Estrutura de Dados

Técnicas de Encadeamento

(Encadeamento Duplo)

Prof. Luiz Gustavo Almeida Martins

Introdução

- Diferentes técnicas de encadeamento podem ser aplicadas a fim de **gerar algoritmos mais simples e/ou eficientes**

Introdução

- Diferentes técnicas de encadeamento podem ser aplicadas a fim de **gerar algoritmos mais simples e/ou eficientes**

- **Técnicas mais usuais:**
  - Uso do nó cabeçalho
  - Encadeamento circular
  - Encadeamento duplo

Introdução

- Diferentes técnicas de encadeamento podem ser aplicadas a fim de **gerar algoritmos mais simples e/ou eficientes**

- **Técnicas mais usuais:**
  - Uso do nó cabeçalho
  - Encadeamento circular
  - **Encadeamento duplo**

Encadeamento Duplo

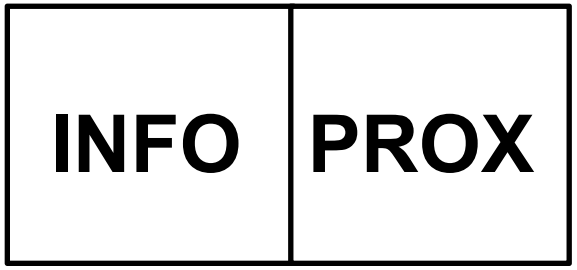
- Cada **nó conhece seu sucessor e antecessor** na lista

Encadeamento Duplo

- Cada **nó conhece seu sucessor e antecessor** na lista

- Muda a **estrutura de representação do nó**:
  - Campo ***info*** guarda o **valor do elemento**
  - Campo **prox** aponta para o **sucessor do nó**

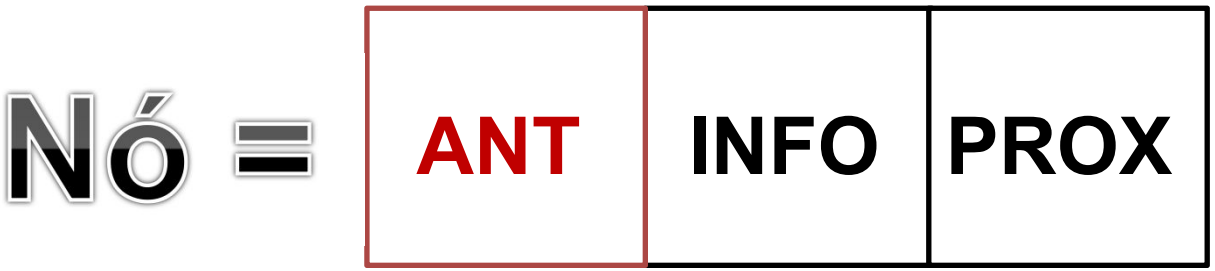
Nó =



Encadeamento Duplo

- Cada **nó conhece seu sucessor e antecessor** na lista

- Muda a **estrutura de representação do nó**:
  - Campo ***info*** guarda o **valor do elemento**
  - Campo **prox** aponta para o **sucessor do nó**
  - Campo ***ant*** aponta para o **antecessor do nó**



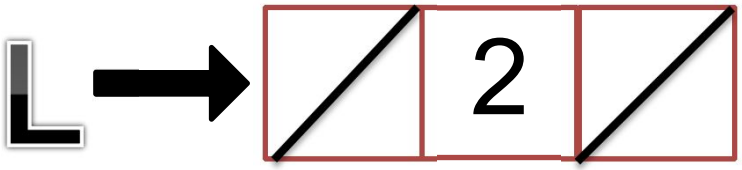
Lista Duplamente Encadeada

- **Lista vazia** (**Ex:** L= { })

Lista Duplamente Encadeada

- **Lista vazia** (**Ex:** L= { })

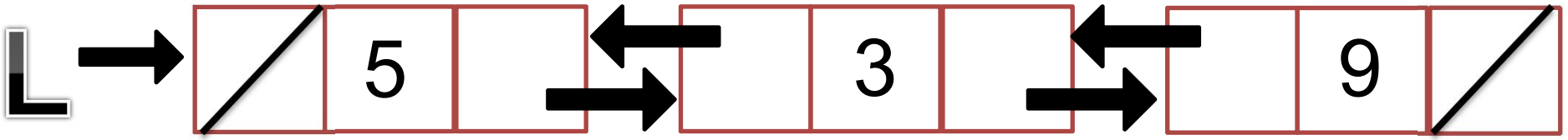
- **Lista com 1 único elemento** (**Ex:** L= {2})



Lista Duplamente Encadeada

- **Lista com mais de um elemento:**

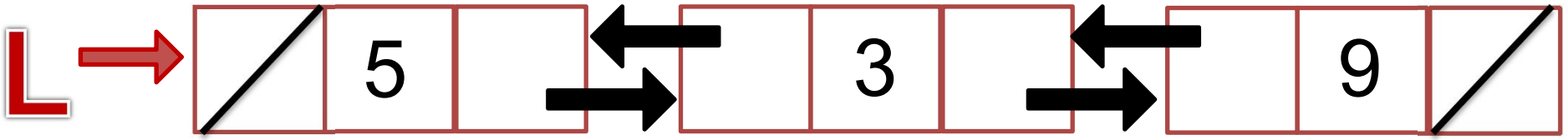
  Ex: L = { 5, 3, 9}



Lista Duplamente Encadeada

- **Lista com mais de um elemento:**

  Ex: L = { 5, 3, 9}



- A **LISTA** ainda é um **ponteiro para a estrutura nó-duplo**

Lista Duplamente Encadeada

- **Facilita:**
  - A construção de operações que necessitam **percorrer a lista nas duas direções**

Lista Duplamente Encadeada

- **Facilita:**
  - A construção de operações que necessitam **percorrer a lista nas duas direções**
  - Procurar por um determinado elemento
    - Analisa o campo ***info*** **do nó atual** e não do sucessor

Lista Duplamente Encadeada

- **Facilita:**
  - A construção de operações que necessitam **percorrer a lista nas duas direções**
  - Procurar por um determinado elemento
    - Analisa o campo ***info*** **do nó atual** e não do sucessor
  - Remoção utiliza um **ÚNICO ponteiro auxiliar**

Lista Duplamente Encadeada

- **Facilita:**
  - A construção de operações que necessitam **percorrer a lista nas duas direções**
  - Procurar por um determinado elemento
    - Analisa o campo ***info*** **do nó atual** e não do sucessor
  - Remoção utiliza um **ÚNICO ponteiro auxiliar**
- Requer **mais memória** e **código com mais linhas** (controle dos ponteiros)

Estrutura de Representação em C

- Declaração da estrutura nó inteiro no **lista.c**:

```
struct no {
        int info;
        struct no * prox;
        struct no * ant;
};
```

- Definição do tipo de dado lista no **lista.h**:

```
typedef struct no * Lista;
```

Encadeamento Duplo

- Operações ***cria_lista*** **e** ***lista_vazia*** **também são IDÊNTICAS** ao encadeamento simples

Encadeamento Duplo

- Operações ***cria_lista*** **e** ***lista_vazia*** **também são IDÊNTICAS** ao encadeamento simples

```
Lista cria_lista() {
    return NULL;
}
```

Encadeamento Duplo

- Operações ***cria_lista*** **e** ***lista_vazia*** **também são IDÊNTICAS** ao encadeamento simples

```
Lista cria_lista() {
    return NULL;
}
```

```
int lista_vazia (Lista lst) {
    if (lst == NULL)
        return 1;
    else
        return 0;
}
```

Encadeamento Duplo

- Analisaremos as operações de **inserção** e **remoção**

Encadeamento Duplo

- Analisaremos as operações de **inserção** e **remoção**

- **TAD lista não-ordenada**:
  - **Insere elemento**
    - Melhor local de inserção é no início da lista
    - Evita percorrimento da lista

Encadeamento Duplo

- Analisaremos as operações de **inserção** e **remoção**

- **TAD lista não-ordenada**:
  - **Insere elemento**
    - Melhor local de inserção é no início da lista
    - Evita percorrimento da lista
  - **Remove elemento**
    - Encontrar o elemento envolve percorrimento
    - Deve percorrer até o final da lista para determinar que o elemento não existe

Insere Elemento

- Existem **2 cenários** possíveis:
  - Lista vazia
  - Lista com elementos

Insere Elemento

- Lista vazia:

Ex: inserir 5

Insere Elemento

- Lista vazia:
  - Aloca o novo nó

Ex: inserir 5

Insere Elemento

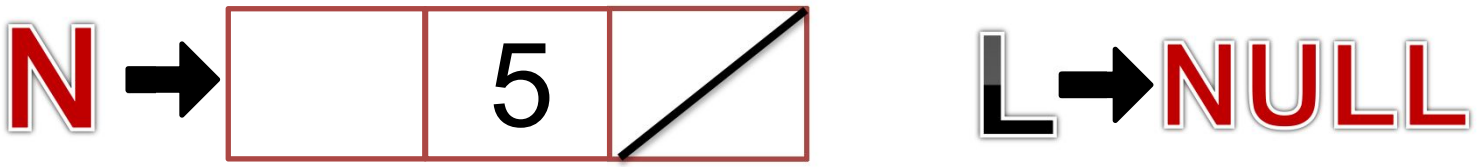
- Lista vazia:
  - Aloca o novo nó
  - Preenche os campos do novo nó:
    - Campo ***info*** com o valor do elemento

Ex: inserir 5

Insere Elemento

- Lista vazia:
  - Aloca o novo nó
  - Preenche os campos do novo nó:
    - Campo ***info*** com o valor do elemento
    - Campo ***prox*** com ***NULL***

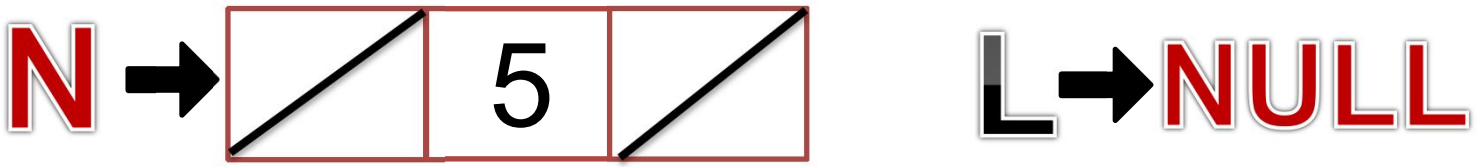
Ex: inserir 5



Insere Elemento

- Lista vazia:
  - Aloca o novo nó
  - Preenche os campos do novo nó:
    - Campo ***info*** com o valor do elemento
    - Campo ***prox*** com ***NULL***
    - Campo ***ant*** com ***NULL***

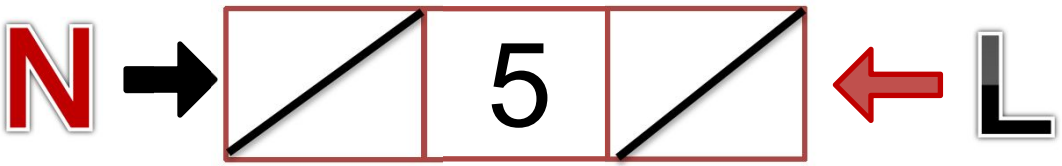
Ex: inserir 5



Insere Elemento

- Lista vazia:
  - Aloca o novo nó
  - Preenche os campos do novo nó:
    - Campo ***info*** com o valor do elemento
    - Campo ***prox*** com ***NULL***
    - Campo ***ant*** com ***NULL***
  - Faz a lista apontar para o **novo nó**

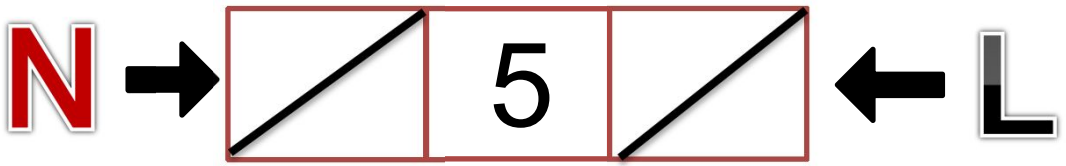
Ex: inserir 5



Insere Elemento

- Lista vazia:
  - Aloca o novo nó
  - Preenche os campos do novo nó:
    - Campo ***info*** com o valor do elemento
    - Campo ***prox*** com ***NULL***
    - Campo ***ant*** com ***NULL***
  - Faz a lista apontar para o **novo nó**

Ex: inserir 5

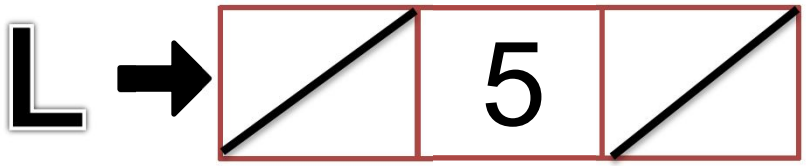


retorna 1

Insere Elemento

- Lista com elementos:

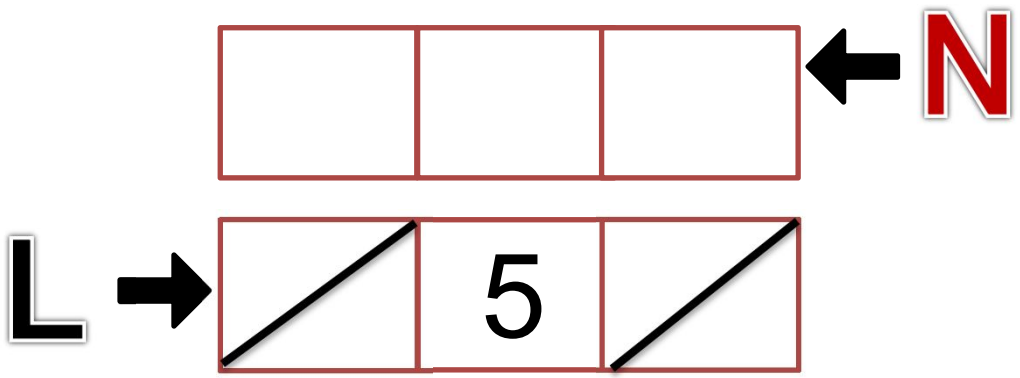
Ex: inserir 2



Insere Elemento

- Lista com elementos:
  - Aloca o novo nó

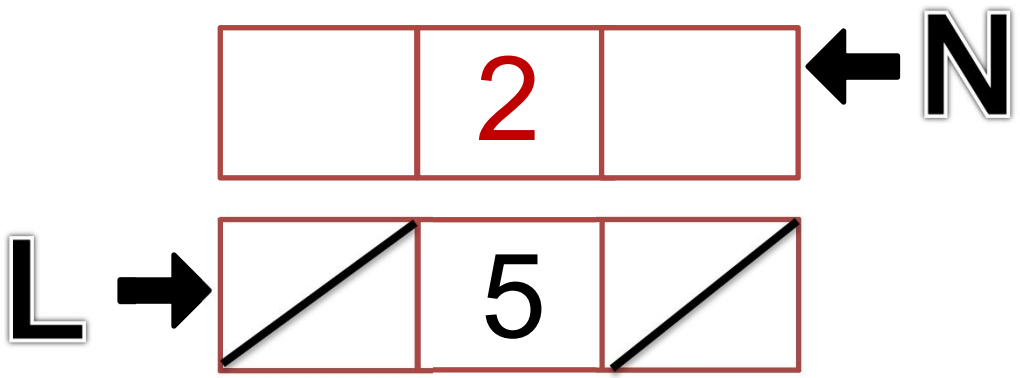
Ex: inserir 2



Insere Elemento

- Lista com elementos:
  - Aloca o novo nó
  - Preenche os campos do novo nó:
    - Campo ***info*** com o valor do elemento

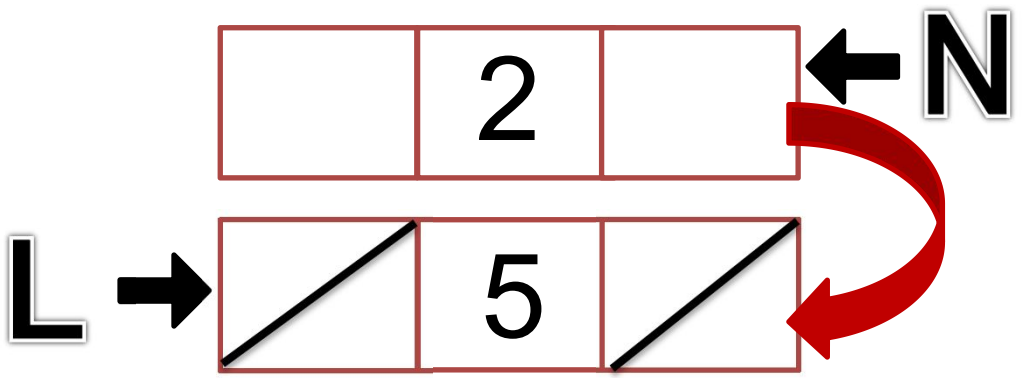
Ex: inserir 2



Insere Elemento

- Lista com elementos:
  - Aloca o novo nó
  - Preenche os campos do novo nó:
    - Campo ***info*** com o valor do elemento
    - Campo ***prox*** aponta para o 1º nó (***N->prox=L***)

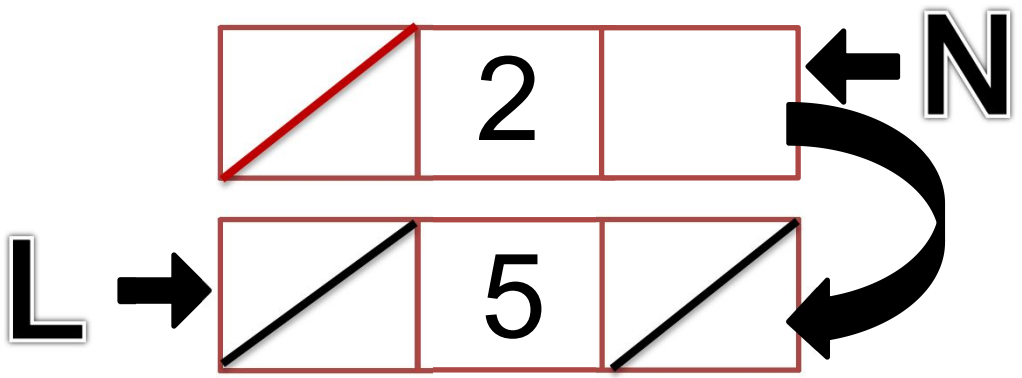
Ex: inserir 2



Insere Elemento

- Lista com elementos:
  - Aloca o novo nó
  - Preenche os campos do novo nó:
    - Campo ***info*** com o valor do elemento
    - Campo ***prox*** aponta para o 1º nó (***N->prox=L***)
    - Campo ***ant*** com ***NULL*** (***N->ant = L->ant***)

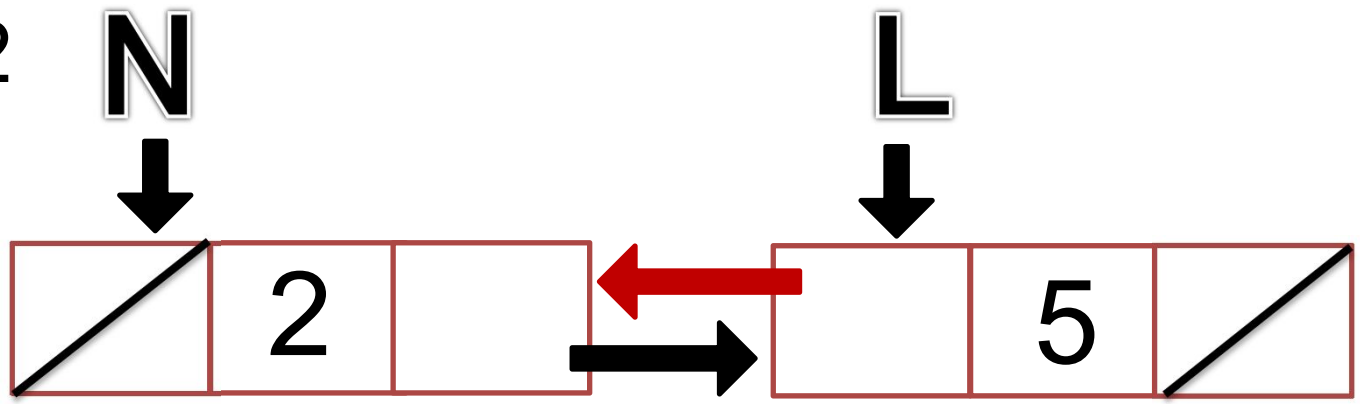
Ex: inserir 2



Insere Elemento

- Lista com elementos:
  - Faz o campo ***ant*** do 1º nó da lista apontar para o novo nó (***L->ant = N***)

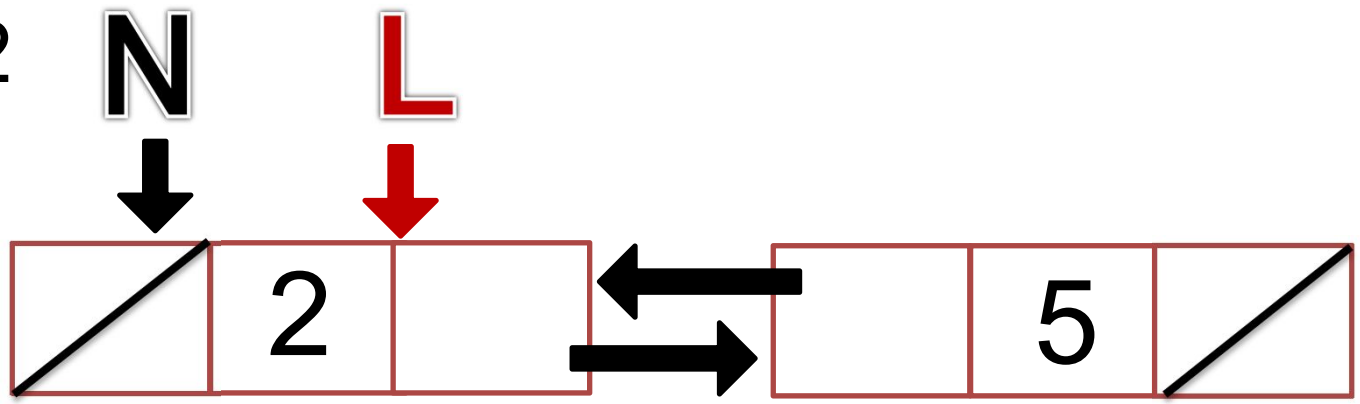
Ex: inserir 2



Insere Elemento

- Lista com elementos:
  - Faz o campo ***ant*** do 1º nó da lista apontar para o novo nó (***L->ant = N***)
  - Faz a Lista apontar para o novo nó (***L = N***)

Ex: inserir 2

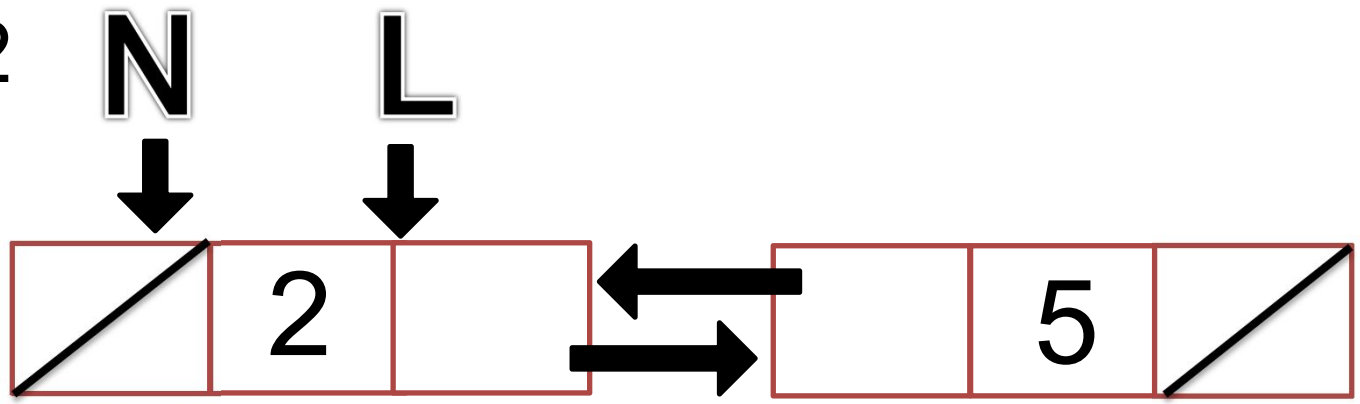


Insere Elemento

- Lista com elementos:
  - Faz o campo ***ant*** do 1º nó da lista apontar para o novo nó (***L->ant = N***)
  - Faz a Lista apontar para o novo nó (***L = N***)

Ex: inserir 2

retorna 1



Insere Elemento

- **Implementação em C:**

```
int insere_elemento (Lista *lst, int elem) {
    // Aloca um novo nó e preenche campo info
    Lista N = (Lista) malloc(sizeof(struct no));
    if (N == NULL) { return 0; } // Falha: nó não alocado
    N->info = elem; // Insere o conteúdo (valor do elem)
   N->ant = NULL; // Não tem antecessor do novo nó
   N->prox = *lst; // Sucessor do novo nó recebe mesmo end. da lista
    if (lista_vazia(*lst) == 0) // Se lista NÃO vazia
        (*lst)->ant = N; // Faz o antecessor do 1º nó ser o novo nó
    *lst = N; // Faz a lista apontar para o novo nó
    return 1;
}
```

Remove Elemento

- Existem **6 cenários** possíveis:
  - Lista vazia
  - Elemento não está na lista
  - Elemento está na lista:
    - Lista com um único nó
    - Elemento = 1º nó
    - Elemento = último nó
    - 1º nó < Elemento < último nó

Remove Elemento

- Lista vazia:

Ex: remover 5

Remove Elemento

- Lista vazia:
  - Não existe o elemento

Ex: remover 5

Remove Elemento

- Lista vazia:
  - Não existe o elemento
  - Retorna ZERO (**operação falha**)

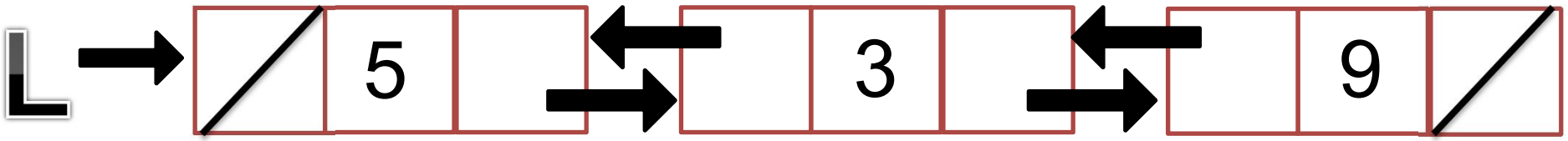
Ex: remover 5

retorna 0

Remove Elemento

- Elemento não está na lista:

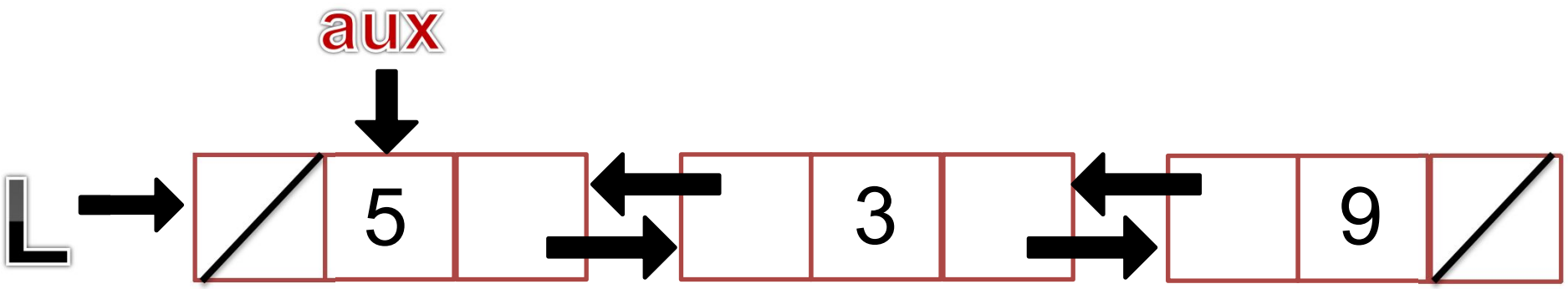
Ex: remover 7



Remove Elemento

- Elemento não está na lista:
  - Faz ponteiro **auxiliar** apontar para o 1º nó

Ex: remover 7



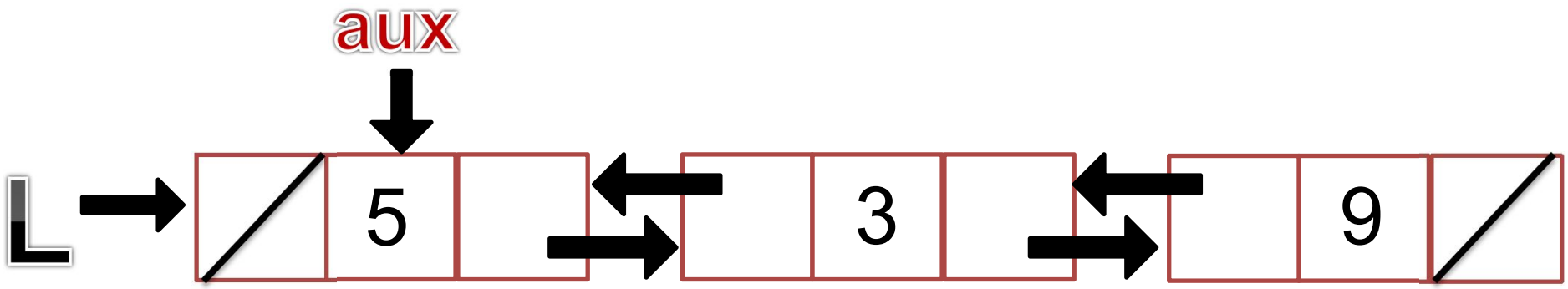
Remove Elemento

- Elemento não está na lista:
  - Faz ponteiro **auxiliar** apontar para o 1º nó
  - Percorre a lista **até o seu final**

5 ≠ 7

aux->prox ≠ NULL E aux->info ≠ elem?
Sim (avançar)

Ex: remover 7



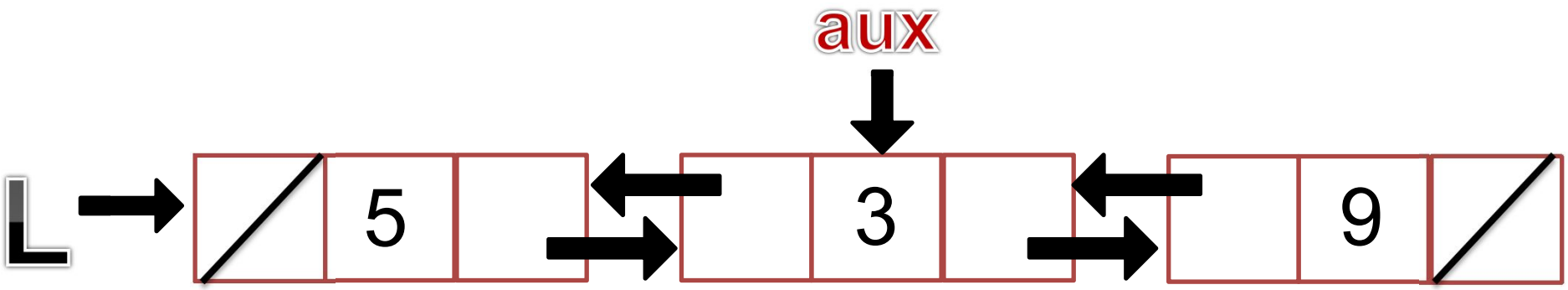
Remove Elemento

- Elemento não está na lista:
  - Faz ponteiro **auxiliar** apontar para o 1º nó
  - Percorre a lista **até o seu final**

3 ≠ 7

aux->prox ≠ NULL E aux->info ≠ elem?
Sim (avançar)

Ex: remover 7



Remove Elemento

- Elemento não está na lista:
  - Faz ponteiro **auxiliar** apontar para o 1º nó
  - Percorre a lista **até o seu final**

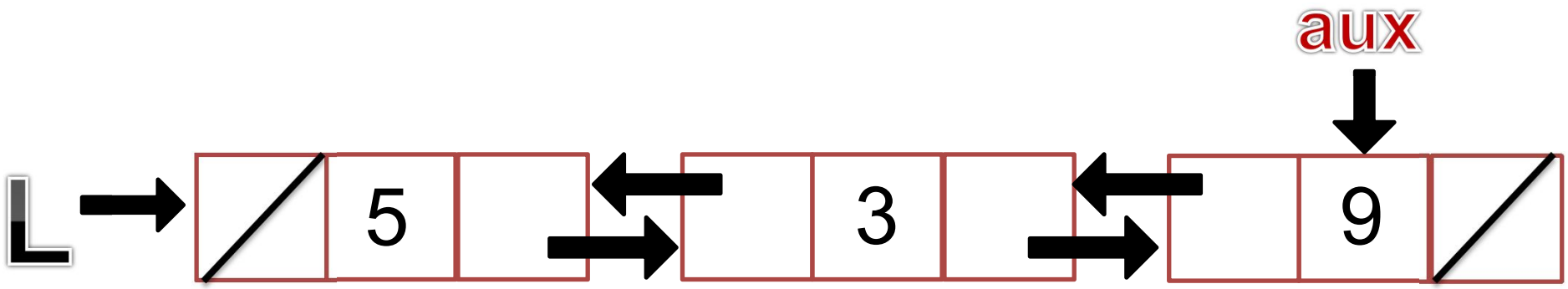
9 ≠ 7

=

aux->prox ≠ NULL E aux->info ≠ elem?

Não (parar)

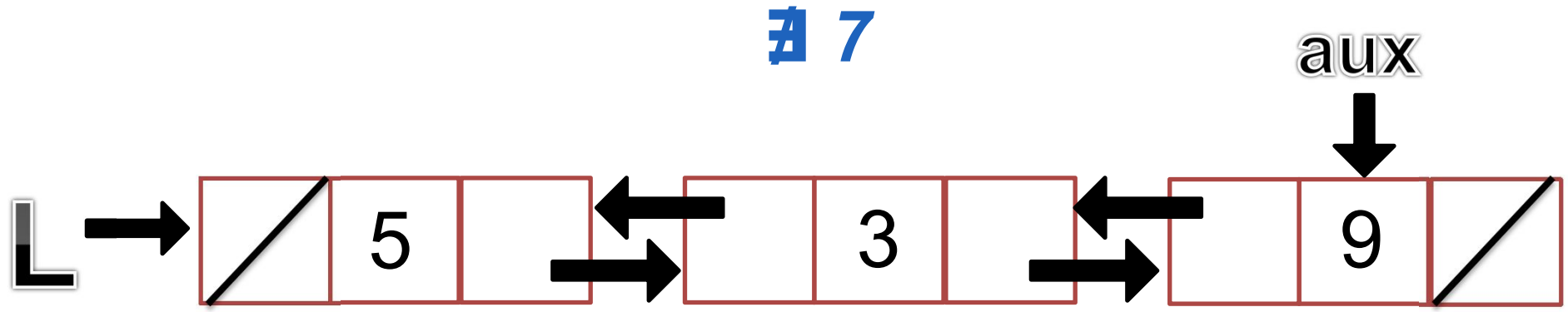
Ex: remover 7



Remove Elemento

- Elemento não está na lista:
  - Faz ponteiro **auxiliar** apontar para o 1º nó
  - Percorre a lista **até o seu final**
  - Se atingiu o final é porque **não existe o elemento**

Ex: remover 7



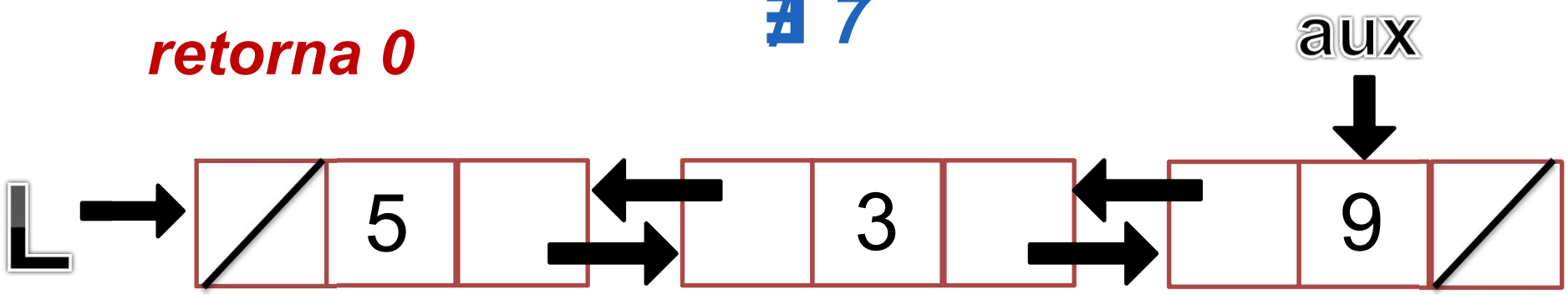
Remove Elemento

- Elemento não está na lista:
  - Faz ponteiro **auxiliar** apontar para o 1º nó
  - Percorre a lista **até o seu final**
  - Se atingiu o final é porque **não existe o elemento**
  - Retorna ZERO (**operação falha**)

Ex: remover 7

retorna 0

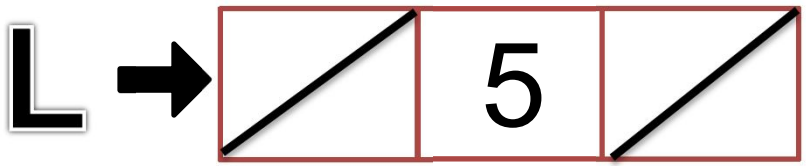
≠ 7



Remove Elemento

- Lista com um único nó:

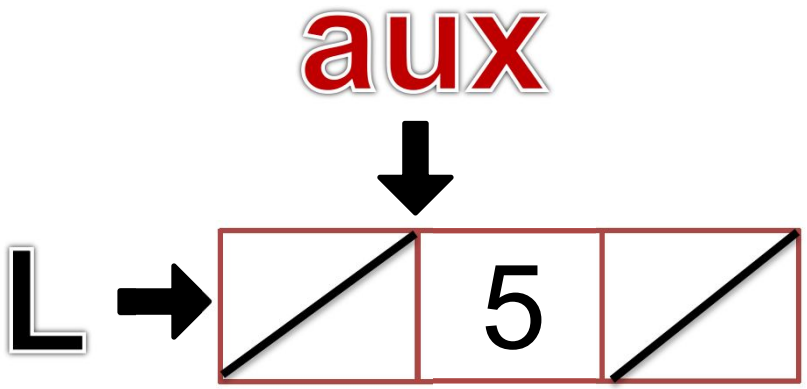
Ex: remover 5



Remove Elemento

- Lista com um único nó:
  - Faz ponteiro **auxiliar** apontar para o 1º nó

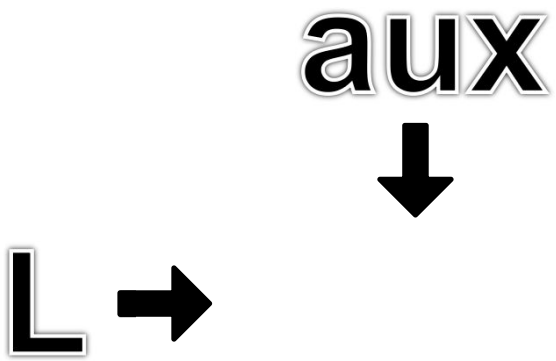
Ex: remover 5



Remove Elemento

- Lista com um único nó:
  - Faz ponteiro **auxiliar** apontar para o 1º nó
  - Se campo ***info*** do 1º nó = elemento
    - Libera memória alocada pelo nó (***free(aux)***)

Ex: remover 5



Remove Elemento

- Lista com um único nó:
  - Faz ponteiro **auxiliar** apontar para o 1º nó
  - Se campo ***info*** do 1º nó = elemento
    - Libera memória alocada pelo nó (***free(aux)***)
    - Lista retorna ao estado de vazia (***L = NULL***)

Ex: remover 5

Remove Elemento

- Lista com um único nó:
  - Faz ponteiro **auxiliar** apontar para o 1º nó
  - Se campo ***info*** do 1º nó = elemento
    - Libera memória alocada pelo nó (***free(aux)***)
    - Lista retorna ao estado de vazia (***L = NULL***)

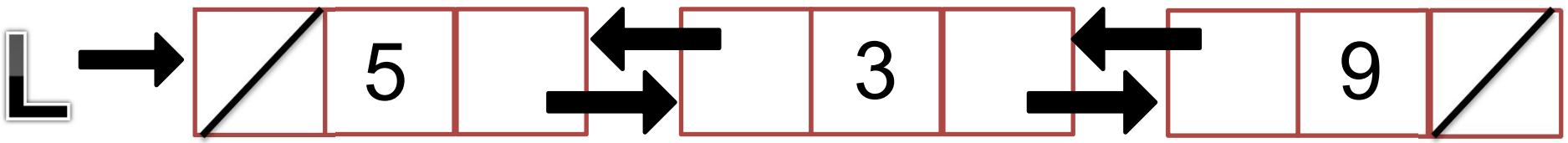
Ex: remover 5

retorna 1

Remove Elemento

- Elemento = 1º nó da lista:

Ex: remover 5



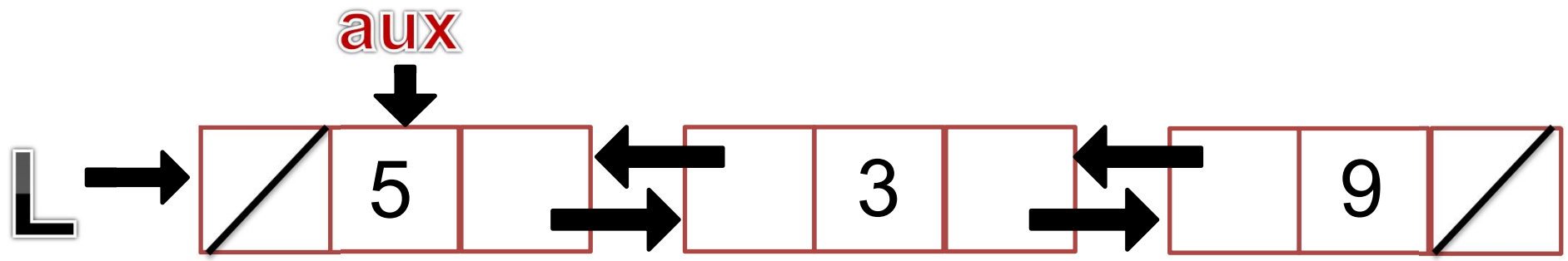
Remove Elemento

- Elemento = 1º nó da lista:
  - Faz ponteiro **auxiliar** apontar para o 1º nó

5 = 5

aux->prox ≠ NULL E aux->info ≠ elem?
Não (parar)

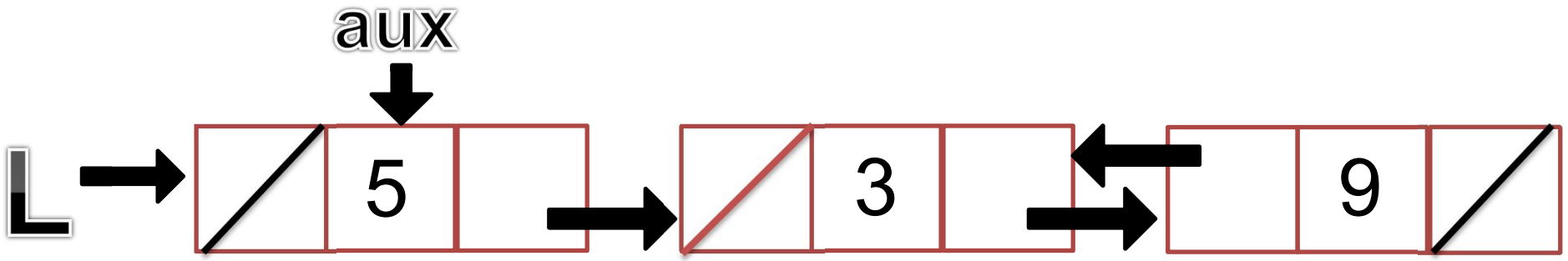
Ex: remover 5



Remove Elemento

- Elemento = 1º nó da lista:
  - Faz ponteiro **auxiliar** apontar para o 1º nó
  - Faz o antecessor do 2º nó igual a ***NULL*** (***aux->prox->ant = NULL***)

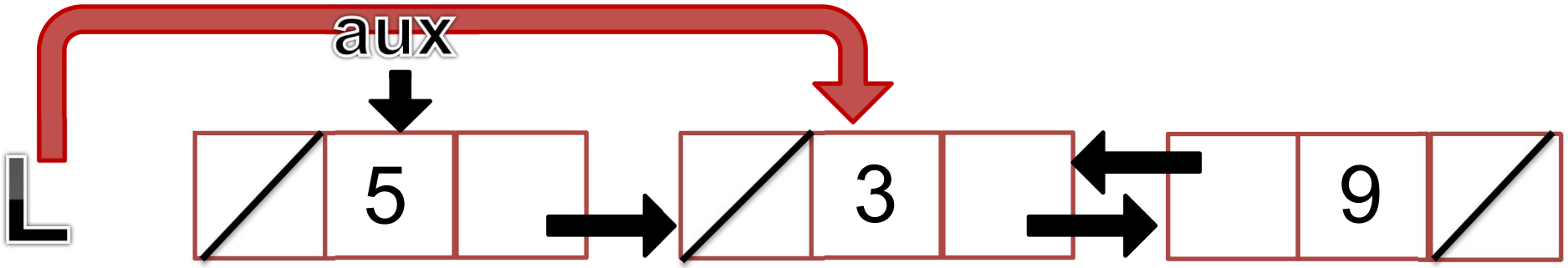
Ex: remover 5



Remove Elemento

- Elemento = 1º nó da lista:
  - Faz ponteiro **auxiliar** apontar para o 1º nó
  - Faz o antecessor do 2º nó igual a ***NULL*** (***aux->prox->ant = NULL***)
  - Faz a lista apontar para o 2º nó (***L = aux->prox***)

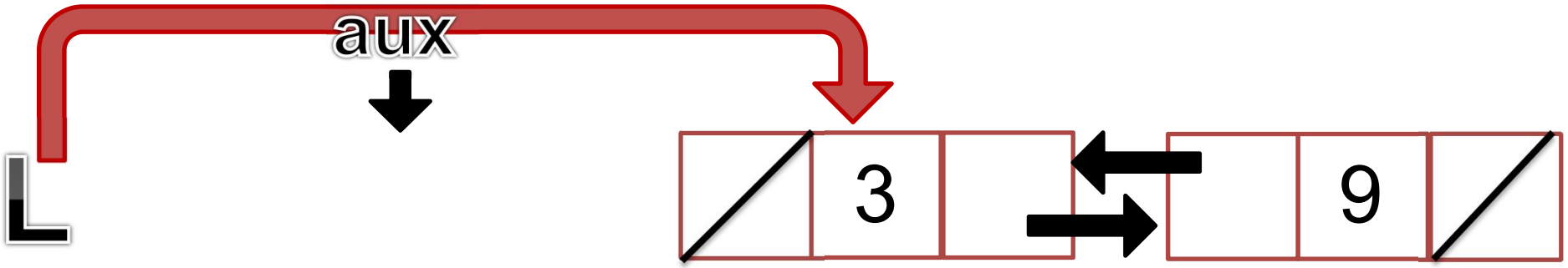
Ex: remover 5



Remove Elemento

- Elemento = 1º nó da lista:
  - Faz ponteiro **auxiliar** apontar para o 1º nó
  - Faz o antecessor do 2º nó igual a ***NULL*** (***aux->prox->ant = NULL***)
  - Faz a lista apontar para o 2º nó (***L = aux->prox***)
  - Libera a memória alocada pelo nó removido

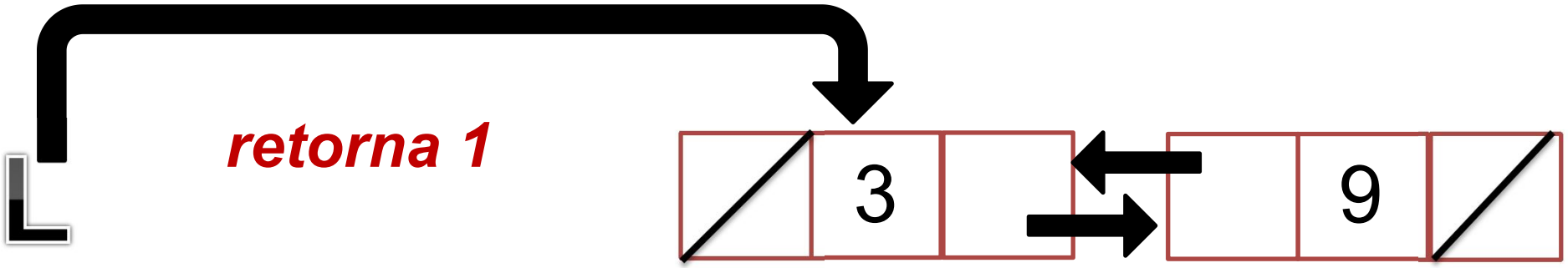
Ex: remover 5



Remove Elemento

- Elemento = 1º nó da lista:
  - Faz ponteiro **auxiliar** apontar para o 1º nó
  - Faz o antecessor do 2º nó igual a ***NULL*** (***aux->prox->ant = NULL***)
  - Faz a lista apontar para o 2º nó (***L = aux->prox***)
  - Libera a memória alocada pelo nó removido

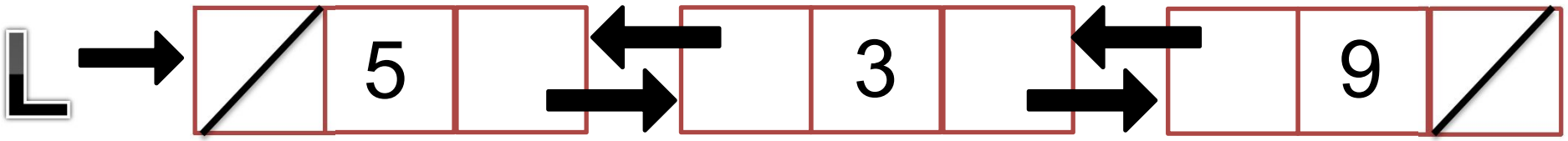
Ex: remover 5



Remove Elemento

- Elemento = último nó da lista:

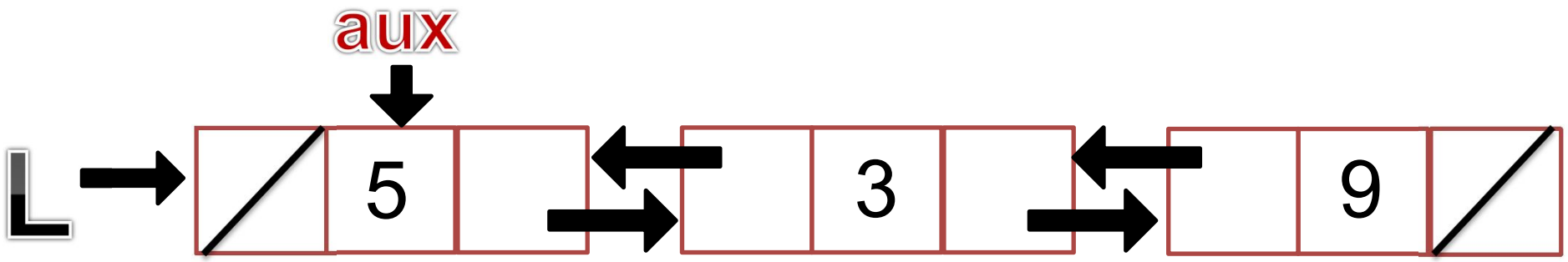
Ex: remover 9



Remove Elemento

- Elemento = último nó da lista:
  - Faz ponteiro **auxiliar** apontar para o 1º nó

Ex: remover 9

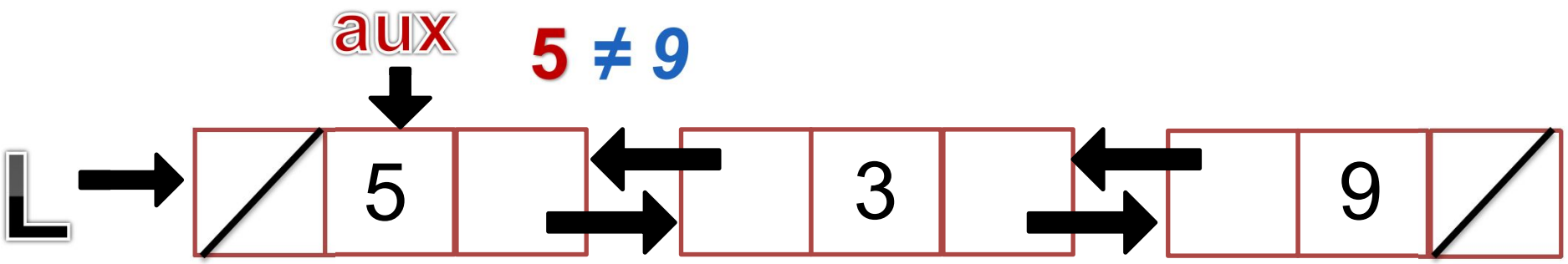


Remove Elemento

- Elemento = último nó da lista:
  - Faz ponteiro **auxiliar** apontar para o 1º nó
  - Percorre a lista **até encontrar o elemento** (***aux->info = elem***)

aux->prox ≠ NULL E aux->info ≠ elem?
Sim (avançar)

Ex: remover 9

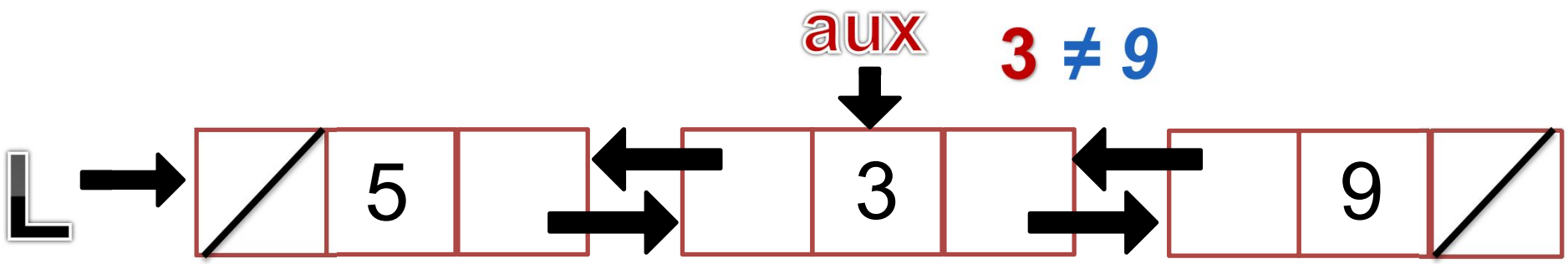


Remove Elemento

- Elemento = último nó da lista:
  - Faz ponteiro **auxiliar** apontar para o 1º nó
  - Percorre a lista **até encontrar o elemento** (***aux->info = elem***)

aux->prox ≠ NULL E aux->info ≠ elem?
Sim (avançar)

Ex: remover 9



Remove Elemento

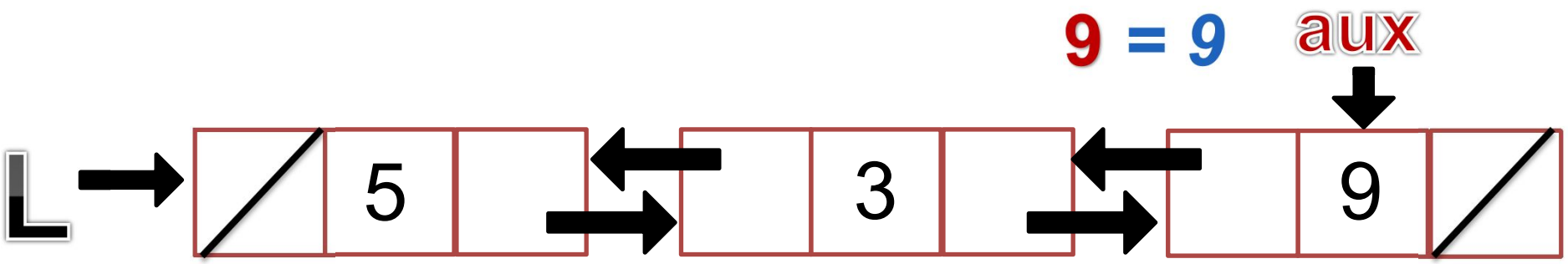
- Elemento = último nó da lista:
  - Faz ponteiro **auxiliar** apontar para o 1º nó
  - Percorre a lista **até encontrar o elemento** (***aux->info = elem***)

=

aux->prox ≠ NULL E aux->info ≠ elem?

Não (parar)

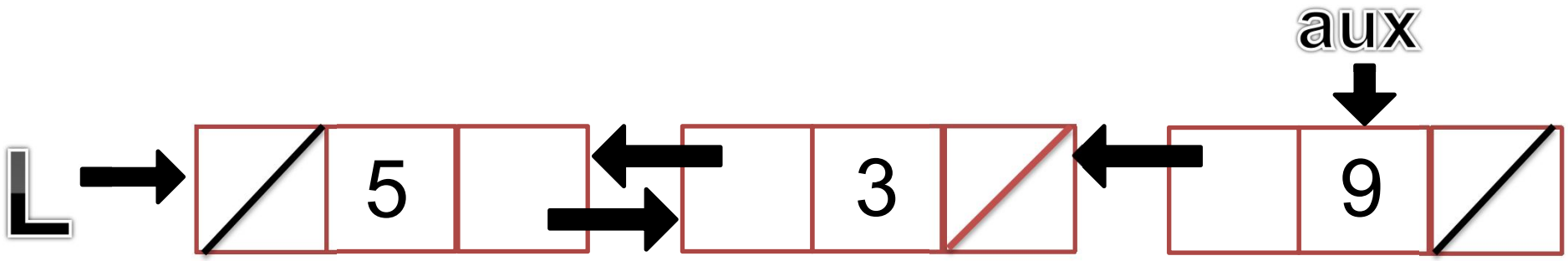
Ex: remover 9



Remove Elemento

- Elemento = último nó da lista:
  - Faz ponteiro **auxiliar** apontar para o 1º nó
  - Percorre a lista **até encontrar o elemento** (***aux->info = elem***)
  - Faz o antecessor do último nó apontar para ***NULL*** (***aux->ant->prox = NULL***)

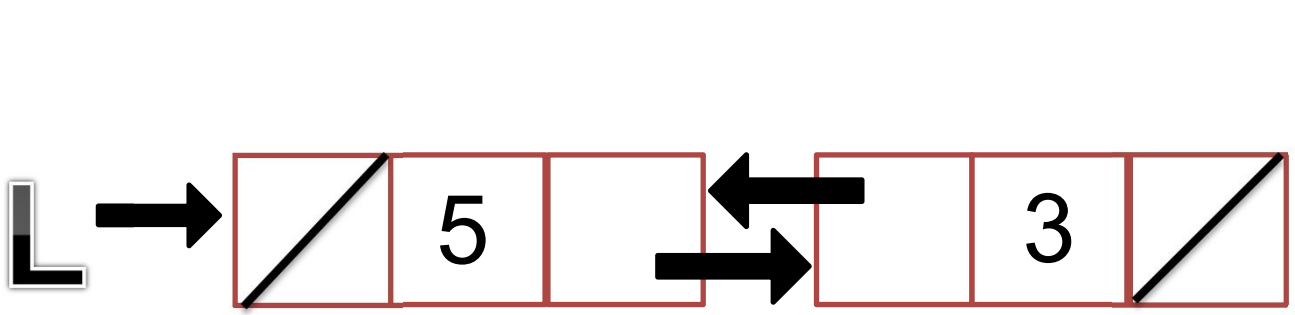
Ex: remover 9



Remove Elemento

- Elemento = último nó da lista:
  - Faz ponteiro **auxiliar** apontar para o 1º nó
  - Percorre a lista **até encontrar o elemento** (***aux->info = elem***)
  - Faz o antecessor do último nó apontar para ***NULL*** (***aux->ant->prox = NULL***)
  - Libera a memória alocada pelo nó removido

Ex: remover 9



Remove Elemento

- Elemento = último nó da lista:
  - Faz ponteiro **auxiliar** apontar para o 1º nó
  - Percorre a lista **até encontrar o elemento** (***aux->info = elem***)
  - Faz o antecessor do último nó apontar para ***NULL*** (***aux->ant->prox = NULL***)
  - Libera a memória alocada pelo nó removido

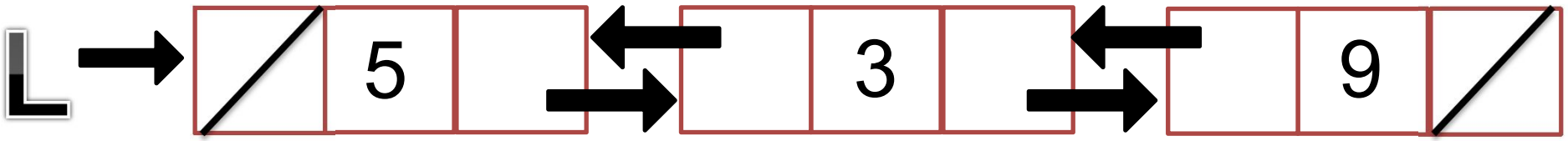
Ex: remover 9

retorna 1

Remove Elemento

- 1º nó < Elemento < último nó da lista:

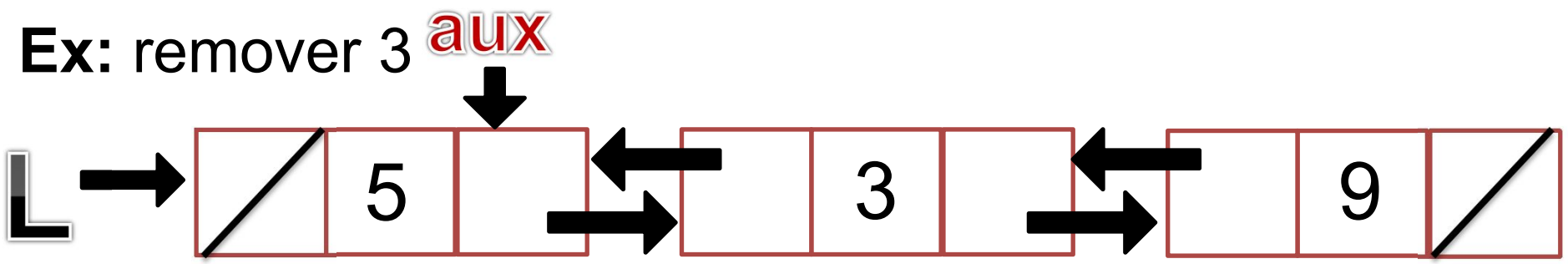
Ex: remover 3



Remove Elemento

- 1º nó < Elemento < último nó da lista:
  - Faz ponteiro **auxiliar** apontar para o 1º nó

Ex: remover 3

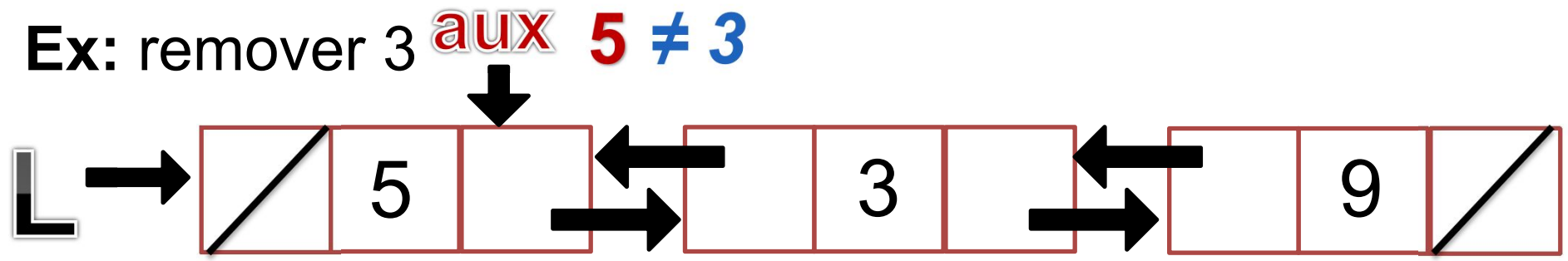


Remove Elemento

- 1º nó < Elemento < último nó da lista:
  - Faz ponteiro **auxiliar** apontar para o 1º nó
  - Percorre a lista **até encontrar o elemento** (***aux->info = elem***)

aux->prox ≠ NULL E aux->info ≠ elem?
Sim (avançar)

Ex: remover 3

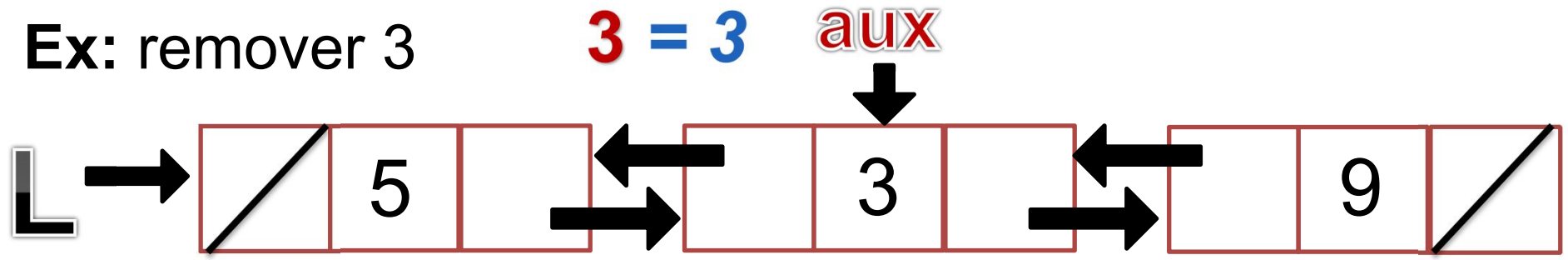


Remove Elemento

- 1º nó < Elemento < último nó da lista:
  - Faz ponteiro **auxiliar** apontar para o 1º nó
  - Percorre a lista **até encontrar o elemento** (***aux->info = elem***)

aux->prox ≠ NULL E aux->info ≠ elem?
Não (parar)

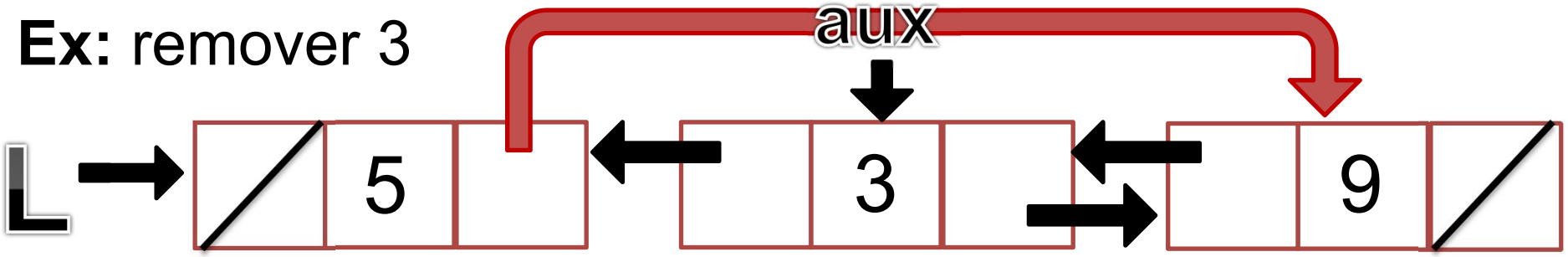
Ex: remover 3



Remove Elemento

- 1º nó < Elemento < último nó da lista:
  - Faz ponteiro **auxiliar** apontar para o 1º nó
  - Percorre a lista **até encontrar o elemento** (***aux->info = elem***)
  - Faz o **antecessor do nó** apontar para o **sucessor** (***aux->ant->prox = aux->prox***)

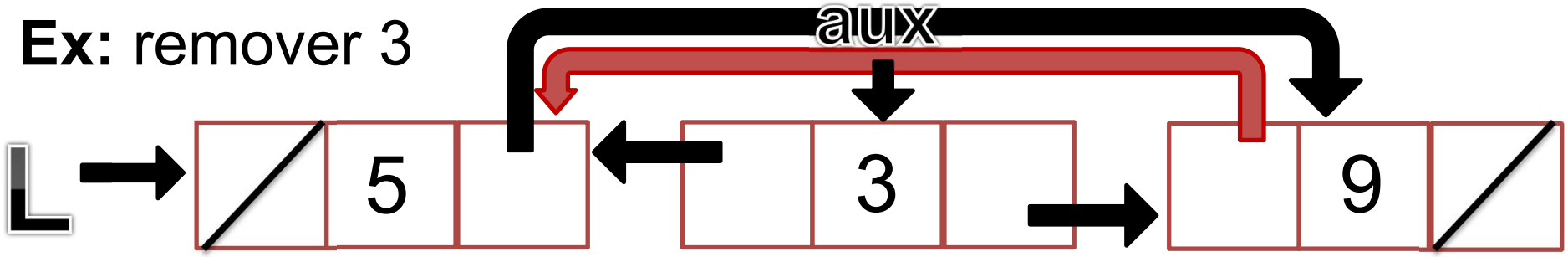
Ex: remover 3



Remove Elemento

- 1º nó < Elemento < último nó da lista:
  - Faz ponteiro **auxiliar** apontar para o 1º nó
  - Percorre a lista **até encontrar o elemento** (***aux->info = elem***)
  - Faz o **antecessor do nó** apontar para o **sucessor** (***aux->ant->prox = aux->prox***)
  - Faz o **sucessor do nó** apontar para o **antecessor** (***aux->prox->ant = aux->ant***)

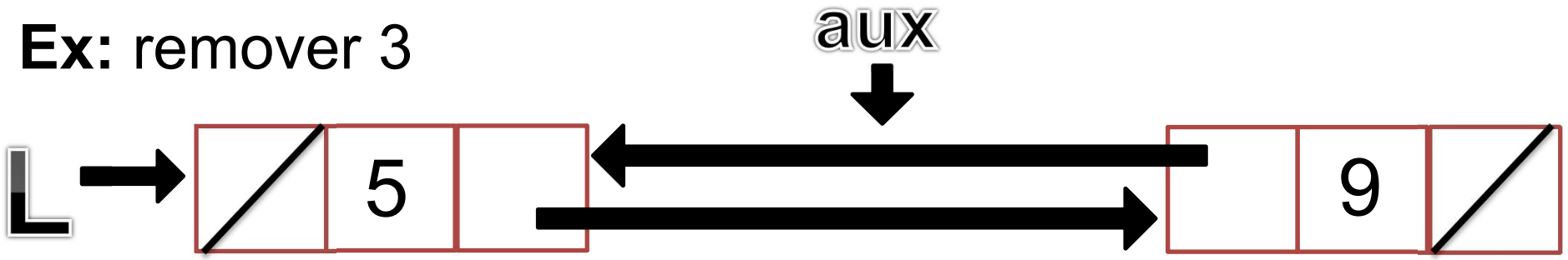
Ex: remover 3



Remove Elemento

- 1º nó < Elemento < último nó da lista:
  - Faz ponteiro **auxiliar** apontar para o 1º nó
  - Percorre a lista **até encontrar o elemento** (***aux->info = elem***)
  - Faz o **antecessor do nó** apontar para o **sucessor** (***aux->ant->prox = aux->prox***)
  - Faz o **sucessor do nó** apontar para o **antecessor** (***aux->prox->ant = aux->ant***)
  - Libera a memória alocada pelo nó

Ex: remover 3



Remove Elemento

- 1º nó < Elemento < último nó da lista:
  - Faz ponteiro **auxiliar** apontar para o 1º nó
  - Percorre a lista **até encontrar o elemento** (***aux->info = elem***)
  - Faz o **antecessor do nó** apontar para o **sucessor** (***aux->ant->prox = aux->prox***)
  - Faz o **sucessor do nó** apontar para o **antecessor** (***aux->prox->ant = aux->ant***)
  - Libera a memória alocada pelo nó

Ex: remover 3

retorna 1

Remove Elemento

- **Implementação em C:**

```
int remove_elemento (Lista *lst, int elem) {
    if (lista_vazia(*lst) // Trata lista vazia
        return 0;
    Lista aux = *lst; // Faz aux apontar para 1º nó
    while (aux->prox != NULL && aux->info != elem)
        aux = aux->prox;
    if (aux->info != elem) return 0; // Elemento não está na lista
    if (aux->prox != NULL) (aux)->prox->ant = aux->ant;
    if (aux->ant != NULL) (aux)->ant->prox = aux->prox;
    if (aux == *lst) *lst = aux->prox;
    free(aux);
    return 1;
}
```

Encadeamento Duplo

- **TAD lista ordenada**:
  - **Insere ordenado**
    - Elemento deve ser colocado em uma posição específica para **manter ordenação**
    - Envolve percorrimento da lista

Encadeamento Duplo

- **TAD lista ordenada**:
  - **Insere ordenado**
    - Elemento deve ser colocado em uma posição específica para **manter ordenação**
    - Envolve percorrimento da lista
  - **Remove ordenado**
    - Encontrar o elemento envolve percorrimento
    - Inexistência do elemento é determinada por final de lista ou encontrar elemento maior

Encadeamento Duplo

- **TAD lista ordenada**:
  - **Insere ordenado**
    - Elemento deve ser colocado em uma posição específica para **manter ordenação**
    - Envolve percorrimento da lista
  - **Remove ordenado**
    - Encontrar o elemento envolve percorrimento
    - Inexistência do elemento é determinada por final de lista ou encontrar elemento maior

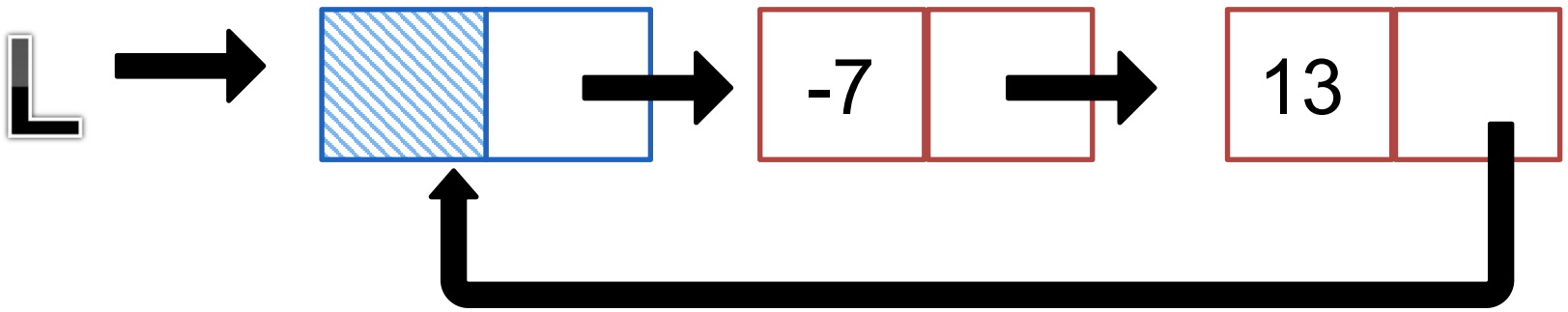
- As operações ***insere_ord*** e ***remove_ord*** ficam como exercício

Combinação das Técnicas de Encadeamento

- Pode-se combinar as várias técnicas a fim de obter **listas encadeadas ainda mais complexas**

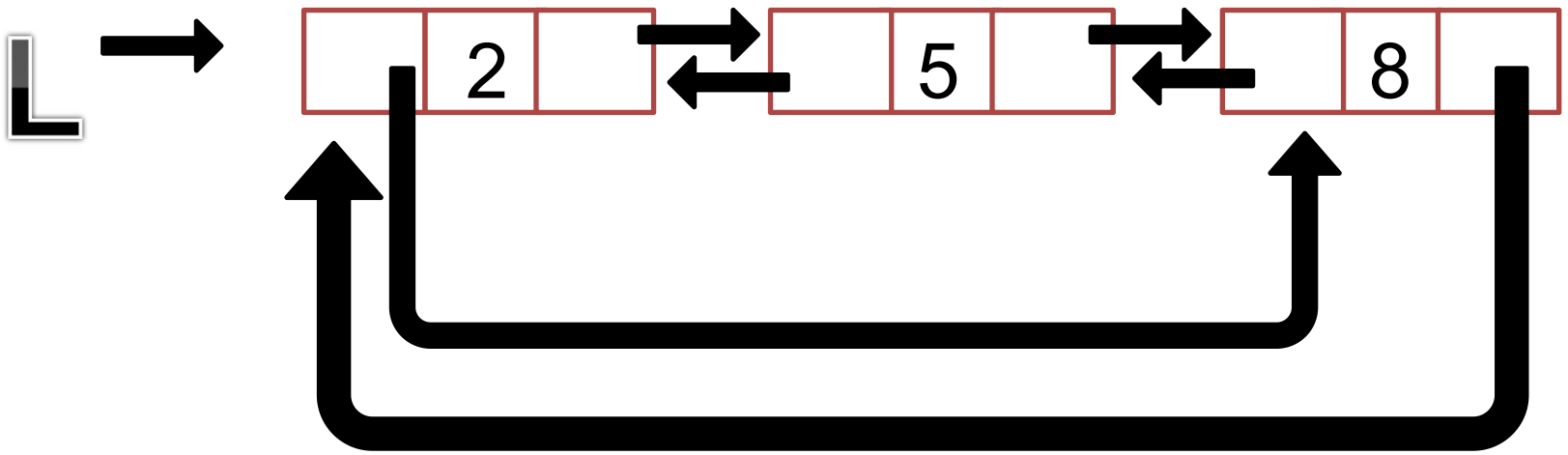
Exemplos

- **Lista circular com nó cabeçalho:**



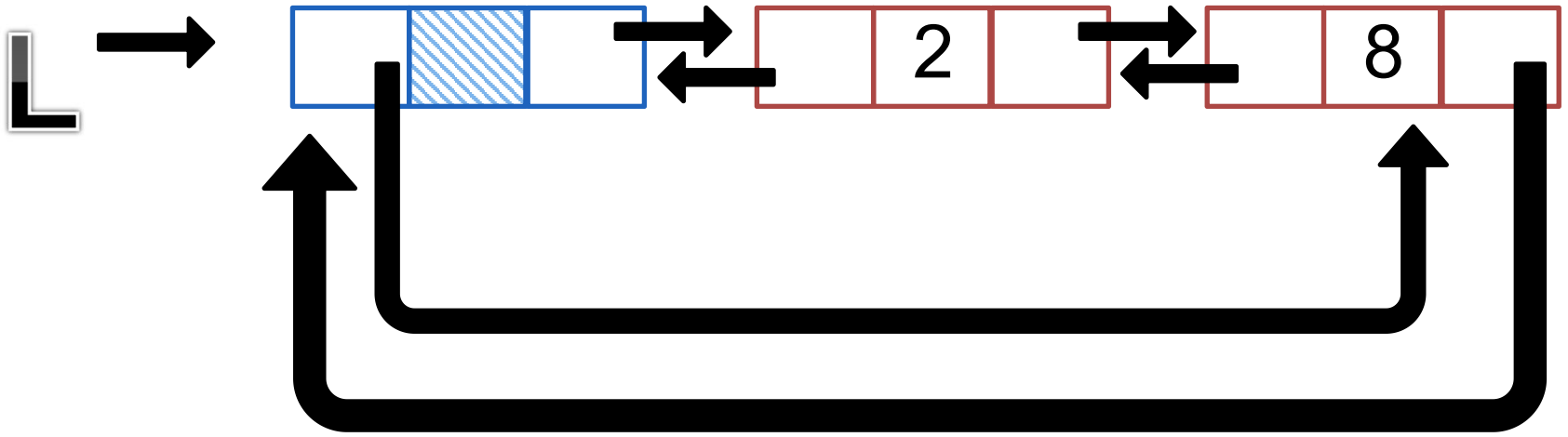
Exemplos

- **Lista circular duplamente encadeada:**



Exemplos

- **Lista circular duplamente encadeada com nó cabeçalho:**



Exercícios

1. *Implementar, utilizando a implementação **dinâmica com encadeamento duplo**, o TAD lista linear não ordenada de números inteiros. Essa implementação deve contemplar as operações básicas: criar_lista, lista_vazia, insere_elemento, remove_elemento e obtem_valor_elem. Além disso, desenvolva um programa aplicativo que permita ao usuário inicializar uma lista, inserir e remover elementos e imprimir a lista.*

   Teste este programa com a seguinte seqüencia de operações:
   - *Inicialize a lista*
   - *Imprima a lista*
   - *Insira os elementos {4,8,-1,19,2,7,8,5,9,22,45};*
   - *Imprima a lista*
   - *Remova o elemento 8*
   - *Imprima a lista*
   - *Inicialize a lista*
   - *Imprima a lista*

Referências

- *Backes, André, Linguagem C Descomplicada, portal de vídeo-aulas, https://programacaodescomplicada.wordpress.com/, acessado em 09/03/2016.*

- *Celes, W., Cerqueira, R. e Rangel, J. L. Introdução a estruturas de dados. Ed. Campus Elsevier, 2004.*