }
```

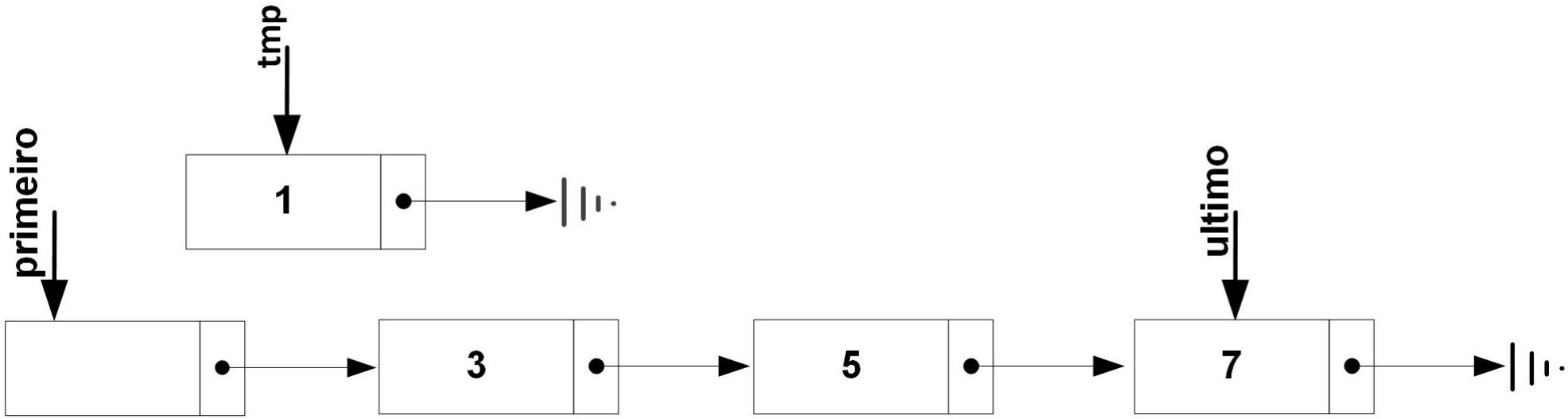
```
//inserirInicio(1)
void inserirInicio(int x) {
    Celula *tmp = novaCelula(x);
    tmp->prox = primeiro->prox;
    primeiro->prox = tmp;
    if (primeiro == ultimo) {
       ultimo = tmp;
    }
    tmp = NULL;
}
```



Lista Simples Flexível

```
...
void inserirInicio(int x) { ... }
int removerFim() { ... }
void inserir(int x, int pos) { ... }
int remover(int pos) { ... }
```

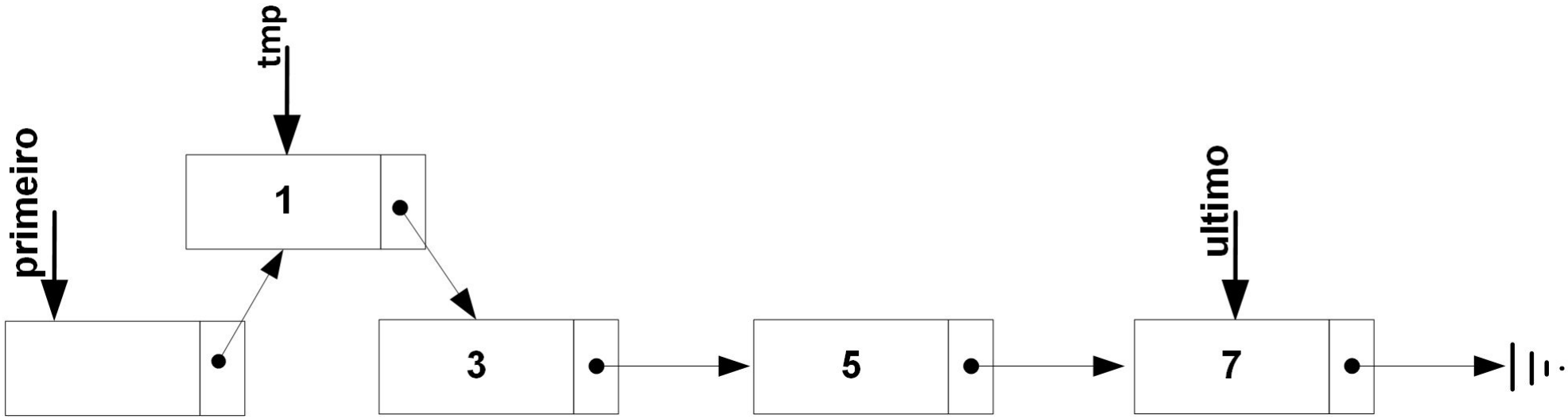
```
//inserirInicio(1)
void inserirInicio(int x) {
    Celula *tmp = novaCelula(x);
    tmp->prox = primeiro->prox;
    primeiro->prox = tmp;
    if (primeiro == ultimo) {
       ultimo = tmp;
    }
    tmp = NULL;
}
```



Lista Simples Flexível

```
...
void inserirInicio(int x) { ... }
int removerFim() { ... }
void inserir(int x, int pos) { ... }
int remover(int pos) { ... }
```

```
//inserirInicio(1)
void inserirInicio(int x) {
    Celula *tmp = novaCelula(x);
    tmp->prox = primeiro->prox;
    primeiro->prox = tmp;
    if (primeiro == ultimo) {
       ultimo = tmp;
    }
    tmp = NULL;
}
```

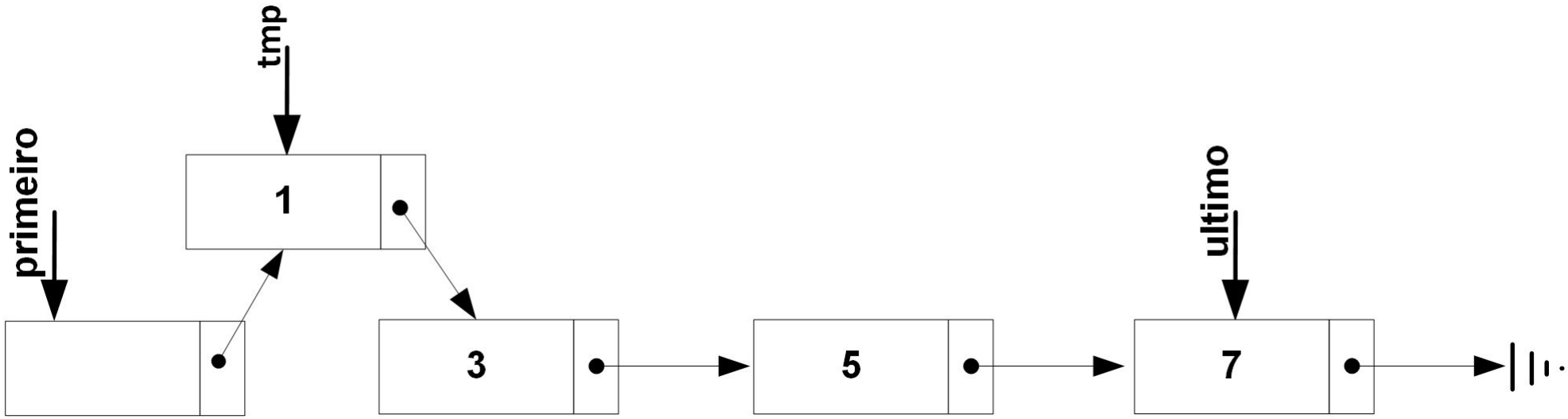


Lista Simples Flexível

```
...
void inserirInicio(int x) { ... }
int removerFim() { ... }
void inserir(int x, int pos) { ... }
int remover(int pos) { ... }
```

```
//inserirInicio(1)
void inserirInicio(int x) {
    Celula *tmp = novaCelula(x);
    tmp->prox = primeiro->prox;
    primeiro->prox = tmp;
    if (primeiro == ultimo) {
        ultimo = tmp;
    }
    tmp = NULL;
}
```

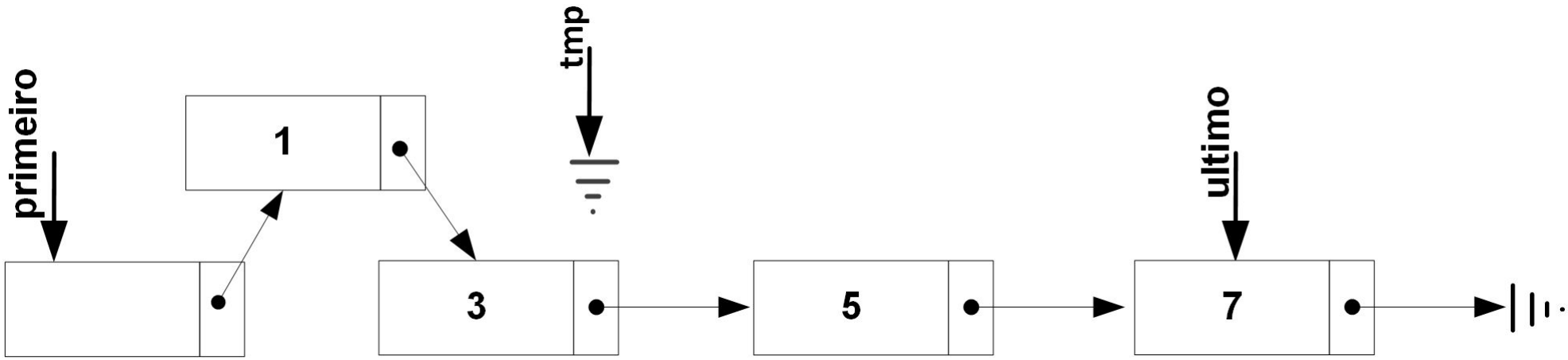
false



Lista Simples Flexível

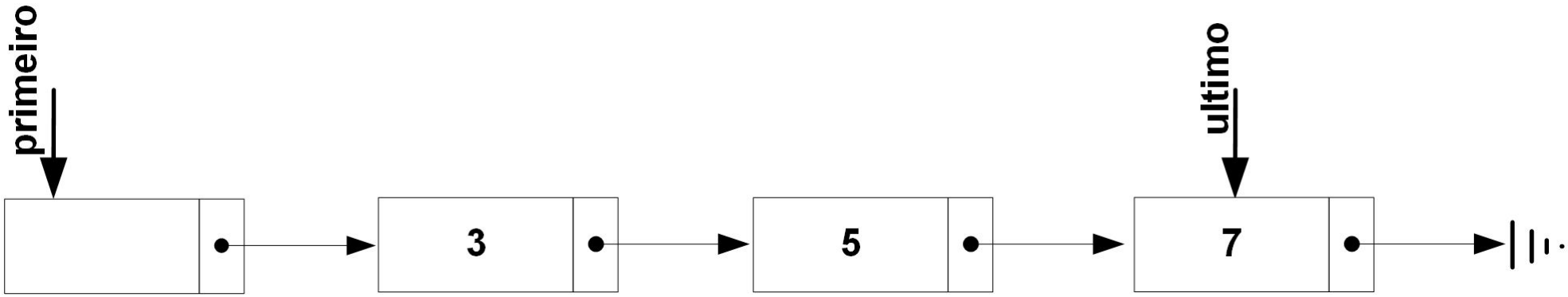
```
...
void inserirInicio(int x) { ... }
int removerFim() { ... }
void inserir(int x, int pos) { ... }
int remover(int pos) { ... }
```

```
//inserirInicio(1)
void inserirInicio(int x) {
    Celula *tmp = novaCelula(x);
    tmp->prox = primeiro->prox;
    primeiro->prox = tmp;
    if (primeiro == ultimo) {
       ultimo = tmp;
    }
    tmp = NULL;
}
```



Lista Simples Flexível

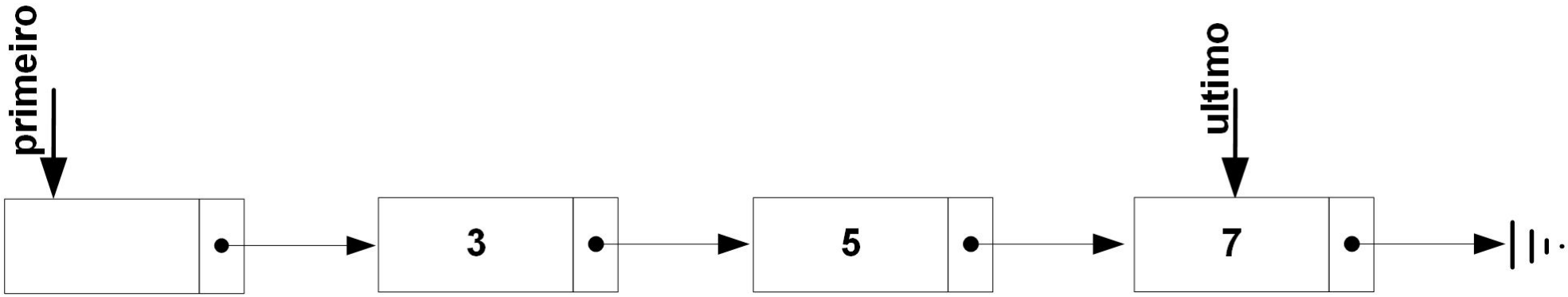
```
...
void inserirInicio(int x) { ... }
int removerFim() { ... }
void inserir(int x, int pos) { ... }
int remover(int pos) { ... }
```



Lista Simples Flexível

```
...
void inserirInicio(int x) { ... }
int removerFim() { ... }
void inserir(int x, int pos) { ... }
int remover(int pos) { ... }
```

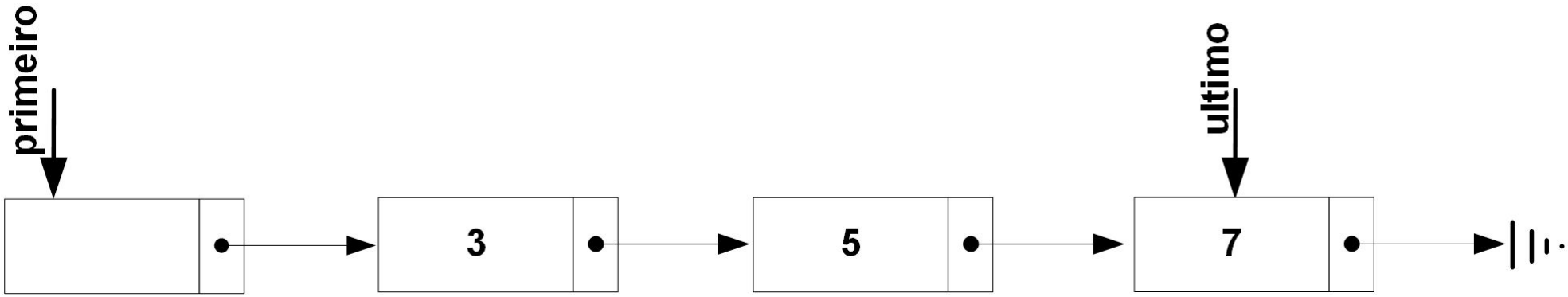
```
int removerFim() {
    if (primeiro == ultimo)
       errx(1, "Erro!");
    Celula *i;
    for(i = primeiro;i->prox!=ultimo;i = i->prox);
    int elemento = ultimo->elemento;
    ultimo = i;        free(ultimo->prox);
    i = ultimo->prox = NULL;
    return elemento;
}
```



Lista Simples Flexível

```
...
void inserirInicio(int x) { ... }
int removerFim() { ... }
void inserir(int x, int pos) { ... }
int remover(int pos) { ... }
```

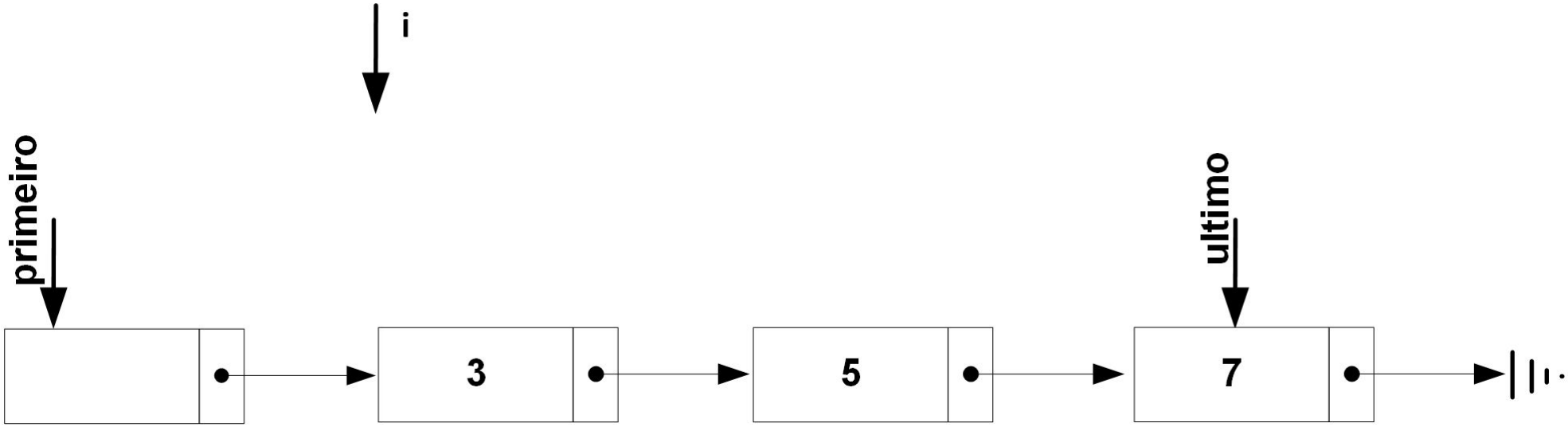
```
int removerFim() {
    if (primeiro == ultimo)
        errx(1, "Erro!");
    Celula *i;
    for(i = primeiro;i->prox!=ultimo;i = i->prox);
    int elemento = ultimo->elemento;
    ultimo = i;        free(ultimo->prox);
    i = ultimo->prox = NULL;
    return elemento;                    false
}
```



Lista Simples Flexível

```
...
void inserirInicio(int x) { ... }
int removerFim() { ... }
void inserir(int x, int pos) { ... }
int remover(int pos) { ... }
```

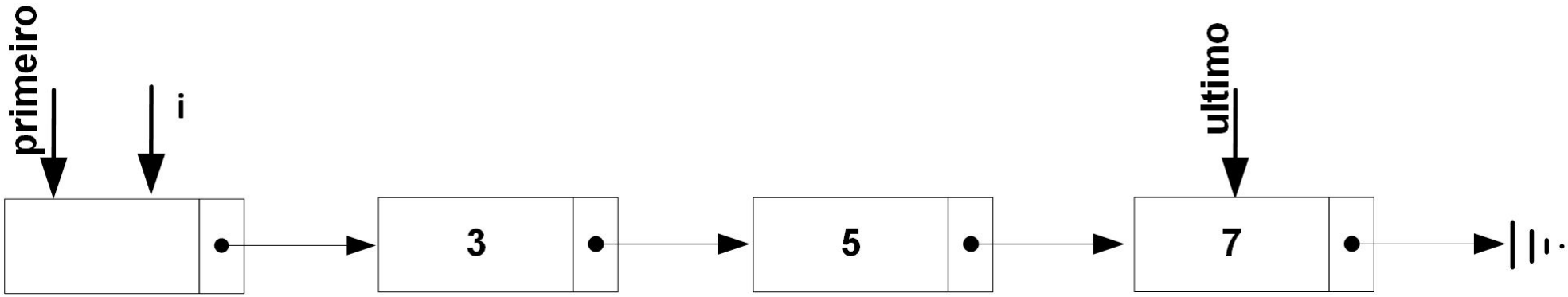
```
int removerFim() {
    if (primeiro == ultimo)
      errx(1, "Erro!");
    Celula *i;
    for(i = primeiro;i->prox!=ultimo;i = i->prox);
    int elemento = ultimo->elemento;
    ultimo = i;       free(ultimo->prox);
    i = ultimo->prox = NULL;
    return elemento;
}
```



Lista Simples Flexível

```
...
void inserirInicio(int x) { ... }
int removerFim() { ... }
void inserir(int x, int pos) { ... }
int remover(int pos) { ... }
```

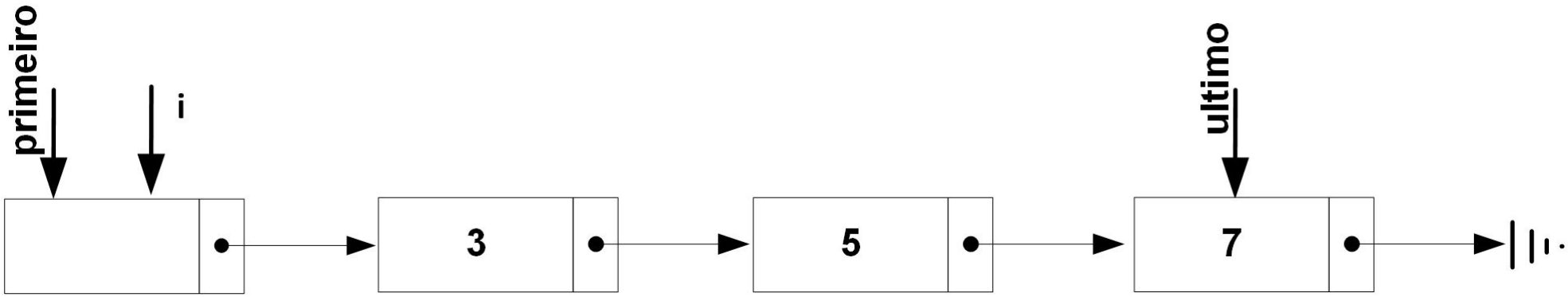
```
int removerFim() {
    if (primeiro == ultimo)
       errx(1, "Erro!");
    Celula *i;
    for(i = primeiro;i->prox!=ultimo;i = i->prox);
    int elemento = ultimo->elemento;
    ultimo = i;        free(ultimo->prox);
    i = ultimo->prox = NULL;
    return elemento;
}
```



Lista Simples Flexível

```
...
void inserirInicio(int x) { ... }
int removerFim() { ... }
void inserir(int x, int pos) { ... }
int remover(int pos) { ... }
```

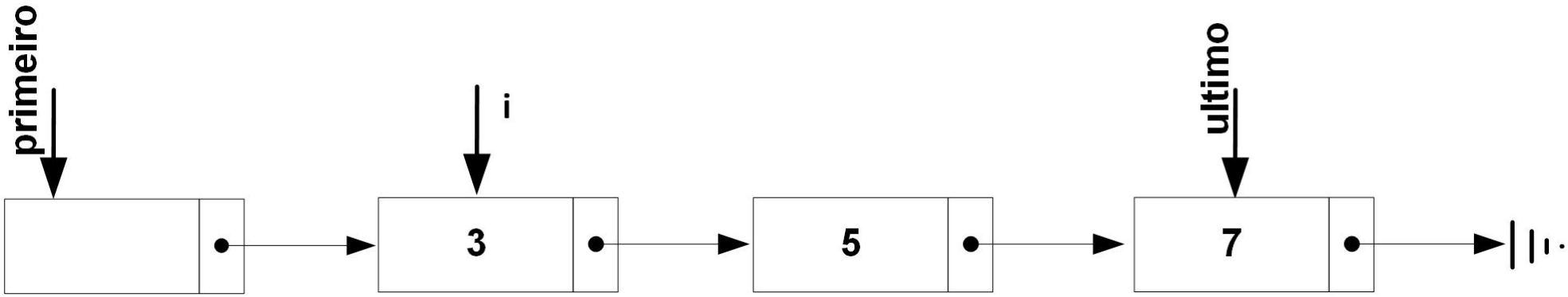
```
int removerFim() {
    if (primeiro == ultimo)
      errx(1, "Erro!");
    Celula *i;
    for(i = primeiro;i->prox!=ultimo;i= i->prox);
    int elemento = ultimo->elemento;
    ultimo = i;        free(ultimo->prox);
    i = ultimo->prox = NULL;
    return elemento;                    true
}
```



Lista Simples Flexível

```
...
void inserirInicio(int x) { ... }
int removerFim() { ... }
void inserir(int x, int pos) { ... }
int remover(int pos) { ... }
```

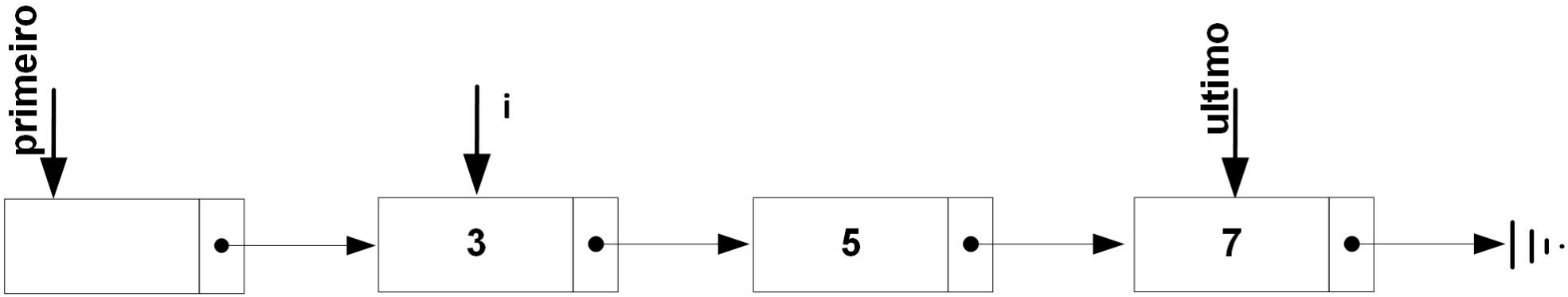
```
int removerFim() {
    if (primeiro == ultimo)
       errx(1, "Erro!");
    Celula *i;
    for(i = primeiro;i->prox!=ultimo;i = i->prox);
    int elemento = ultimo->elemento;
    ultimo = i;        free(ultimo->prox);
    i = ultimo->prox = NULL;
    return elemento;
}
```



Lista Simples Flexível

```
...
void inserirInicio(int x) { ... }
int removerFim() { ... }
void inserir(int x, int pos) { ... }
int remover(int pos) { ... }
```

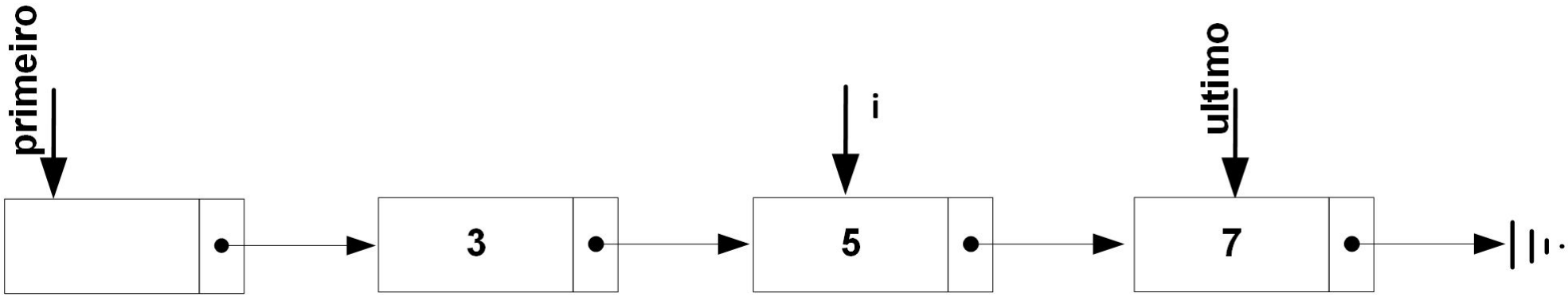
```
int removerFim() {
    if (primeiro == ultimo)
      errx(1, "Erro!");
    Celula *i;
    for(i = primeiro;i->prox!=ultimo;i= i->prox);
    int elemento = ultimo->elemento;
    ultimo = i;        free(ultimo->prox);
    i = ultimo->prox = NULL;
    return elemento;                    true
}
```



Lista Simples Flexível

```
...
void inserirInicio(int x) { ... }
int removerFim() { ... }
void inserir(int x, int pos) { ... }
int remover(int pos) { ... }
```

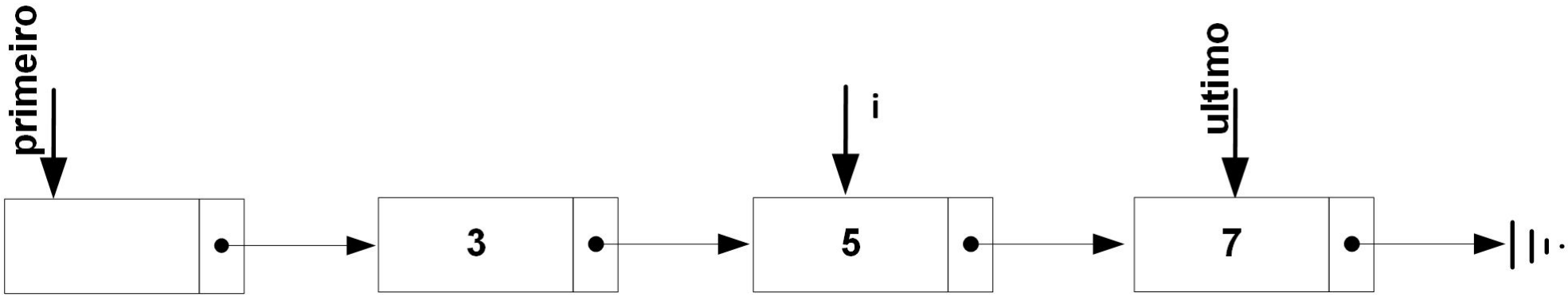
```
int removerFim() {
    if (primeiro == ultimo)
       errx(1, "Erro!");
    Celula *i;
    for(i = primeiro;i->prox!=ultimo;i = i->prox);
    int elemento = ultimo->elemento;
    ultimo = i;        free(ultimo->prox);
    i = ultimo->prox = NULL;
    return elemento;
}
```



Lista Simples Flexível

```
...
void inserirInicio(int x) { ... }
int removerFim() { ... }
void inserir(int x, int pos) { ... }
int remover(int pos) { ... }
```

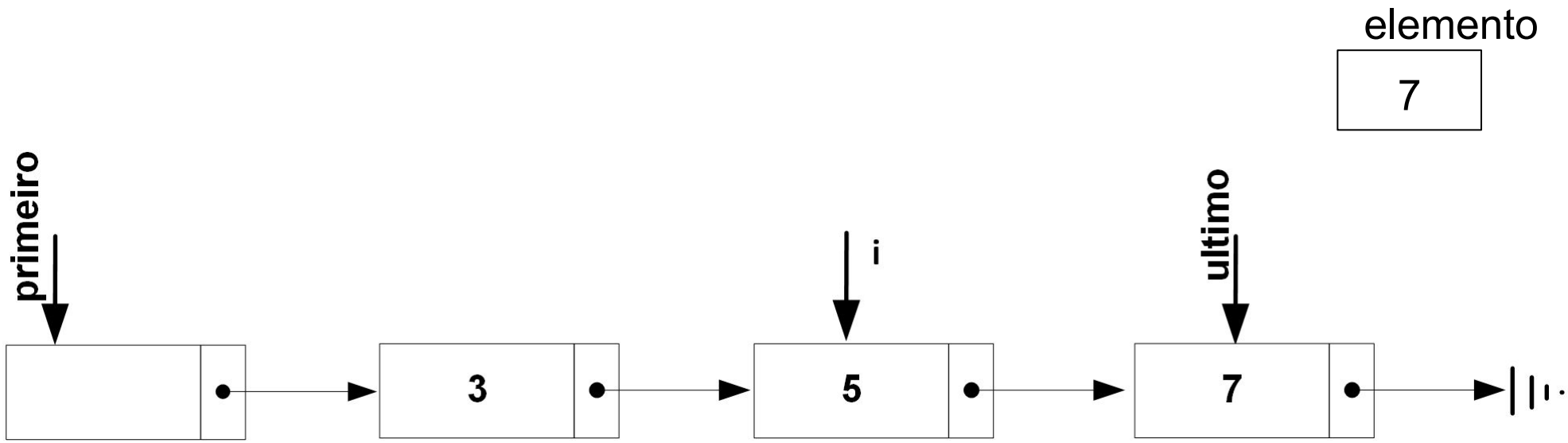
```
int removerFim() {
    if (primeiro == ultimo)
       errx(1, "Erro!");
    Celula *i;
    for(i = primeiro;i->prox!=ultimo;i= i->prox);
    int elemento = ultimo->elemento;
    ultimo = i;        free(ultimo->prox);
    i = ultimo->prox = NULL;
    return elemento;                    false
}
```



Lista Simples Flexível

```
...
void inserirInicio(int x) { ... }
int removerFim() { ... }
void inserir(int x, int pos) { ... }
int remover(int pos) { ... }
```

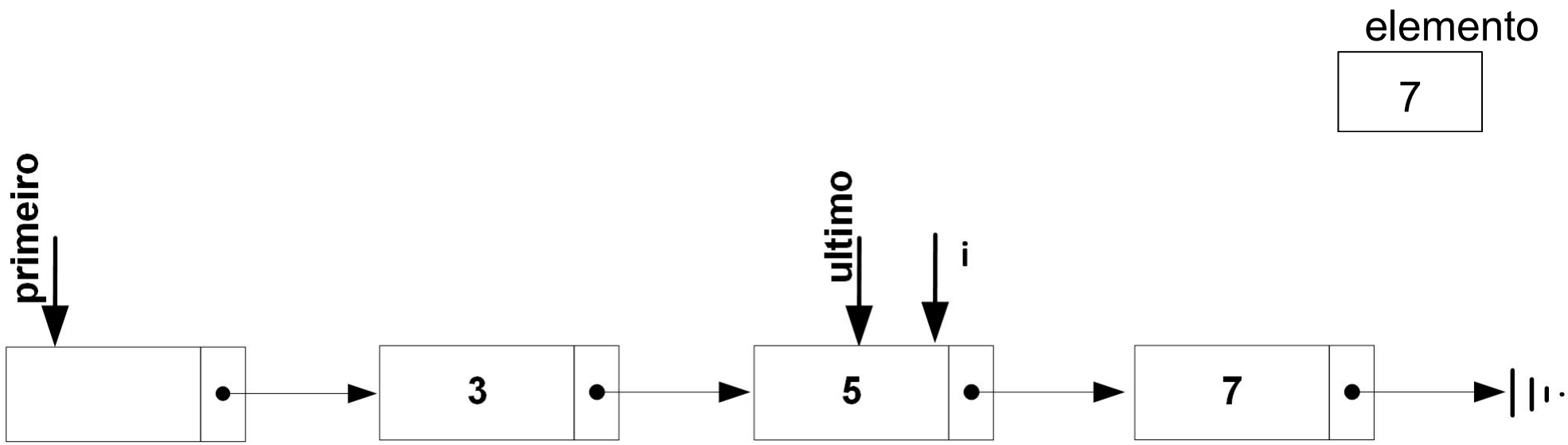
```
int removerFim() {
    if (primeiro == ultimo)
      errx(1, "Erro!");
    Celula *i;
    for(i = primeiro;i->prox!=ultimo;i = i->prox);
    int elemento = ultimo->elemento;
    ultimo = i;       free(ultimo->prox);
    i = ultimo->prox = NULL;
    return elemento;
}
```



Lista Simples Flexível

```
...
void inserirInicio(int x) { ... }
int removerFim() { ... }
void inserir(int x, int pos) { ... }
int remover(int pos) { ... }
```

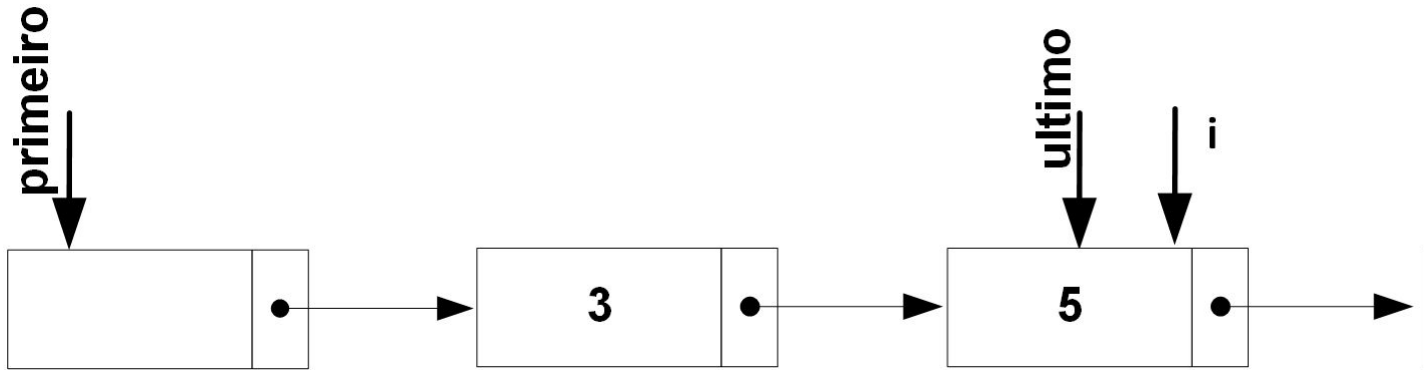
```
int removerFim() {
    if (primeiro == ultimo)
      errx(1, "Erro!");
    Celula *i;
    for(i = primeiro;i->prox!=ultimo;i = i->prox);
    int elemento = ultimo->elemento;
    ultimo = i;      free(ultimo->prox);
    i = ultimo->prox = NULL;
    return elemento;
}
```



Lista Simples Flexível

```
...
void inserirInicio(int x) { ... }
int removerFim() { ... }
void inserir(int x, int pos) { ... }
int remover(int pos) { ... }
```

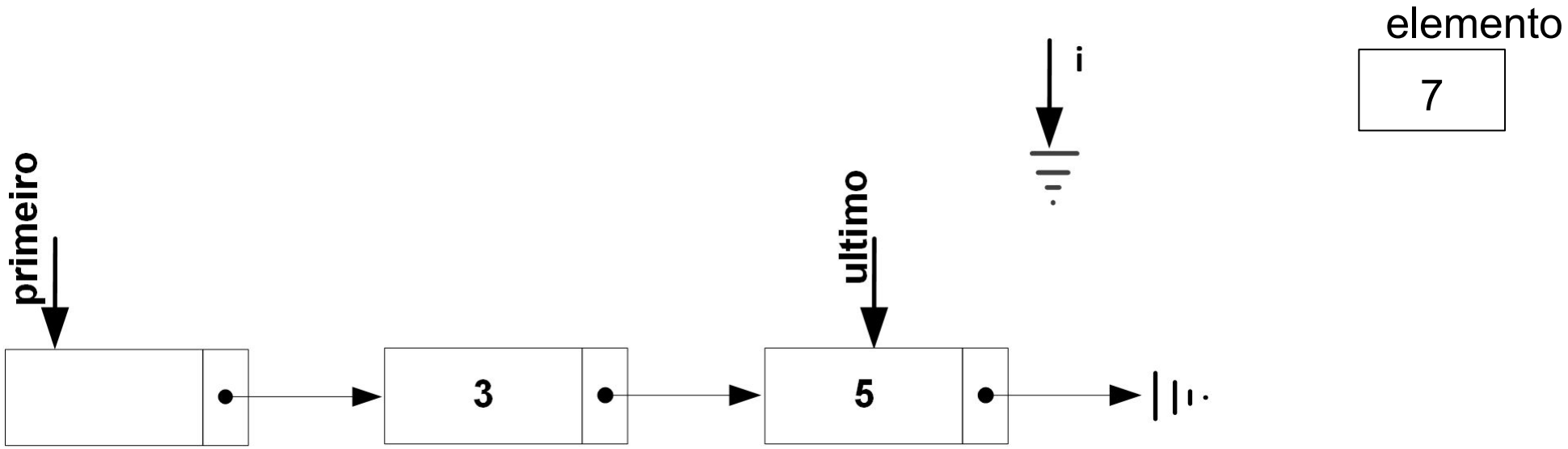
```
int removerFim() {
    if (primeiro == ultimo)
       errx(1, "Erro!");
    Celula *i;
    for(i = primeiro;i->prox!=ultimo;i = i->prox);
    int elemento = ultimo->elemento;
    ultimo = i;        free(ultimo->prox);
    i = ultimo->prox = NULL;
    return elemento;
}
```



Lista Simples Flexível

```
...
void inserirInicio(int x) { ... }
int removerFim() { ... }
void inserir(int x, int pos) { ... }
int remover(int pos) { ... }
```

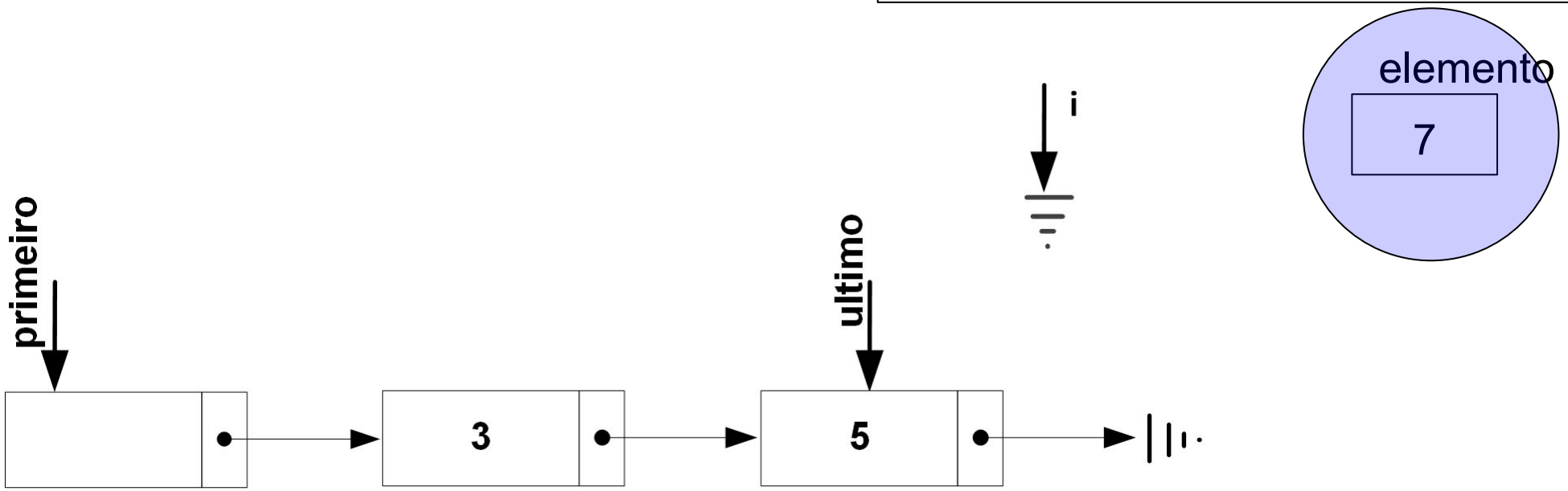
```
int removerFim() {
    if (primeiro == ultimo)
      errx(1, "Erro!");
    Celula *i;
    for(i = primeiro;i->prox!=ultimo;i = i->prox);
    int elemento = ultimo->elemento;
    ultimo = i;       free(ultimo->prox);
    i = ultimo->prox = NULL;
    return elemento;
}
```



Lista Simples Flexível

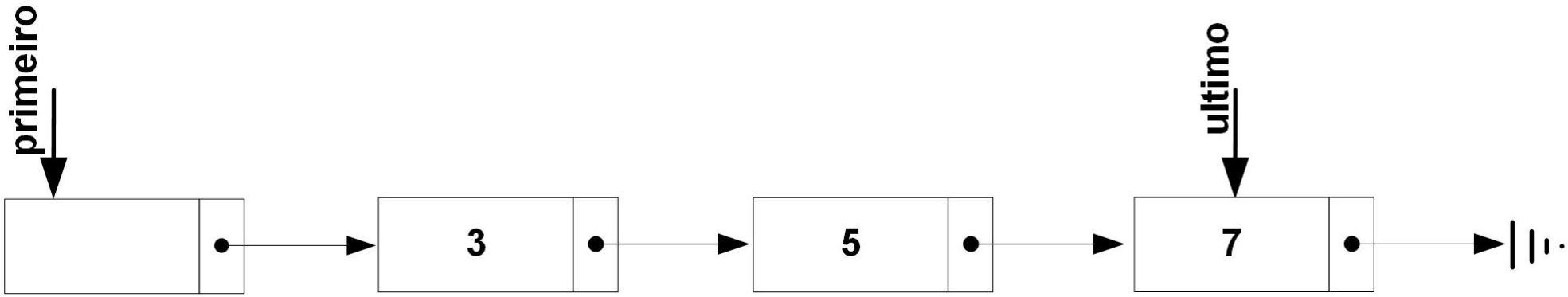
```
...
void inserirInicio(int x) { ... }
int removerFim() { ... }
void inserir(int x, int pos) { ... }
int remover(int pos) { ... }
```

```
int removerFim() {
    if (primeiro == ultimo)
      errx(1, "Erro!");
    Celula *i;
    for(i = primeiro;i->prox!=ultimo;i = i->prox);
    int elemento = ultimo->elemento;
    ultimo = i;        free(ultimo->prox);
    i = ultimo->prox = NULL;
    return elemento;
}
```



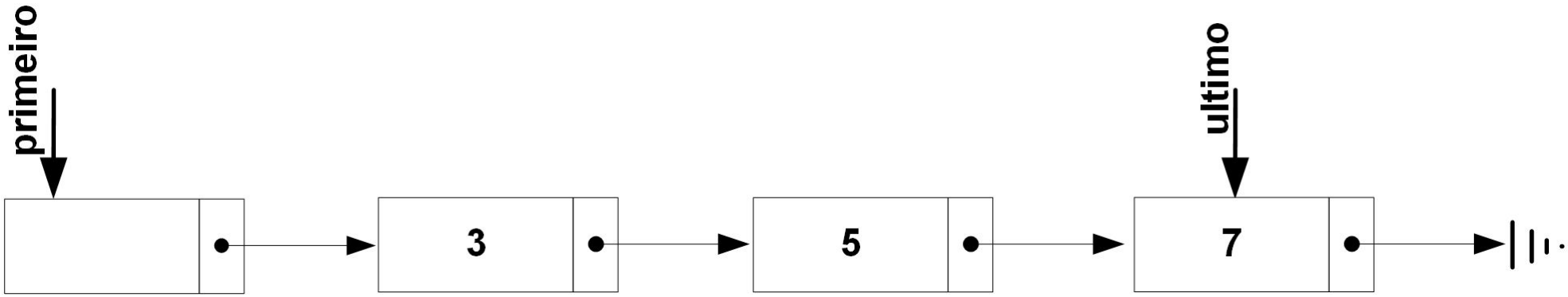
Lista Simples Flexível

```
...
void inserirInicio(int x) { ... }
int removerFim() { ... }
void inserir(int x, int pos) { ... }
int remover(int pos) { ... }
```



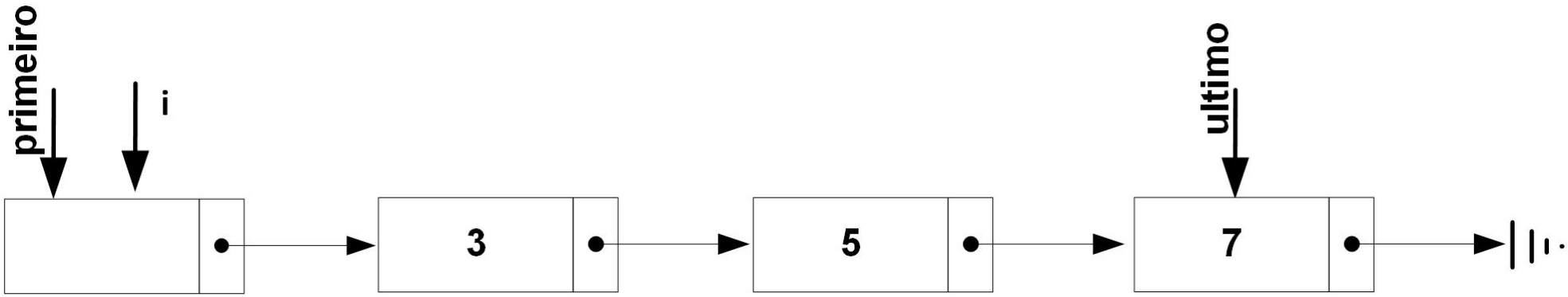
Lista Simples Flexível

```
void inserir(int x, int pos) {            //Inserir(6, 2)
   int tamanho = tamanho();
   if (pos < 0 || pos > tamanho){   errx(1, "Erro!”);
   } else if (pos == 0){            inserirInicio(x);
   } else if (pos == tamanho){      inserirFim(x);
   } else {
        Celula *i = primeiro;
        for(int j = 0; j < pos; j++, i = i->prox);
        Celula *tmp = novaCelula(x);
        tmp->prox = i->prox;
        i->prox = tmp;
        tmp = i = NULL;
} }
```



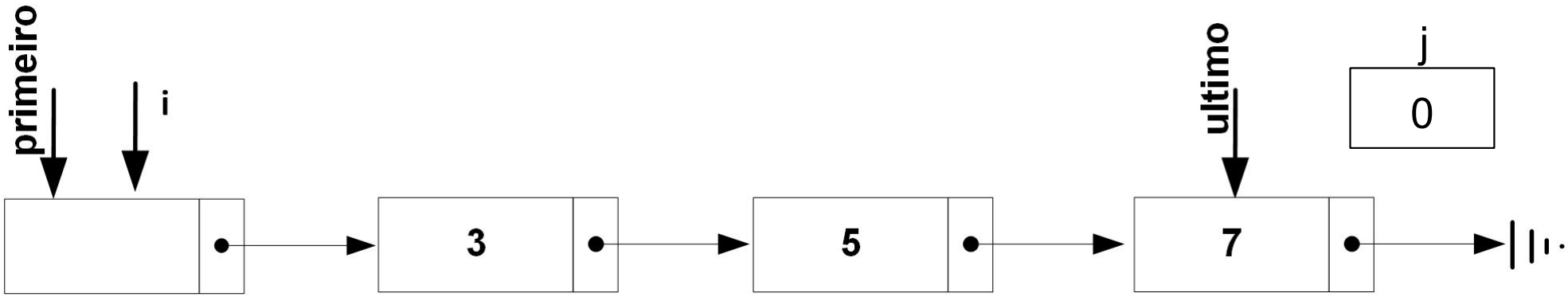
Lista Simples Flexível

```
void inserir(int x, int pos) {          //Inserir(6, 2)
   int tamanho = tamanho();
   if (pos < 0 || pos > tamanho){   errx(1, "Erro!");
   } else if (pos == 0){            inserirInicio(x);
   } else if (pos == tamanho){      inserirFim(x);
   } else {
        Celula *i = primeiro;
        for(int j = 0; j < pos; j++, i = i->prox);
        Celula *tmp = novaCelula(x);
        tmp->prox = i->prox;
        i->prox = tmp;
        tmp = i = NULL;
} }
```



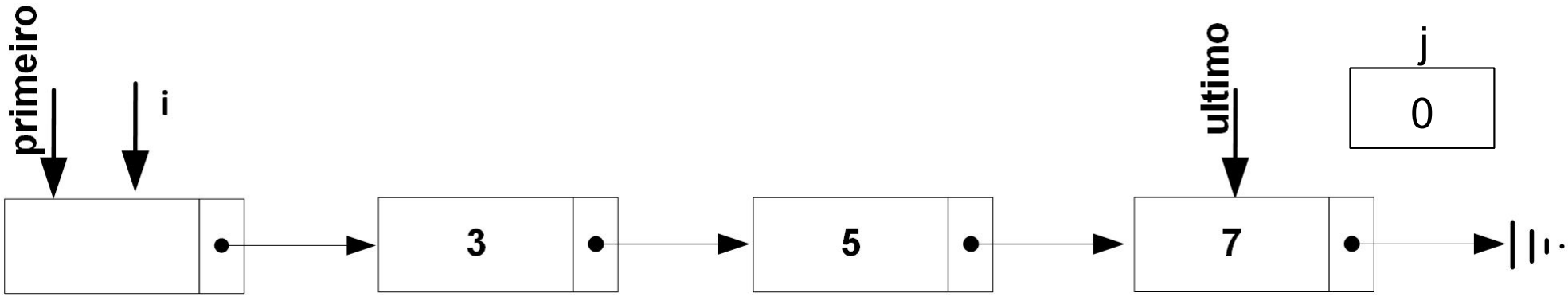
Lista Simples Flexível

```
void inserir(int x, int pos) {          //Inserir(6, 2)
   int tamanho = tamanho();
   if (pos < 0 || pos > tamanho){   errx(1, "Erro!");
   } else if (pos == 0){            inserirInicio(x);
   } else if (pos == tamanho){      inserirFim(x);
   } else {
        Celula *i = primeiro;
        for(int j = 0; j < pos; j++, i = i->prox);
        Celula *tmp = novaCelula(x);
        tmp->prox = i->prox;
        i->prox = tmp;
        tmp = i = NULL;
} }
```



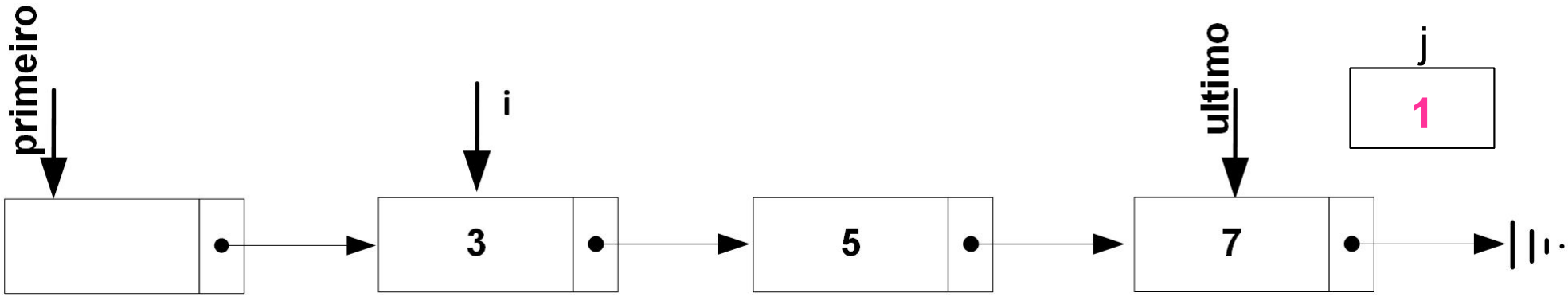
Lista Simples Flexível

```
void inserir(int x, int pos) {          //Inserir(6, 2)
   int tamanho = tamanho();
   if (pos < 0 || pos > tamanho){   errx(1, "Erro!");
   } else if (pos == 0){            inserirInicio(x);
   } else if (pos == tamanho){      inserirFim(x);
   } else {
        Celula *i = primeiro;
        for(int j = 0; j < pos; j++, i = i->prox);
        Celula *tmp = novaCelula(x);
        tmp->prox = i->prox;
        i->prox = tmp;                              true
        tmp = i = NULL;
} }
```



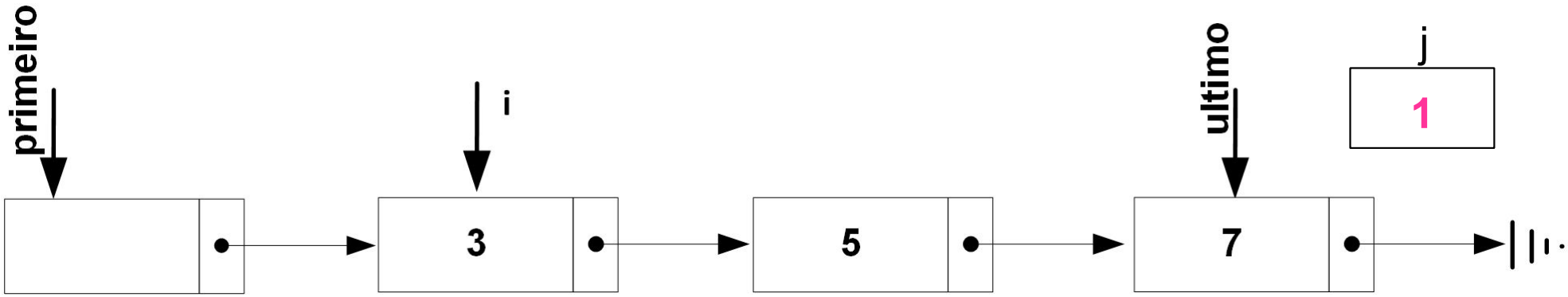
Lista Simples Flexível

```
void inserir(int x, int pos) {          //Inserir(6, 2)
   int tamanho = tamanho();
   if (pos < 0 || pos > tamanho){   errx(1, "Erro!”);
   } else if (pos == 0){            inserirInicio(x);
   } else if (pos == tamanho){      inserirFim(x);
   } else {
        Celula *i = primeiro;
        for(int j = 0; j < pos; j++, i = i->prox);
        Celula *tmp = novaCelula(x);
        tmp->prox = i->prox;
        i->prox = tmp;
        tmp = i = NULL;
} }
```



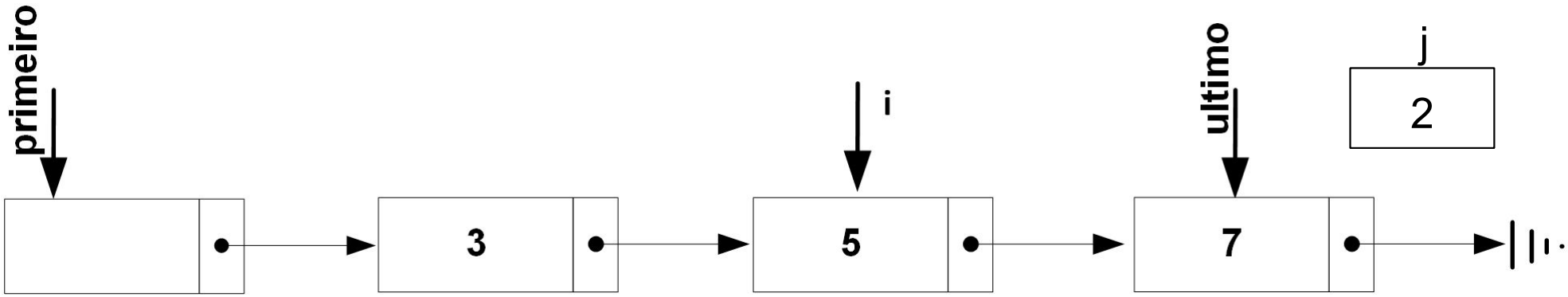
Lista Simples Flexível

```
void inserir(int x, int pos) {          //Inserir(6, 2)
   int tamanho = tamanho();
   if (pos < 0 || pos > tamanho){   errx(1, "Erro!");
   } else if (pos == 0){            inserirInicio(x);
   } else if (pos == tamanho){      inserirFim(x);
   } else {
        Celula *i = primeiro;
        for(int j = 0; j < pos; j++, i = i->prox);
        Celula *tmp = novaCelula(x);
        tmp->prox = i->prox;
        i->prox = tmp;                              true
        tmp = i = NULL;
} }
```



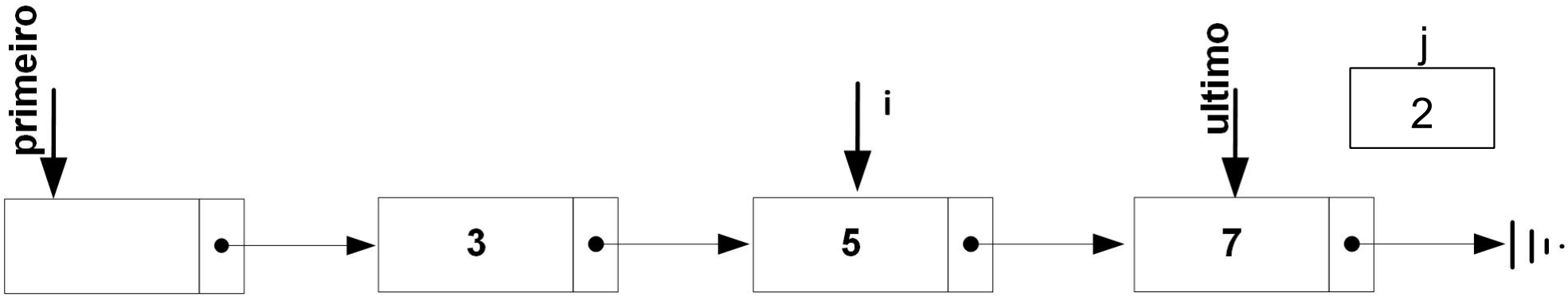
Lista Simples Flexível

```
void inserir(int x, int pos) {          //Inserir(6, 2)
   int tamanho = tamanho();
   if (pos < 0 || pos > tamanho){   errx(1, "Erro!");
   } else if (pos == 0){            inserirInicio(x);
   } else if (pos == tamanho){      inserirFim(x);
   } else {
        Celula *i = primeiro;
        for(int j = 0; j < pos; j++, i = i->prox);
        Celula *tmp = novaCelula(x);
        tmp->prox = i->prox;
        i->prox = tmp;
        tmp = i = NULL;
} }
```



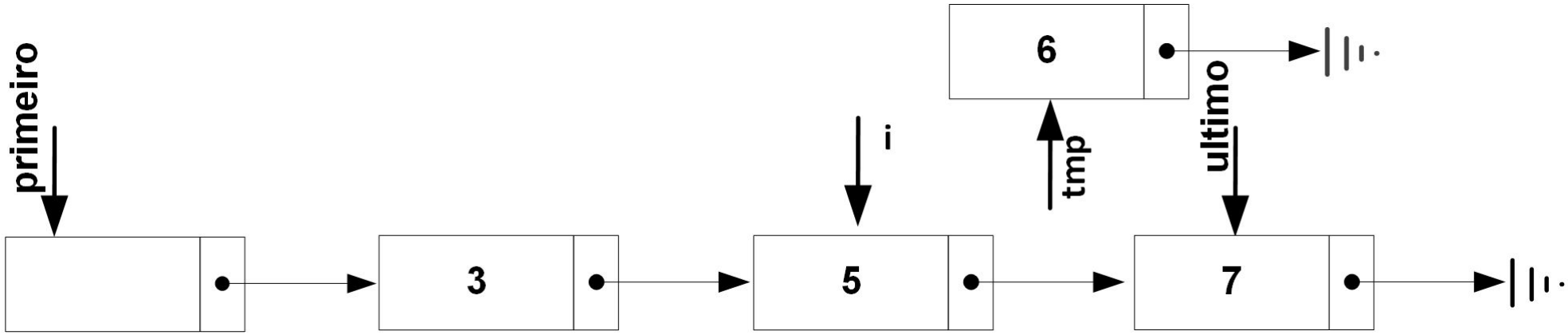
Lista Simples Flexível

```
void inserir(int x, int pos) {          //Inserir(6, 2)
   int tamanho = tamanho();
   if (pos < 0 || pos > tamanho){   errx(1, "Erro!");
   } else if (pos == 0){            inserirInicio(x);
   } else if (pos == tamanho){      inserirFim(x);
   } else {
        Celula *i = primeiro;
        for(int j = 0; j < pos; j++, i = i->prox);
        Celula *tmp = novaCelula(x);
        tmp->prox = i->prox;
        i->prox = tmp;                              false
        tmp = i = NULL;
} }
```



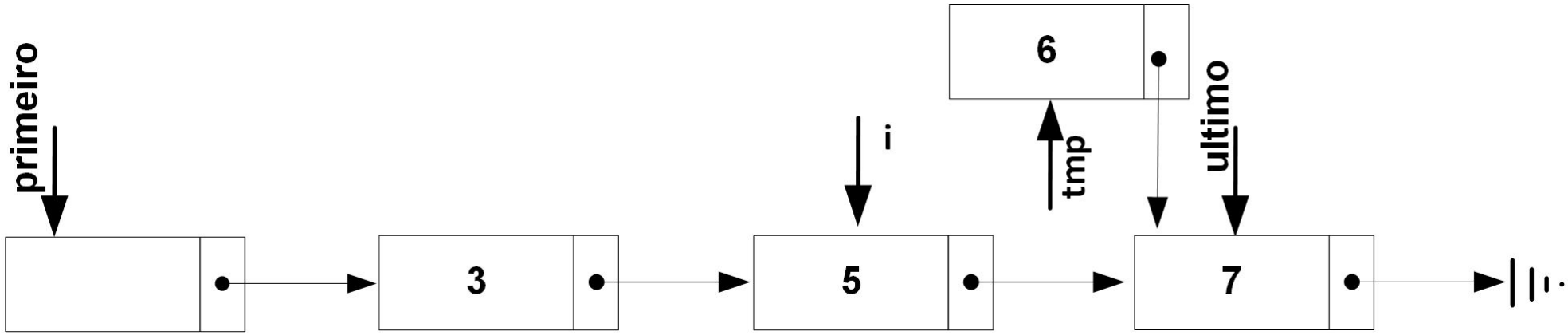
Lista Simples Flexível

```
void inserir(int x, int pos) {          //Inserir(6, 2)
   int tamanho = tamanho();
   if (pos < 0 || pos > tamanho){   errx(1, "Erro!”);
   } else if (pos == 0){            inserirInicio(x);
   } else if (pos == tamanho){      inserirFim(x);
   } else {
        Celula *i = primeiro;
        for(int j = 0; j < pos; j++, i = i->prox);
        Celula *tmp = novaCelula(x);
        tmp->prox = i->prox;
        i->prox = tmp;
        tmp = i = NULL;
} }
```



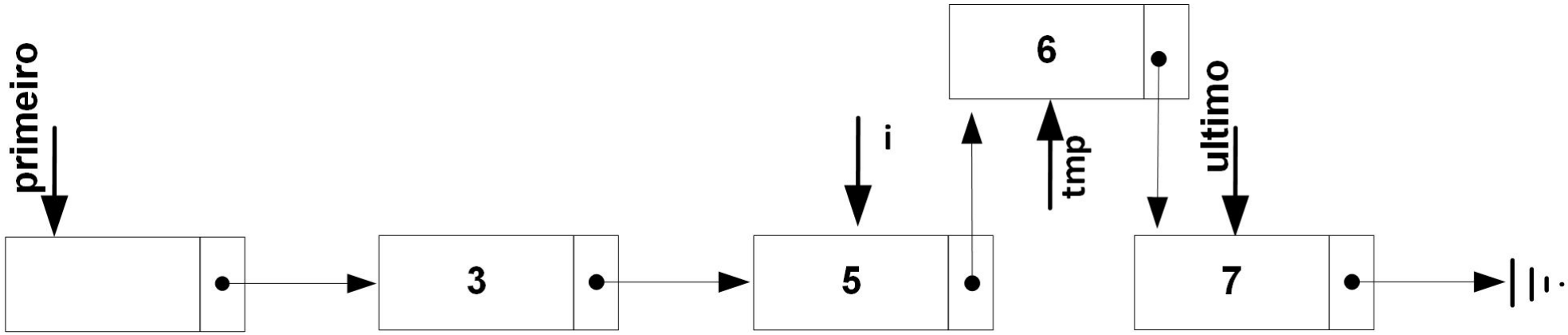
Lista Simples Flexível

```
void inserir(int x, int pos) {          //Inserir(6, 2)
   int tamanho = tamanho();
   if (pos < 0 || pos > tamanho){   errx(1, "Erro!");
   } else if (pos == 0){            inserirInicio(x);
   } else if (pos == tamanho){      inserirFim(x);
   } else {
        Celula *i = primeiro;
        for(int j = 0; j < pos; j++, i = i->prox);
        Celula *tmp = novaCelula(x);
        tmp->prox = i->prox;
        i->prox = tmp;
        tmp = i = NULL;
} }
```



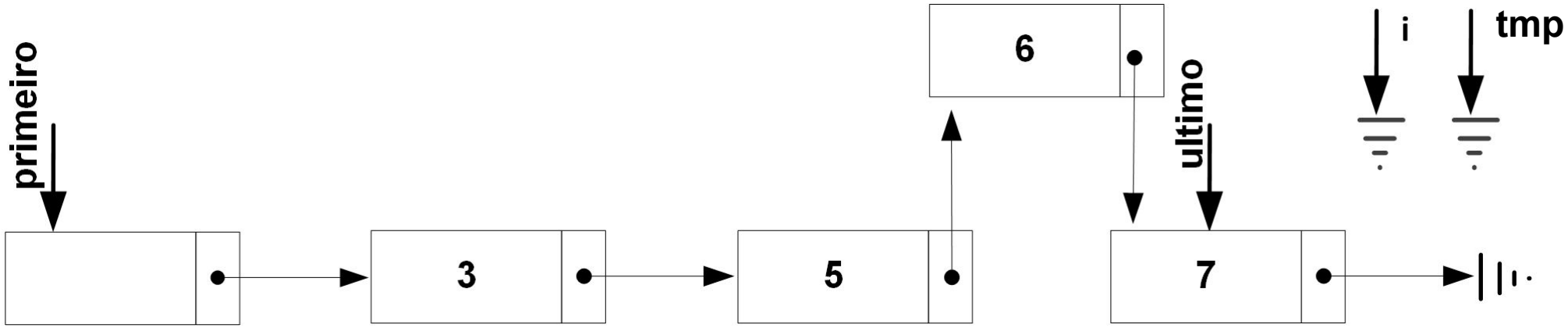
Lista Simples Flexível

```
void inserir(int x, int pos) {          //Inserir(6, 2)
   int tamanho = tamanho();
   if (pos < 0 || pos > tamanho){   errx(1, "Erro!");
   } else if (pos == 0){            inserirInicio(x);
   } else if (pos == tamanho){      inserirFim(x);
   } else {
        Celula *i = primeiro;
        for(int j = 0; j < pos; j++, i = i->prox);
        Celula *tmp = novaCelula(x);
        tmp->prox = i->prox;
        i->prox = tmp;
        tmp = i = NULL;
} }
```



Lista Simples Flexível

```
void inserir(int x, int pos) {          //Inserir(6, 2)
   int tamanho = tamanho();
   if (pos < 0 || pos > tamanho){   errx(1, "Erro!”);
   } else if (pos == 0){            inserirInicio(x);
   } else if (pos == tamanho){      inserirFim(x);
   } else {
        Celula *i = primeiro;
        for(int j = 0; j < pos; j++, i = i->prox);
        Celula *tmp = novaCelula(x);
        tmp->prox = i->prox;
        i->prox = tmp;
        tmp = i = NULL;
} }
```

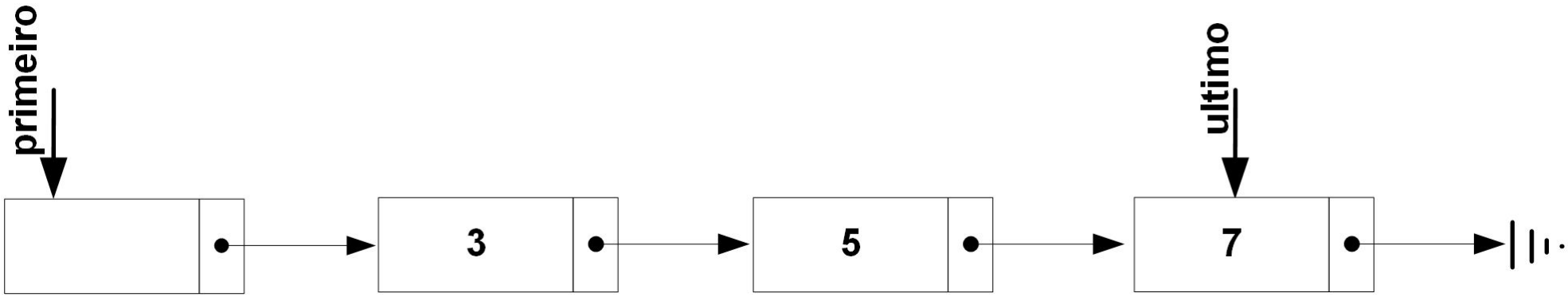


Lista Simples Flexível

```
...
void inserirInicio(int x) { ... }
int removerFim() { ... }
void inserir(int x, int pos) { ... }
int remover(int pos) { ... }
```

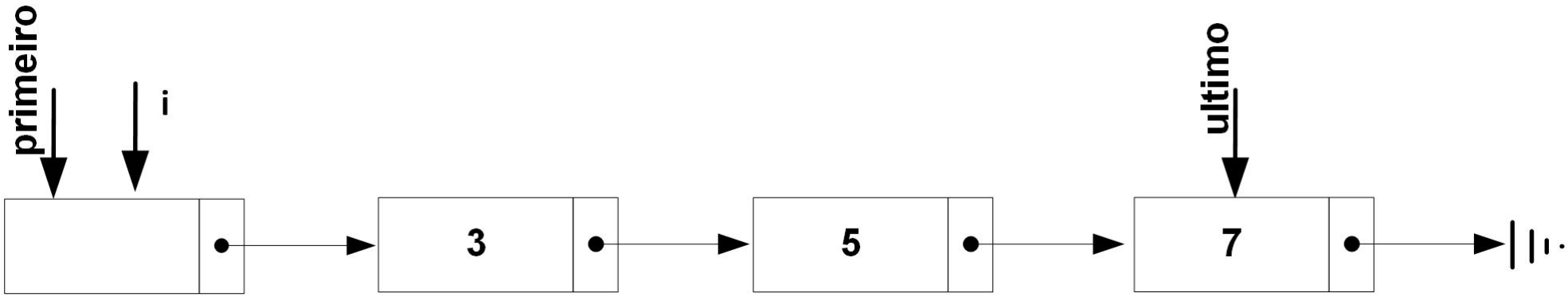
Lista Simples Flexível

```
int remover(int pos ) {                    //remover(1)
   int elemento, tamanho = tamanho();
   if (primeiro == ultimo || pos < 0 || pos >= tamanho){ errx(1, "Erro!");
   } else if (pos == 0) {                  elemento = removerInicio();
   } else if (pos == tamanho - 1){         elemento = removerFim();
   } else {
         Celula *i = primeiro;
         for(int j = 0; j < pos; j++, i = i->prox);
         Celula *tmp = i->prox;
         elemento = tmp->elemento;     i->prox = tmp->prox;
         tmp->prox = NULL;             free(tmp);          i = tmp = NULL;
   }
   return elemento;
}
```



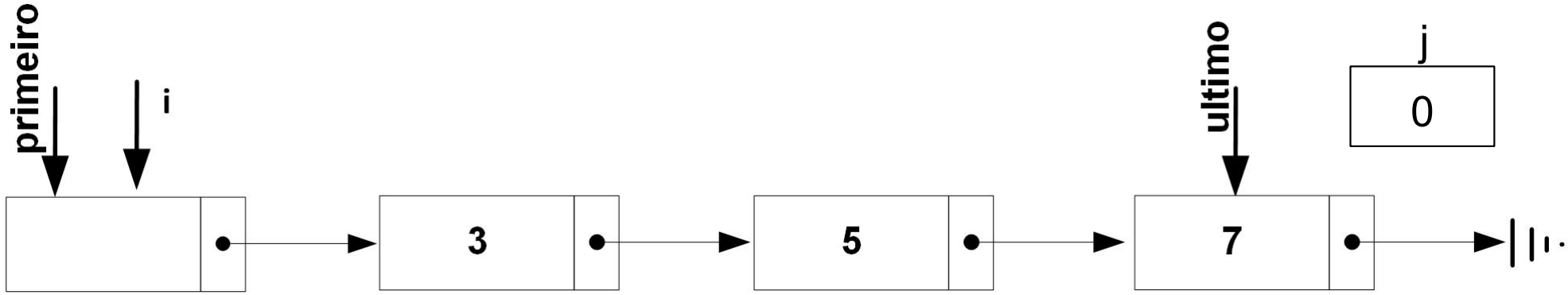
Lista Simples Flexível

```
int remover(int pos ) {                    //remover(1)
   int elemento, tamanho = tamanho();
   if (primeiro == ultimo || pos < 0 || pos >= tamanho){ errx(1, "Erro!");
   } else if (pos == 0) {                  elemento = removerInicio();
   } else if (pos == tamanho - 1){         elemento = removerFim();
   } else {
        Celula *i = primeiro;
        for(int j = 0; j < pos; j++, i = i->prox);
        Celula *tmp = i->prox;
        elemento = tmp->elemento;          i->prox = tmp->prox;
        tmp->prox = NULL;                  free(tmp);          i = tmp = NULL;
   }
   return elemento;
}
```



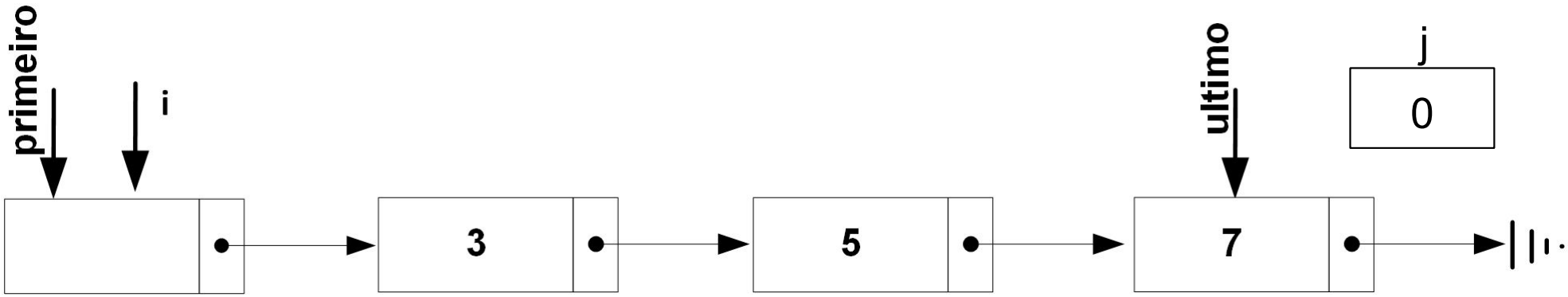
Lista Simples Flexível

```
int remover(int pos ) {                    //remover(1)
   int elemento, tamanho = tamanho();
   if (primeiro == ultimo || pos < 0 || pos >= tamanho){ errx(1, "Erro!");
   } else if (pos == 0) {                  elemento = removerInicio();
   } else if (pos == tamanho - 1){         elemento = removerFim();
   } else {
         Celula *i = primeiro;
         for(int j = 0; j < pos; j++, i = i->prox);
         Celula *tmp = i->prox;
         elemento = tmp->elemento;         i->prox = tmp->prox;
         tmp->prox = NULL;                 free(tmp);          i = tmp = NULL;
   }
   return elemento;
}
```



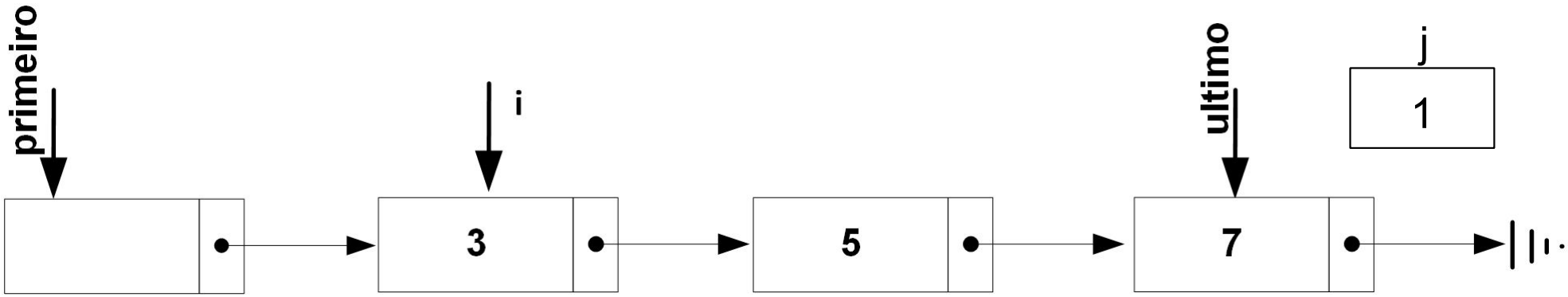
Lista Simples Flexível

```
int remover(int pos ) {                    //remover(1)
   int elemento, tamanho = tamanho();
   if (primeiro == ultimo || pos < 0 || pos >= tamanho){ errx(1, "Erro!”);
   } else if (pos == 0) {                  elemento = removerInicio();
   } else if (pos == tamanho - 1){         elemento = removerFim();
   } else {
         Celula *i = primeiro;
         for(int j = 0; j < pos; j++, i = i->prox);
         Celula *tmp = i->prox;
         elemento = tmp->elemento;         i->prox = tmp->prox;
         tmp->prox = NULL;                 free(tmp);          i = tmp = NULL;
   }                                                                  true
   return elemento;
}
```



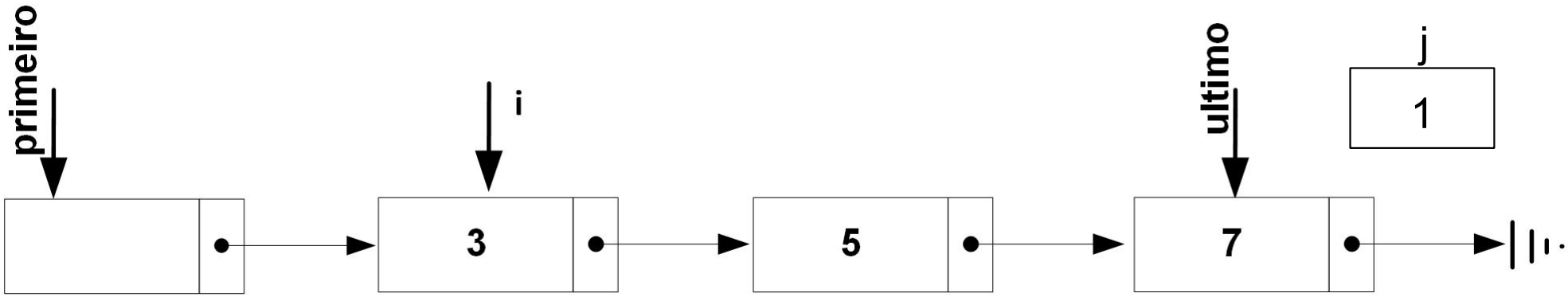
Lista Simples Flexível

```
int remover(int pos ) {                    //remover(1)
   int elemento, tamanho = tamanho();
   if (primeiro == ultimo || pos < 0 || pos >= tamanho){ errx(1, "Erro!");
   } else if (pos == 0) {                  elemento = removerInicio();
   } else if (pos == tamanho - 1){         elemento = removerFim();
   } else {
         Celula *i = primeiro;
         for(int j = 0; j < pos; j++, i = i->prox);
         Celula *tmp = i->prox;
         elemento = tmp->elemento;         i->prox = tmp->prox;
         tmp->prox = NULL;                 free(tmp);          i = tmp = NULL;
   }
   return elemento;
}
```



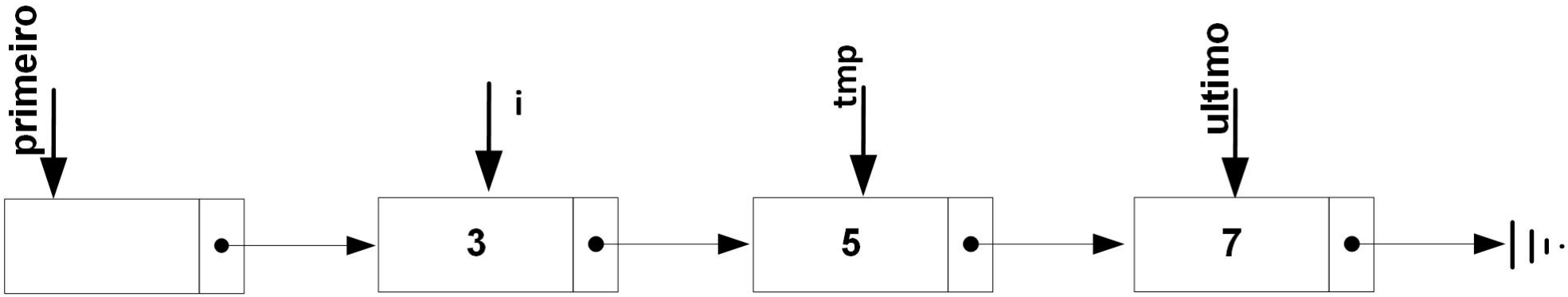
Lista Simples Flexível

```
int remover(int pos ) {                    //remover(1)
   int elemento, tamanho = tamanho();
   if (primeiro == ultimo || pos < 0 || pos >= tamanho){ errx(1, "Erro!");
   } else if (pos == 0) {                  elemento = removerInicio();
   } else if (pos == tamanho - 1){         elemento = removerFim();
   } else {
         Celula *i = primeiro;
         for(int j = 0; j < pos; j++, i = i->prox);
         Celula *tmp = i->prox;
         elemento = tmp->elemento;         i->prox = tmp->prox;
         tmp->prox = NULL;                 free(tmp);          i = tmp = NULL;
   }                                                                  false
   return elemento;
}
```



Lista Simples Flexível

```
int remover(int pos ) {                    //remover(1)
   int elemento, tamanho = tamanho();
   if (primeiro == ultimo || pos < 0 || pos >= tamanho){ errx(1, "Erro!");
   } else if (pos == 0) {                  elemento = removerInicio();
   } else if (pos == tamanho - 1){         elemento = removerFim();
   } else {
         Celula *i = primeiro;
         for(int j = 0; j < pos; j++, i = i->prox);
         Celula *tmp = i->prox;
         elemento = tmp->elemento;         i->prox = tmp->prox;
         tmp->prox = NULL;                 free(tmp);          i = tmp = NULL;
   }
   return elemento;
}
```

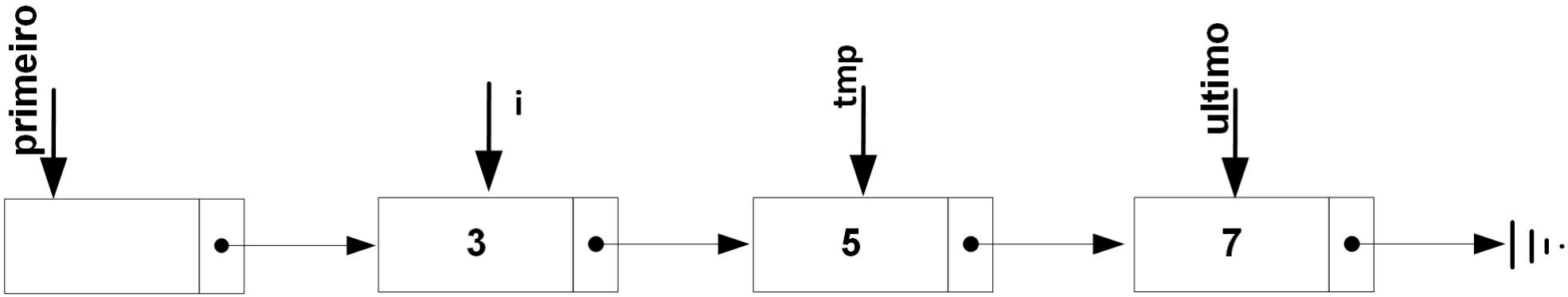


Lista Simples Flexível

```
int remover(int pos ) {                    //remover(1)
   int elemento, tamanho = tamanho();
   if (primeiro == ultimo || pos < 0 || pos >= tamanho){ errx(1, "Erro!");
   } else if (pos == 0) {                  elemento = removerInicio();
   } else if (pos == tamanho - 1){         elemento = removerFim();
   } else {
         Celula *i = primeiro;
         for(int j = 0; j < pos; j++, i = i->prox);
         Celula *tmp = i->prox;
         elemento = tmp->elemento;         i->prox = tmp->prox;
         tmp->prox = NULL;                 free(tmp);          i = tmp = NULL;
   }
   return elemento;
}
```

elemento

5

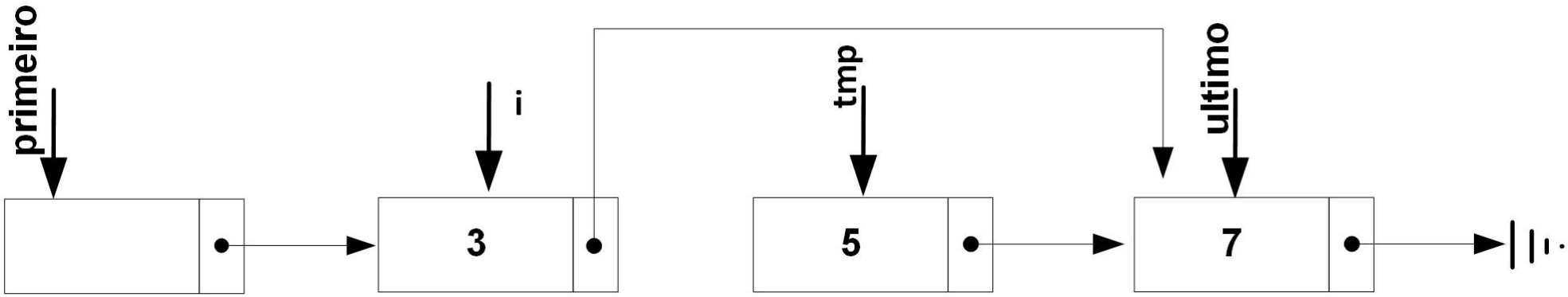


Lista Simples Flexível

```
int remover(int pos ) {                    //remover(1)
   int elemento, tamanho = tamanho();
   if (primeiro == ultimo || pos < 0 || pos >= tamanho){ errx(1, "Erro!");
   } else if (pos == 0) {                  elemento = removerInicio();
   } else if (pos == tamanho - 1){         elemento = removerFim();
   } else {
         Celula *i = primeiro;
         for(int j = 0; j < pos; j++, i = i->prox);
         Celula *tmp = i->prox;
         elemento = tmp->elemento;  i->prox = tmp->prox;
         tmp->prox = NULL;                 free(tmp);          i = tmp = NULL;
   }
   return elemento;
}
```

elemento

5

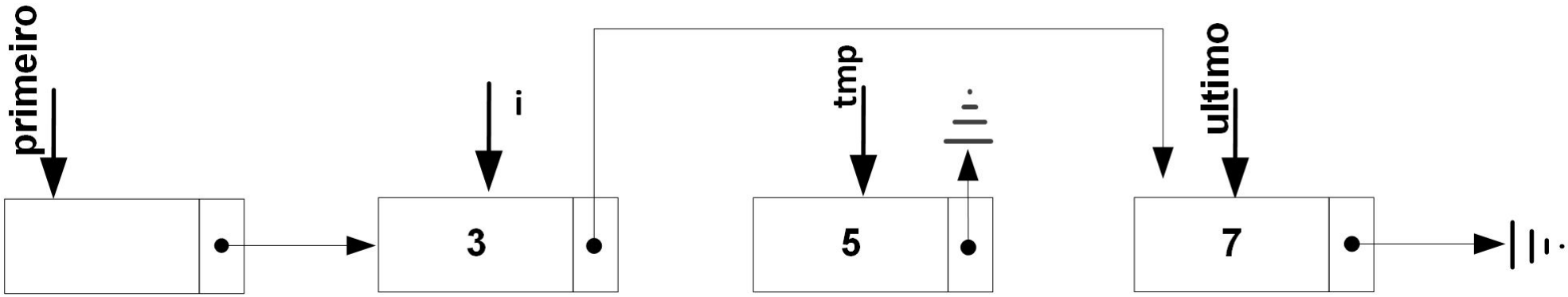


Lista Simples Flexível

```
int remover(int pos ) {                    //remover(1)
   int elemento, tamanho = tamanho();
   if (primeiro == ultimo || pos < 0 || pos >= tamanho){ errx(1, "Erro!");
   } else if (pos == 0) {                  elemento = removerInicio();
   } else if (pos == tamanho - 1){         elemento = removerFim();
   } else {
         Celula *i = primeiro;
         for(int j = 0; j < pos; j++, i = i->prox);
         Celula *tmp = i->prox;
         elemento = tmp->elemento;         i->prox = tmp->prox;
         tmp->prox = NULL;                 free(tmp);          i = tmp = NULL;
   }
   return elemento;
}
```

elemento

5



Lista Simples Flexível

```
int remover(int pos ) {                    //remover(1)
   int elemento, tamanho = tamanho();
   if (primeiro == ultimo || pos < 0 || pos >= tamanho){ errx(1, "Erro!");
   } else if (pos == 0) {                  elemento = removerInicio();
   } else if (pos == tamanho - 1){         elemento = removerFim();
   } else {
         Celula *i = primeiro;
         for(int j = 0; j < pos; j++, i = i->prox);
         Celula *tmp = i->prox;
         elemento = tmp->elemento;         i->prox = tmp->prox;
         tmp->prox = NULL;                 free(tmp);          i = tmp = NULL;
   }
   return elemento;
}
```

elemento

5

Lista Simples Flexível

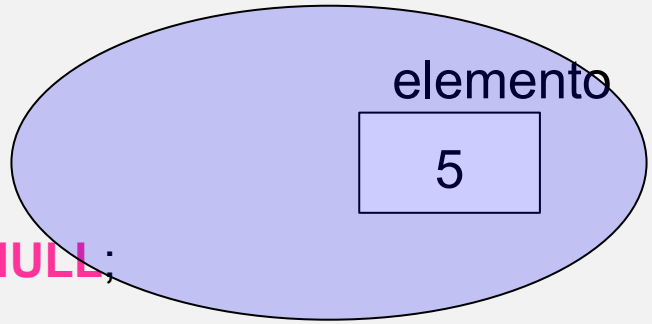
```
int remover(int pos ) {                    //remover(1)
   int elemento, tamanho = tamanho();
   if (primeiro == ultimo || pos < 0 || pos >= tamanho){ errx(1, "Erro!");
   } else if (pos == 0) {                  elemento = removerInicio();
   } else if (pos == tamanho - 1){         elemento = removerFim();
   } else {
         Celula *i = primeiro;
         for(int j = 0; j < pos; j++, i = i->prox);
         Celula *tmp = i->prox;
         elemento = tmp->elemento;         i->prox = tmp->prox;
         tmp->prox = NULL;                 free(tmp);          i = tmp = NULL;
   }
   return elemento;
}
```

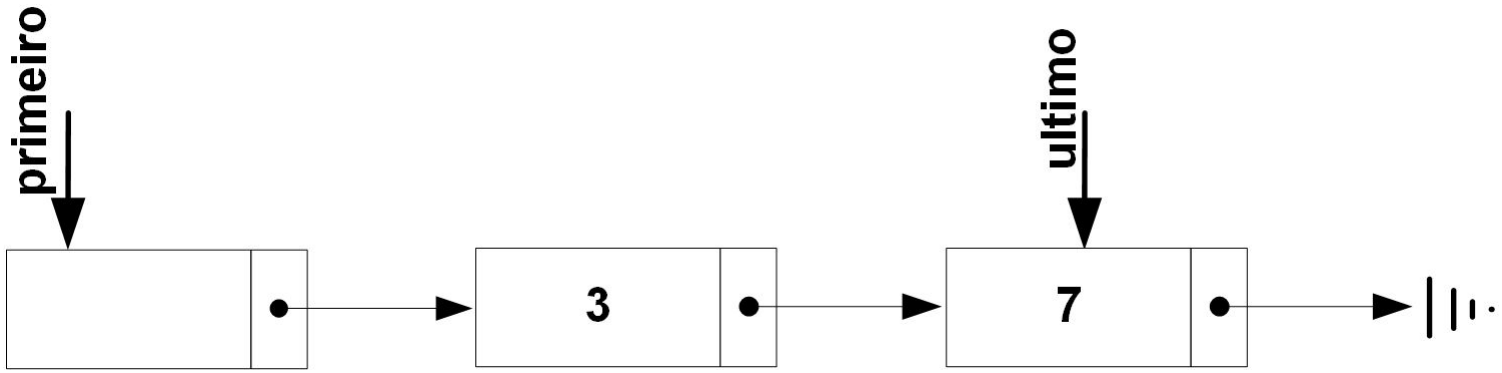
elemento

5

Lista Simples Flexível

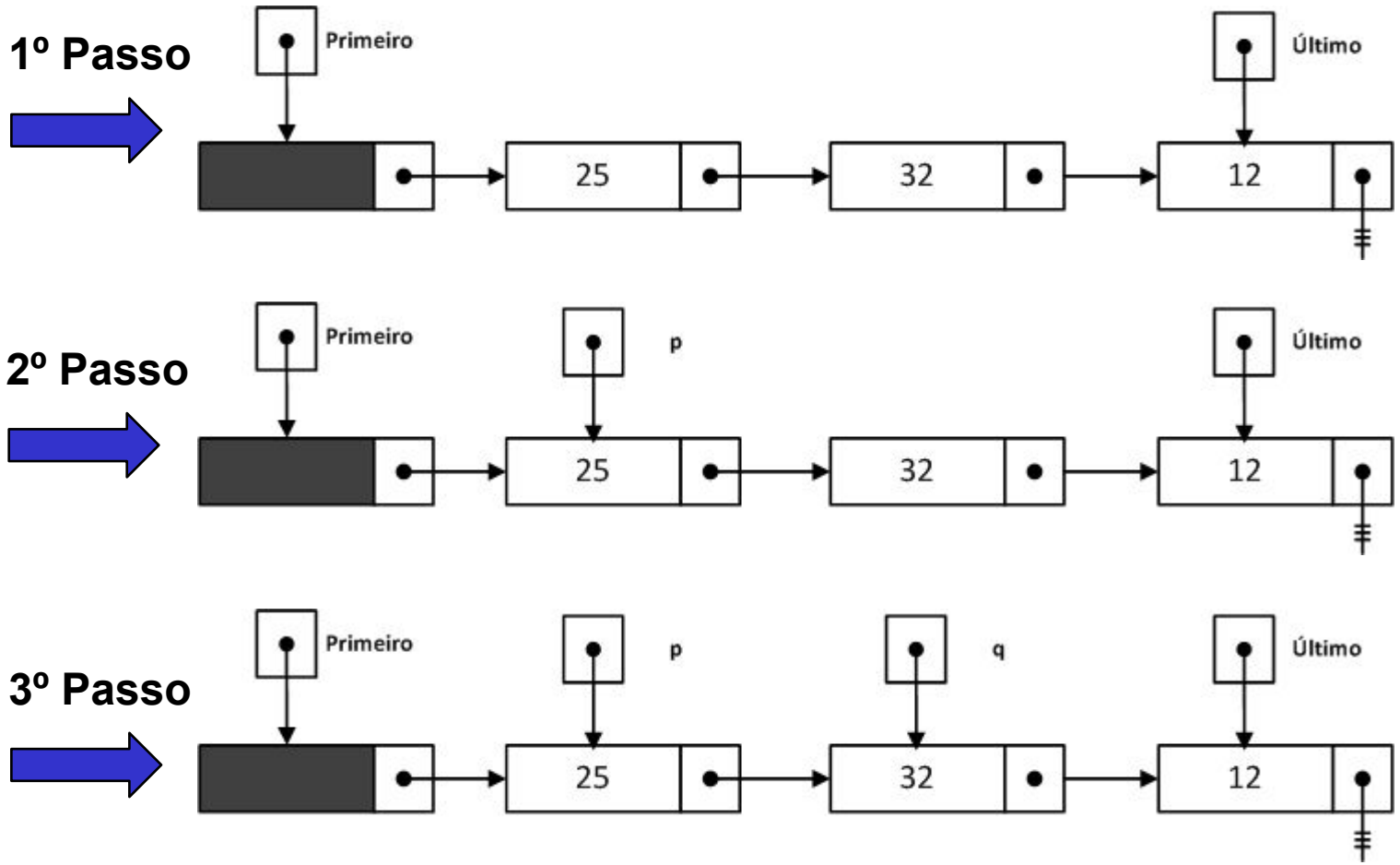
```
int remover(int pos ) {                    //remover(1)
   int elemento, tamanho = tamanho();
   if (primeiro == ultimo || pos < 0 || pos >= tamanho){ errx(1, "Erro!");
   } else if (pos == 0) {                  elemento = removerInicio();
   } else if (pos == tamanho - 1){         elemento = removerFim();
   } else {
         Celula *i = primeiro;
         for(int j = 0; j < pos; j++, i = i->prox);
         Celula *tmp = i->prox;
         elemento = tmp->elemento;         i->prox = tmp->prox;
         tmp->prox = NULL;                 free(tmp);          i = tmp = NULL;
   }
   return elemento;
}
```





Lista Simples Flexível

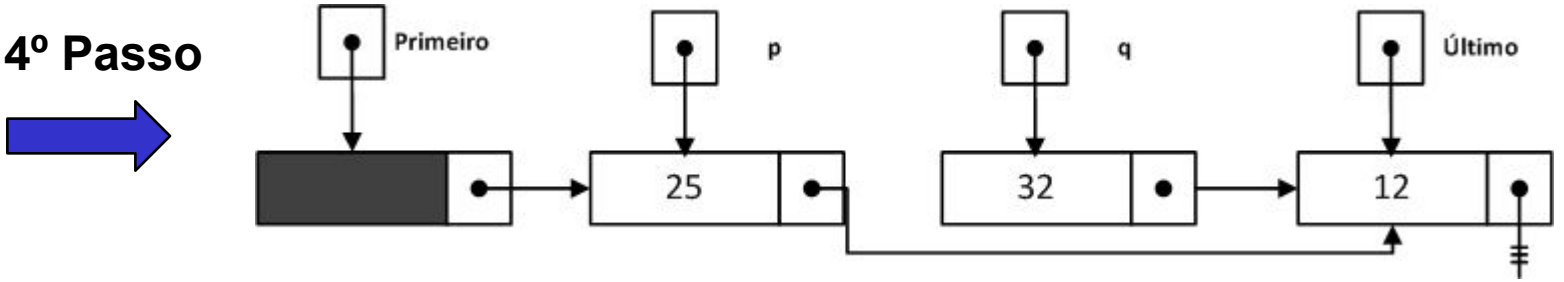
- Exercício: Seja nossa classe Lista, implemente um método que remove a segunda posição válida. Siga os passos da figura abaixo



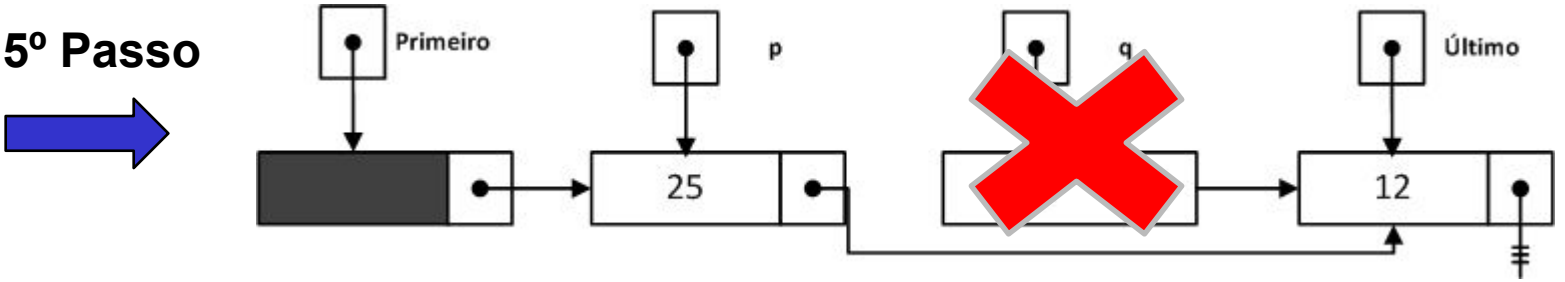
Lista Simples Flexível

- Exercício: Seja nossa classe Lista, implemente um método que remove a segunda posição válida. Siga os passos da figura abaixo

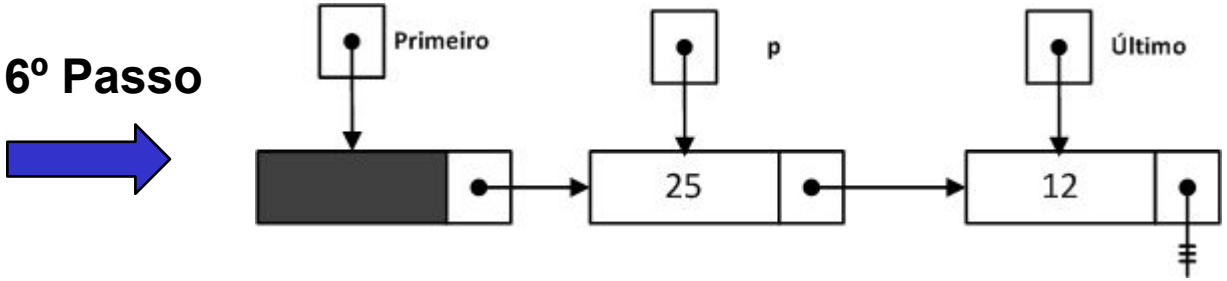
4º Passo



5º Passo



6º Passo



Lista Dupla Flexível

- Classe célula dupla

```
typedef struct CelulaDupla {
      int elemento;
      struct CelulaDupla *prox, *ant;
 } CelulaDupla;

 CelulaDupla *novaCelula(int elemento) {
      CelulaDupla *nova = (CelulaDupla*) malloc(sizeof(CelulaDupla));
      nova->elemento = elemento;
      nova->prox = nova->ant = NULL;
      return nova;
 }
```

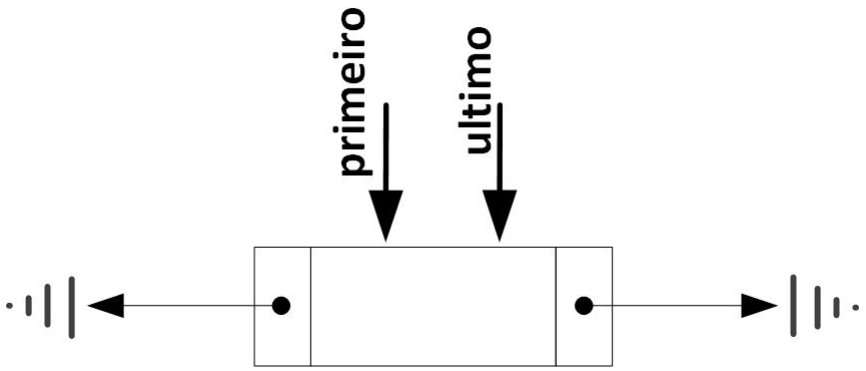
Lista Dupla Flexível

```
CelulaDupla *primeiro, *ultimo;
void start () {
        primeiro = novaCelula(-1);
        ultimo = primeiro;
}
void inserirInicio(int x) { ... }
void inserirFim(int x) { ... }
int removerInicio() { ... }
int removerFim() { ... }
void inserir(int x, int pos) { ... }
int remover(int pos) { ... }
void mostrar() { ... }
```

Similar a Lista Simples, contudo, considerando o ponteiro ant

Lista Dupla Flexível

```
CelulaDupla *primeiro, *ultimo;
void start () {
        primeiro = novaCelula(-1);
        ultimo = primeiro;
}
void inserirInicio(int x) { ... }
void inserirFim(int x) { ... }
int removerInicio() { ... }
int removerFim() { ... }
void inserir(int x, int pos) { ... }
int remover(int pos) { ... }
void mostrar() { ... }
```



Lista Dupla Flexível

```
CelulaDupla *primeiro, *ultimo;
void start () {
        primeiro = novaCelula(-1);
        ultimo = primeiro;
}
void inserirInicio(int x) { ... }
void inserirFim(int x) { ... }
int removerInicio() { ... }
int removerFim() { ... }
void inserir(int x, int pos) { ... }
int remover(int pos) { ... }
void mostrar() { ... }
```

Lista Dupla Flexível

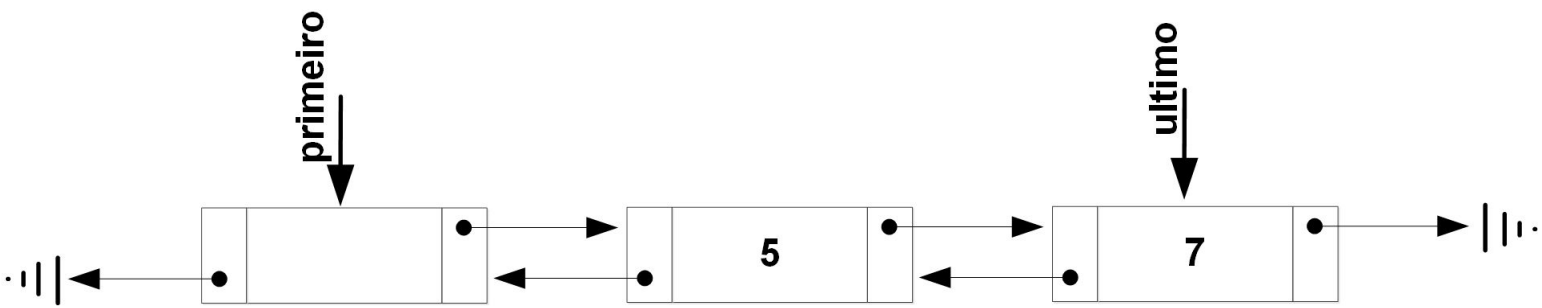
```
//LISTA DUPLA
void inserirInicio(int x) {
      CelulaDupla *tmp = novaCelula(x);
      tmp->ant = primeiro;
      tmp->prox = primeiro->prox;
      primeiro->prox = tmp;
      if (primeiro == ultimo) {
            ultimo = tmp;
      } else {
            tmp->prox->ant = tmp;
      }
      tmp = NULL;
}
```

```
//LISTA SIMPLES
void inserirInicio(int x) {
      Celula *tmp = novaCelula(x);

      tmp->prox = primeiro->prox;
      primeiro->prox = tmp;
      if (primeiro == ultimo) {
         ultimo = tmp;



      }
      tmp = NULL;
}
```

Lista Dupla Flexível

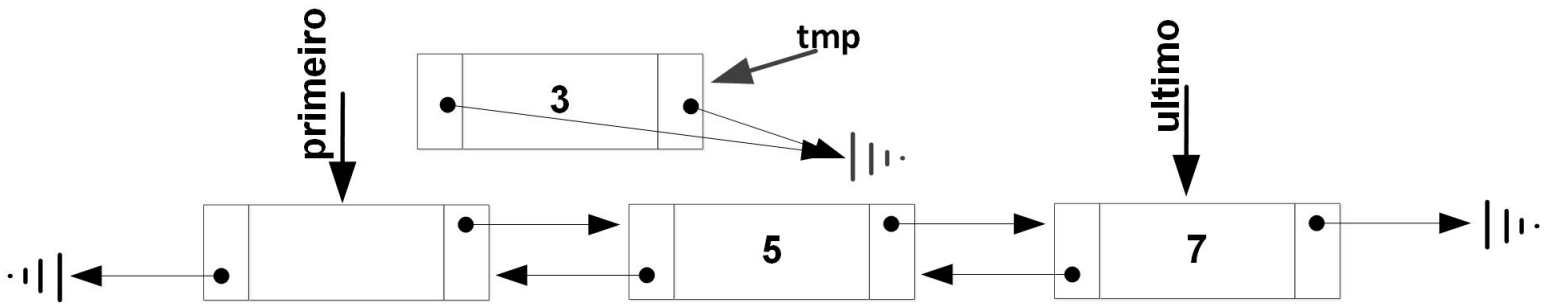
```
//LISTA DUPLA
void inserirInicio(int x) {
        CelulaDupla *tmp = novaCelula(x);
        tmp->ant = primeiro;
        tmp->prox = primeiro->prox;
        primeiro->prox = tmp;
        if (primeiro == ultimo) {
                ultimo = tmp;
        } else {
                tmp->prox->ant = tmp;
        }
        tmp = NULL;
}
```

Supondo uma lista com os elementos 5 e 7, vamos inserir o 3 no início



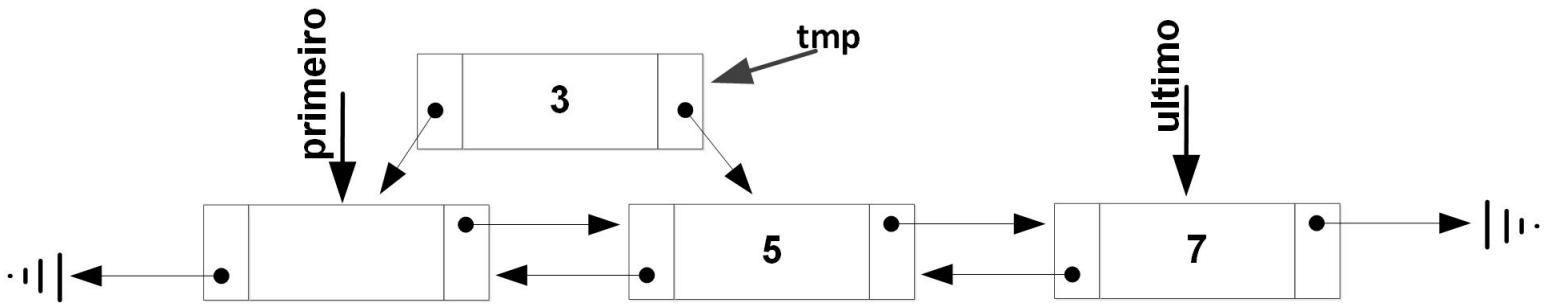
Lista Dupla Flexível

```
//Inserindo o 3 no início
void inserirInicio(int x) {
        CelulaDupla *tmp = novaCelula(x);
        tmp->ant = primeiro;
        tmp->prox = primeiro->prox;
        primeiro->prox = tmp;
        if (primeiro == ultimo) {
                ultimo = tmp;
        } else {
                tmp->prox->ant = tmp;
        }
        tmp = NULL;
}
```



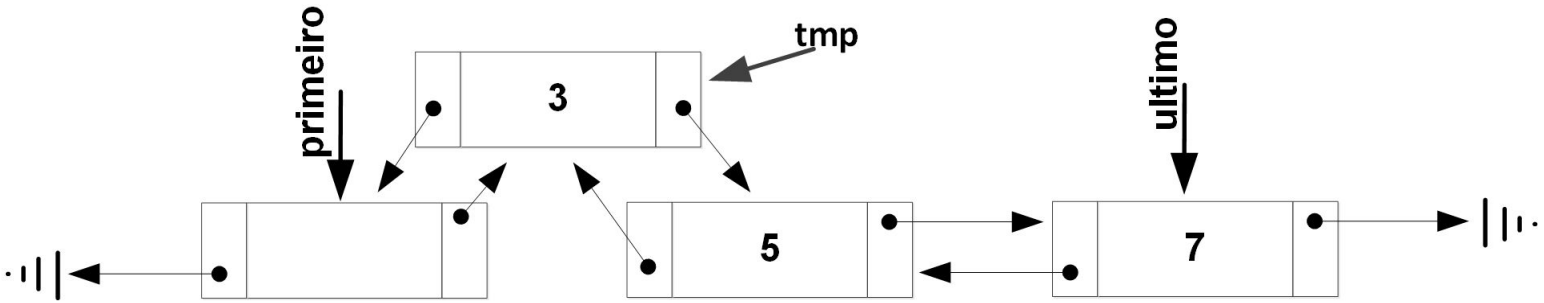
Lista Dupla Flexível

```
//Inserindo o 3 no início
void inserirInicio(int x) {
	CelulaDupla *tmp = novaCelula(x);
	tmp->ant = primeiro;
	tmp->prox = primeiro->prox;
	primeiro->prox = tmp;
	if (primeiro == ultimo) {
		ultimo = tmp;
	} else {
		tmp->prox->ant = tmp;
	}
	tmp = NULL;
}
```



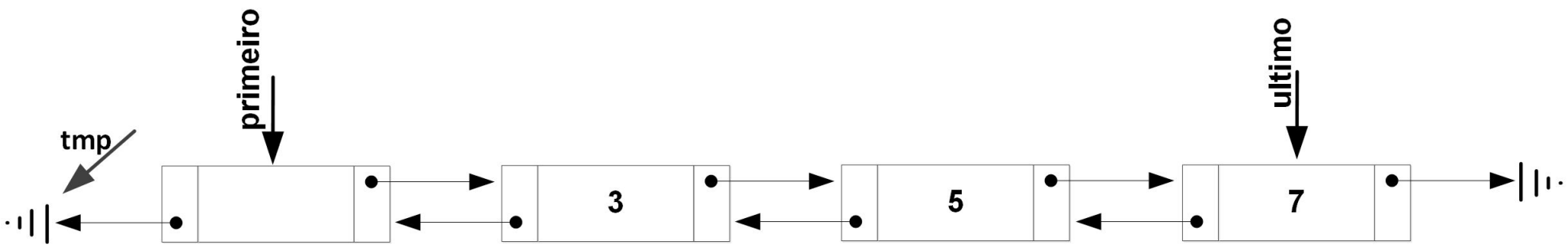
Lista Dupla Flexível

```
//Inserindo o 3 no início
void inserirInicio(int x) {
	CelulaDupla *tmp = novaCelula(x);
	tmp->ant = primeiro;
	tmp->prox = primeiro->prox;
	primeiro->prox = tmp;
	if (primeiro == ultimo) {
		ultimo = tmp;
	} else {
		tmp->prox->ant = tmp;
	}
	tmp = NULL;
}
```



Lista Dupla Flexível

```
//Inserindo o 3 no início
void inserirInicio(int x) {
	CelulaDupla *tmp = novaCelula(x);
	tmp->ant = primeiro;
	tmp->prox = primeiro->prox;
	primeiro->prox = tmp;
	if (primeiro == ultimo) {
		ultimo = tmp;
	} else {
		tmp->prox->ant = tmp;
	}
	tmp = NULL;
}
```



Lista Dupla Flexível

```
CelulaDupla *primeiro, *ultimo;
void start () {
        primeiro = novaCelula(-1);
        ultimo = primeiro;
}
void inserirInicio(int x) { ... }
void inserirFim(int x) { ... }
int removerInicio() { ... }
int removerFim() { ... }
void inserir(int x, int pos) { ... }
int remover(int pos) { ... }
void mostrar() { ... }
```

Lista Dupla Flexível

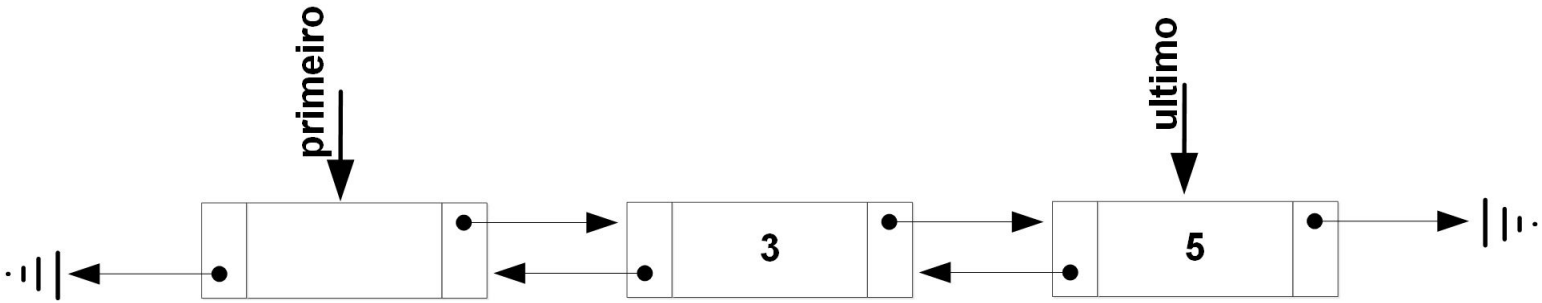
```
//LISTA DUPLA
void inserirFim(int x) {
      ultimo->prox = novaCelula(x);
      ultimo->prox->ant = ultimo;
      ultimo = ultimo->prox;
}
```

```
//LISTA SIMPLES
void inserirFIm(int x) {
      ultimo->prox = novaCelula(x);

      ultimo = ultimo->prox;
}
```

Lista Dupla Flexível

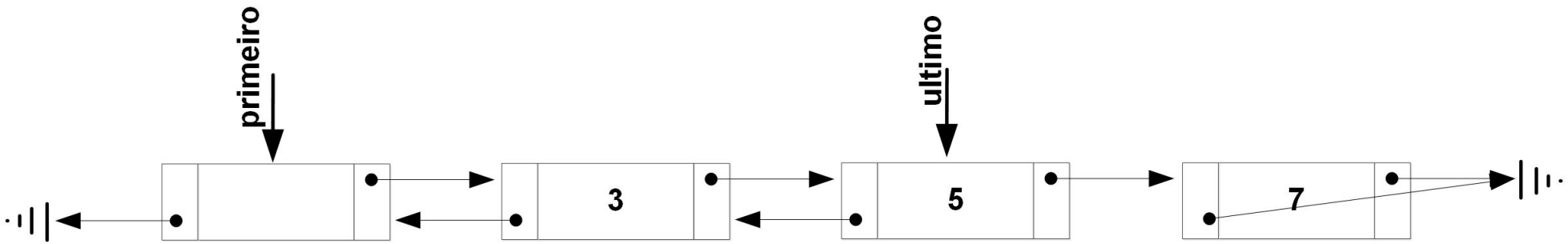
```
//LISTA DUPLA
void inserirFim(int x) {
        ultimo->prox = novaCelula(x);
        ultimo->prox->ant = ultimo;
        ultimo = ultimo->prox;
}
```

Supondo uma lista com os elementos 3 e 5, vamos inserir o 7 no fim



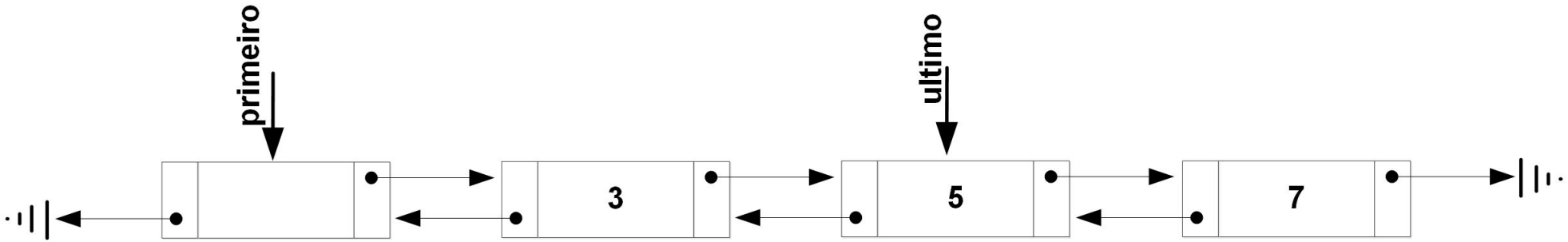
Lista Dupla Flexível

```
//LISTA DUPLA
void inserirFim(int x) {
        ultimo->prox = novaCelula(x);
        ultimo->prox->ant = ultimo;
        ultimo = ultimo->prox;
}
```



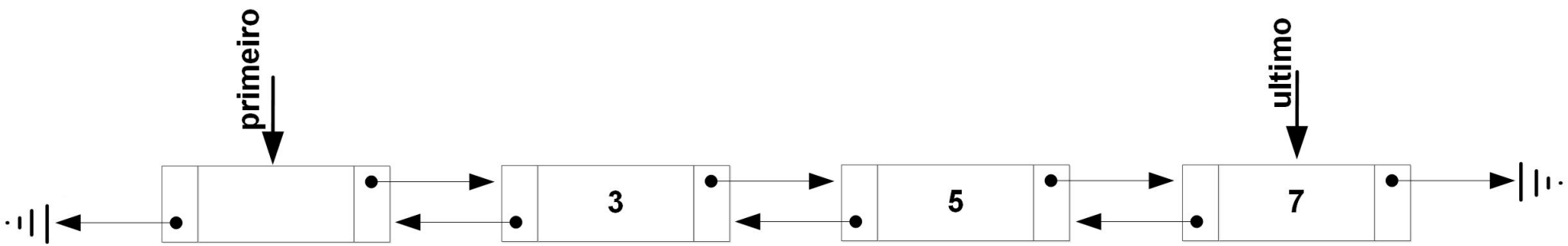
Lista Dupla Flexível

```
//LISTA DUPLA
void inserirFim(int x) {
      ultimo->prox = novaCelula(x);
      ultimo->prox->ant = ultimo;
      ultimo = ultimo->prox;
}
```



Lista Dupla Flexível

```
//LISTA DUPLA
void inserirFim(int x) {
        ultimo->prox = novaCelula(x);
        ultimo->prox->ant = ultimo;
        ultimo = ultimo->prox;
}
```



Lista Dupla Flexível

```
CelulaDupla *primeiro, *ultimo;
void start () {
        primeiro = novaCelula(-1);
        ultimo = primeiro;
}
void inserirInicio(int x) { ... }
void inserirFim(int x) { ... }
int removerInicio() { ... }
int removerFim() { ... }
void inserir(int x, int pos) { ... }
int remover(int pos) { ... }
void mostrar() { ... }
```

Lista Dupla Flexível

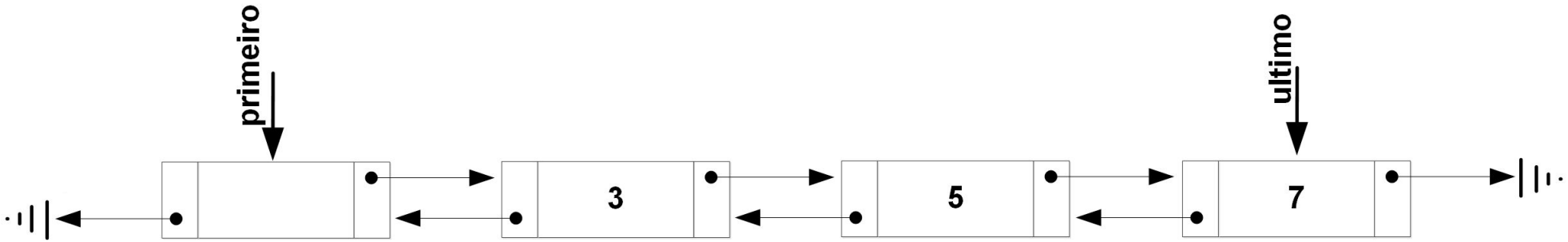
```
//LISTA DUPLA
int removerInicio() {
        if (primeiro == ultimo)
                errx(1, "Erro!”);
        CelulaDupla *tmp = primeiro;
        primeiro = primeiro->prox;
        int elemento = primeiro->elemento;
        tmp->prox = primeiro->ant = NULL;
        free(tmp);      tmp = NULL;
        return elemento;
}
```

```
//LISTA SIMPLES
int removerInicio() {
        if (primeiro == ultimo)
                errx(1, "Erro!”);
        Celula *tmp = primeiro;
        primeiro = primeiro->prox;
        int elemento = primeiro->elemento;
        tmp->prox = NULL;
        free(tmp);      tmp = NULL;
        return elemento;
}
```

Lista Dupla Flexível

```
//LISTA DUPLA
int removerInicio() {
        if (primeiro == ultimo)
                errx(1, "Erro!");
        CelulaDupla *tmp = primeiro;
        primeiro = primeiro->prox;
        int elemento = primeiro->elemento;
        tmp->prox = primeiro->ant = NULL;
        free(tmp);      tmp = NULL;
        return elemento;
}
```

Exercício: Supondo uma lista com os elementos 3, 5 e 7, execute o remover no início



Lista Dupla Flexível

```
CelulaDupla *primeiro, *ultimo;
void start () {
        primeiro = novaCelula(-1);
        ultimo = primeiro;
}
void inserirInicio(int x) { ... }
void inserirFim(int x) { ... }
int removerInicio() { ... }
int removerFim() { ... }
void inserir(int x, int pos) { ... }
int remover(int pos) { ... }
void mostrar() { ... }
```

Lista Dupla Flexível

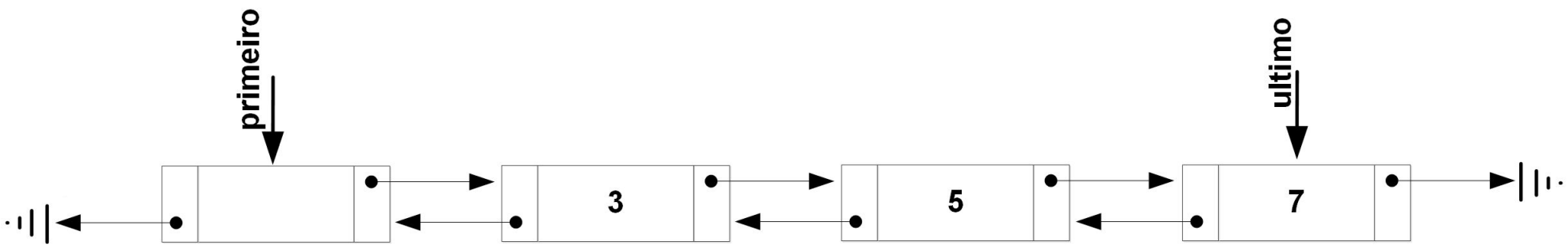
```
//LISTA DUPLA
int removerFim() {
      if (primeiro == ultimo)
        errx(1, "Erro!”);


       int elemento = ultimo->elemento;
       ultimo = ultimo->ant;
       ultimo->prox->ant = NULL;
       free(ultimo->prox);
       ultimo->prox = NULL;
       return elemento;
}
```

```
//LISTA SIMPLES
int removerFim() {
      if (primeiro == ultimo)
        errx(1, "Erro!”);
      Celula *i;
      for(i = primeiro; i->prox != ultimo; i = i->prox);
      int elemento = ultimo->elemento;
      ultimo = i;free(ultimo->prox);

      i = ultimo->prox = NULL;
      return elemento;
}
```

Lista Dupla Flexível

```
//LISTA DUPLA
int removerFim() {
      if (primeiro == ultimo)
         errx(1, "Erro!");


       int elemento = ultimo->elemento;
       ultimo = ultimo->ant;
       ultimo->prox->ant = NULL;
       free(ultimo->prox);
       ultimo->prox = NULL;
       return elemento;
}
```

Exercício: Supondo uma lista com os elementos 3, 5 e 7, execute o remover no fim



Lista Dupla Flexível

```
CelulaDupla *primeiro, *ultimo;
void start () {
        primeiro = novaCelula(-1);
        ultimo = primeiro;
}
void inserirInicio(int x) { ... }
void inserirFim(int x) { ... }
int removerInicio() { ... }
int removerFim() { ... }
void inserir(int x, int pos) { ... }
int remover(int pos) { ... }
void mostrar() { ... }
```

Lista Dupla Flexível

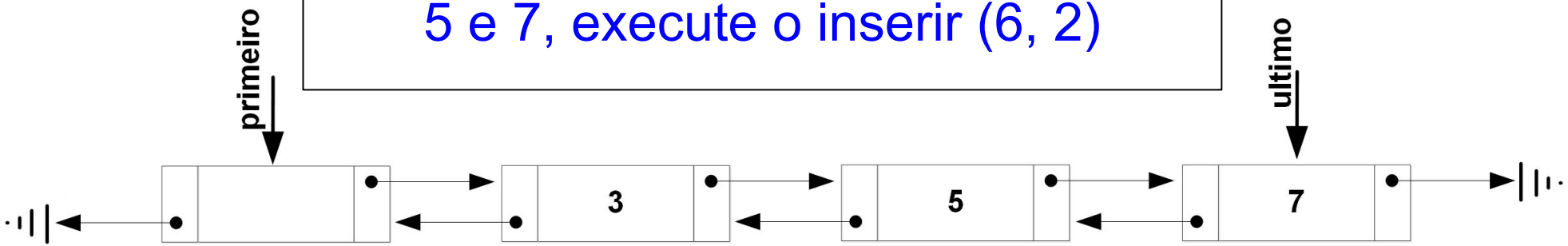
```
//LISTA DUPLA
void inserir(int x, int pos) {
      int tamanho = tamanho();
      if (pos < 0 || pos > tamanho){
         errx(1, "Erro!”);
      } else if (pos == 0){ inserirInicio(x);
      } else if (pos == tamanho){ inserirFim(x);
      } else {
         CelulaDupla i = primeiro;
         for (int j = 0; j < pos; j++, i = i->prox);

         CelulaDupla *tmp = novaCelula(x);
         tmp->ant = i;
         tmp->prox = i->prox;
         tmp->ant->prox = tmp->prox->ant =
tmp;
         tmp = i = NULL;
      }
   }
```

```
//LISTA SIMPLES
void inserir(int x, int pos) {
      int tamanho = tamanho();
      if (pos < 0 || pos > tamanho){
         errx(1, "Erro!”);
      } else if (pos == 0){    inserirInicio(x);
      } else if (pos == tamanho){ inserirFim(x);
      } else {
         Celula *i = primeiro;
         for (int j = 0; j < pos; j++, i = i->prox);

         Celula *tmp = novaCelula(x);

         tmp->prox = i->prox;
         i->prox = tmp;
         tmp = i = NULL;
      }
   }
```

Lista Dupla Flexível

```
//LISTA DUPLA
void inserir(int x, int pos) {
    int tamanho = tamanho();
    if (pos < 0 || pos > tamanho){                    errx(1, "Erro!”);
    } else if (pos == 0){                             inserirInicio(x);
    } else if (pos == tamanho){                   inserirFim(x);
    } else {
      CelulaDupla i = primeiro;                       for (int j = 0; j < pos; j++, i = i->prox);

      CelulaDupla *tmp = novaCelula(x);
      tmp->ant = i;                                       tmp->prox = i->prox;
      tmp->ant->prox = tmp->prox->ant = tmp;              tmp = i = NULL;
    }
  }
```

Exercício: Supondo a lista com o 3, 5 e 7, execute o inserir (6, 2)



Lista Dupla Flexível

```
CelulaDupla *primeiro, *ultimo;
void start () {
        primeiro = novaCelula(-1);
        ultimo = primeiro;
}
void inserirInicio(int x) { ... }
void inserirFim(int x) { ... }
int removerInicio() { ... }
int removerFim() { ... }
void inserir(int x, int pos) { ... }
int remover(int pos) { ... }
void mostrar() { ... }
```

Lista Dupla Flexível

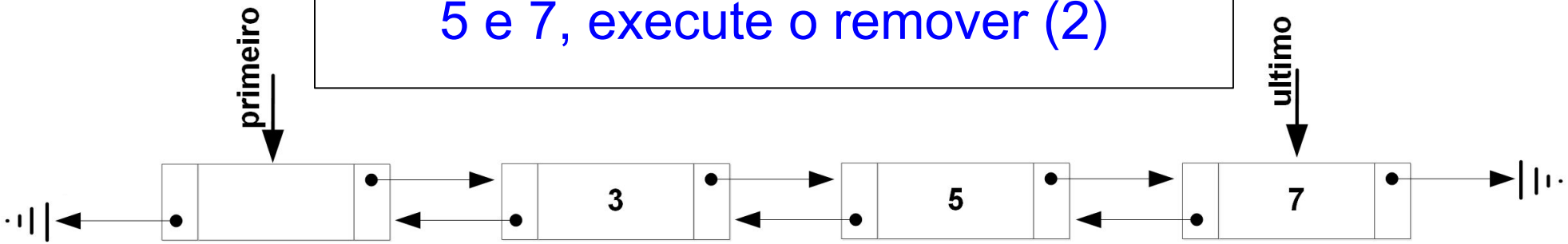
```
//LISTA DUPLA
int remover(int pos) {
    int elemento, tamanho = tamanho();
    if (primeiro == ultimo){
      errx(1, "Erro!”);
    } else if (pos < 0 || pos >= tamanho){
      errx(1, "Erro!”);
    } else if (pos == 0){
      elemento = removerInicio();
    } else if (pos == tamanho - 1){
      elemento = removerFim();
    } else {
      CelulaDupla i = primeiro->prox;
      for (int j = 0; j < pos; j++, i = i->prox);
      i->ant->prox = i->prox;
      i->prox->ant = i->ant;
      elemento = i->elemento;
      i->prox = i->ant = NULL;
      free(i);
      i = NULL;
    }
    return elemento;
  }
```

```
//LISTA SIMPLES
int remover(int pos) {
    int elemento, tamanho = tamanho();
    if (primeiro == ultimo){
      errx(1, "Erro!”);
    } else if (pos < 0 || pos >= tamanho){
      errx(1, "Erro!”);
    } else if (pos == 0){
      elemento = removerInicio();
    } else if (pos == tamanho - 1){
      elemento = removerFim();
    } else {
      Celula *i = primeiro;
      for (int j = 0; j < pos; j++, i = i->prox);
      Celula *tmp = i->prox;
      elemento = tmp->elemento;
      i->prox = tmp->prox;
      tmp->prox = NULL;
      free(tmp);
      i = tmp = NULL;
    }
    return elemento;
  }
```

Lista Dupla Flexível

```
//LISTA DUPLA
int remover(int pos) {
      int elemento, tamanho = tamanho();
      if (primeiro == ultimo){                    errx(1, "Erro!”);
      } else if (pos < 0 || pos >= tamanho){      errx(1, "Erro!”);
      } else if (pos == 0){                       elemento = removerInicio();
      } else if (pos == tamanho - 1){             elemento = removerFim();
      } else {
         CelulaDupla i = primeiro->prox;          for (int j = 0; j < pos; j++, i = i->prox);
         i->ant->prox = i->prox;                  i->prox->ant = i->ant;                    free(i);
         elemento = i->elemento;                        i = i->prox = i->ant = NULL;
      }
      return elemento;
   }
```

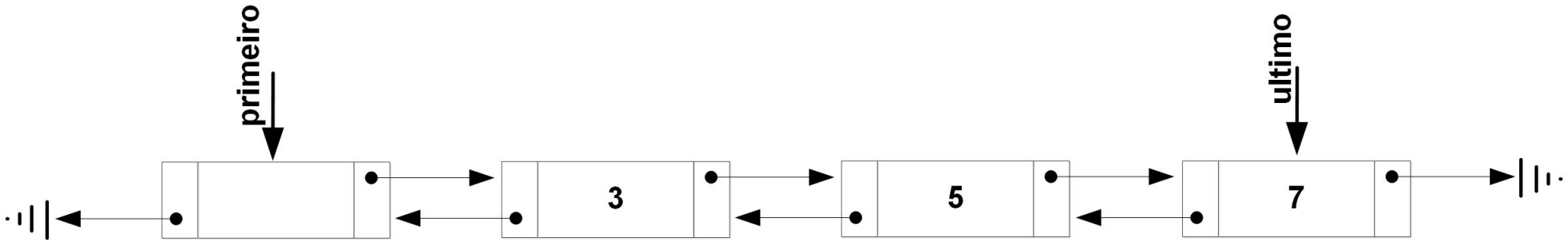
Exercício: Supondo a lista com o 3, 5 e 7, execute o remover (2)



Lista Dupla Flexível

```
CelulaDupla *primeiro, *ultimo;
void start () {
        primeiro = novaCelula(-1);
        ultimo = primeiro;
}
void inserirInicio(int x) { ... }
void inserirFim(int x) { ... }
int removerInicio() { ... }
int removerFim() { ... }
void inserir(int x, int pos) { ... }
int remover(int pos) { ... }
void mostrar() { ... }
```

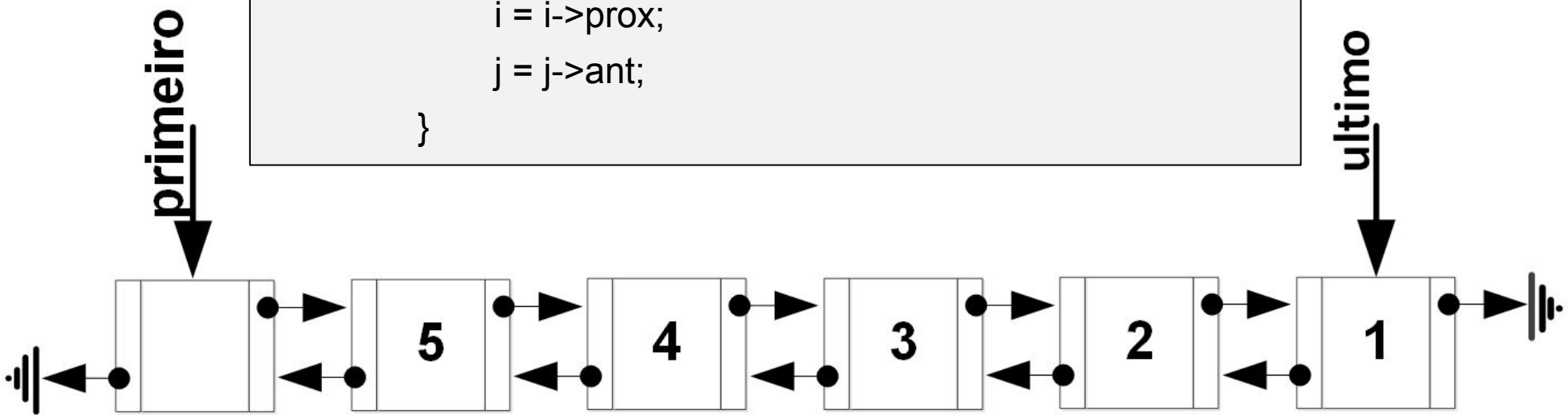
Exercício: Implemente o mostrar e o execute para uma lista com os elementos 3, 5 e 7



Exercício

- Exercício: Faça um método que inverta a ordem dos elementos da lista dupla. No exemplo abaixo, após a inversão, os elementos ficarão na ordem crescente

```
void inverte(){
        Celula *i = primeiro->prox;    Celula *j = ultimo;
        while (i != j && j->prox != i){
        int tmp = i->elemento;
        i->elemento = j->elemento;
        j->elemento = tmp;
        i = i->prox;
        j = j->ant;
}
```

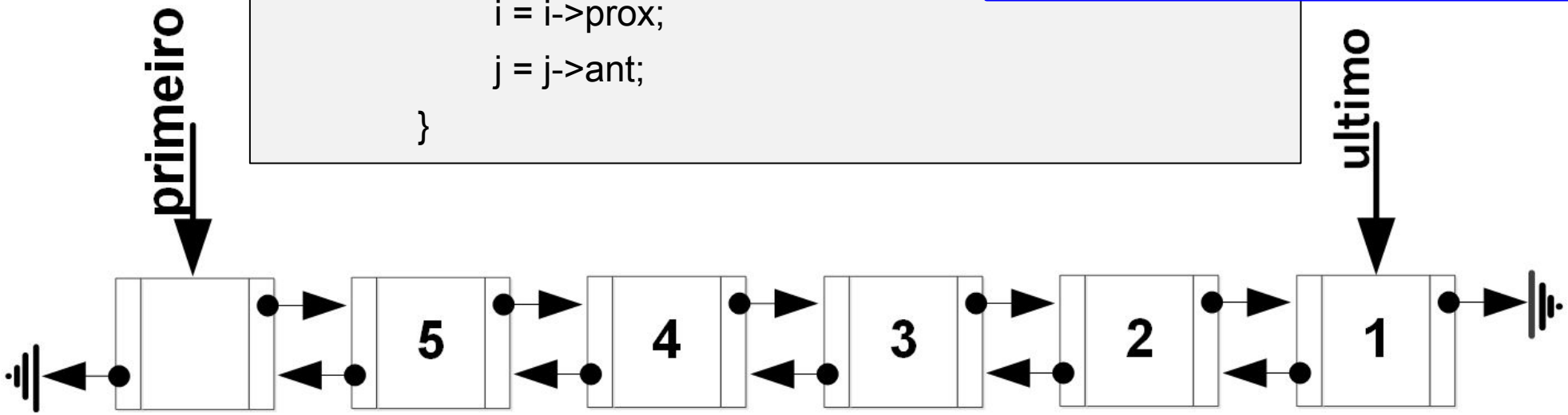


Exercício

- Exercício: Faça um método que inverta a ordem dos elementos da lista dupla. No exemplo abaixo, após a inversão, os elementos ficarão na ordem crescente

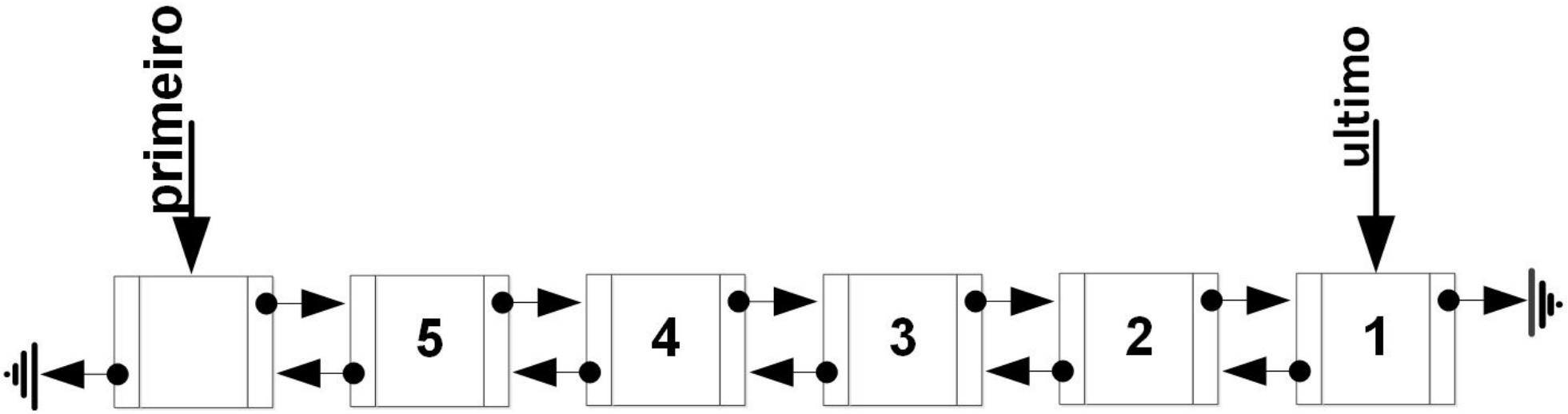
```
void inverte(){
    Celula *i = primeiro->prox;    Celula *j = ultimo;
    while (i != j && j->prox != i){
    int tmp = i->elemento;
    i->elemento = j->elemento;
    j->elemento = tmp;
    i = i->prox;
    j = j->ant;
}
```

Veja que a condição i != j é para uma lista com número par de elementos e j->prox != i, para as com número ímpar de elementos



Exercício

- Exercício: Faça um método que inverta a ordem dos elementos da lista **simples**. No exemplo abaixo, após a inversão, os elementos ficarão na ordem crescente



Exercício

- Exercício: Faça um método que inverta a ordem dos elementos da lista **simples**. No exemplo abaixo, após a inversão, os elementos ficarão na ordem cresc

```
void inverte(){
        Celula *i = primeiro->prox;    Celula *j = ultimo;
        Celula *k;
        while (i != j && j->prox != i){
        int tmp = i->elemento;
        i->elemento = j->elemento;
        j->elemento = tmp;
        i = i->prox;
        for (k = primeiro; k->prox != j; k = k->prox); j = k;
}
```