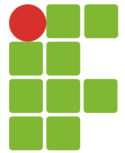
Listas

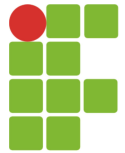
Estruturas de Dados e Algoritmos

Prof. Daniel Saad Nogueira Nunes

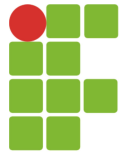
IFB – Instituto Federal de Brasília,
Campus Taguatinga



Sumário



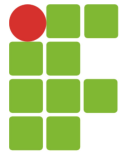
Sumário



Tipo Abstrato de Dados

TAD

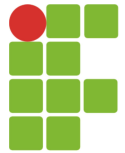
- Um tipo abstrato de dado (TAD) é um modelo matemático para uma classe de estruturas de dados que possuem uma semântica similar.
- Um TAD define as operações essenciais sobre uma estrutura de dados.



Listas

- Lista é um TAD definido como uma sequência de valores em que um determinado valor pode ocorrer múltiplas vezes.
- A lista possui uma cabeça (primeiro elemento da sequência) e uma cauda (último elemento da sequência).
- É interessante que listas possuam operações eficientes na cabeça e na cauda.

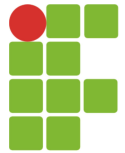
Listas



Listas

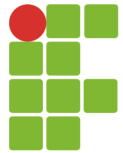
Operações sobre Listas

- Verificar se a lista está vazia;
- Inserção de qualquer posição da lista;
- Inserção na cabeça;
- Inserção na cauda;
- Remoção de qualquer posição da lista;
- Remoção da cabeça da lista;
- Remoção da cauda da lista;
- Acesso à cabeça da lista;
- Acesso à cauda da lista;
- Acesso à qualquer posição da lista;



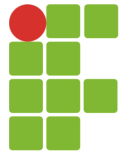
Listas

- Listas podem ser implementadas por vetores ou estruturas dinâmicas auto-referenciadas.
- Nosso foco será em estruturas auto-referenciadas.



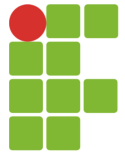
Listas Encadeadas

- Uma estrutura auto-referenciado é aquela que contém uma referencia para um elemento do mesmo tipo.
- Em `C`, isto é alcançado através de **ponteiros**.
- Listas Auto-Referenciadas, Listas Encadeadas ou Listas Ligadas!



Listas Encadeadas

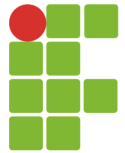
- Em comparação com a implementação em vetores, listas encadeadas possuem vantagens e desvantagens.



Listas Encadeadas

Vantagens

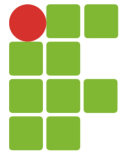
- Estrutura dinâmica: pode aumentar facilmente.
- Inserção em qualquer posição da lista não ocasiona um deslocamento dos elementos posteriores.
- Permite utilizar regiões não contíguas de memória.
- Gerência de simples.



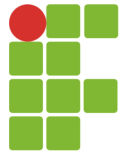
Listas Encadeadas

Desvantagens

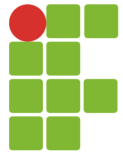
- Espaço extra para armazenar ponteiros (implícitos em vetores).
- Não possui acesso aleatório em tempo constante.



Sumário

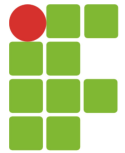


Sumário



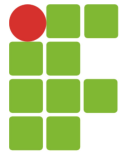
Listas Encadeadas: Definição

```
7  /**
8    @brief list_node_t Definição de nó de lista ligada.
9    O nó de lista ligada contém um ponteiro para um dado genérico (data)
10   e um ponteiro para o próximo nó da lista.
11 **/
12 typedef struct list_node_t {
13     int data;                  /*Dado da lista*/
14     struct list_node_t *next; /*ponteiro para o próximo elemento*/
15 } list_node_t;
```

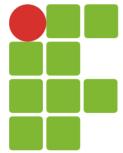


Listas Encadeadas: Definição

```
17  /**
18    @brief list_t Definidção do tipo lista. Contém ponteiros para a cabeça e cauda
19    da lista e o tamanho da lista.
20  **/
21  typedef struct list_t {
22      list_node_t *head; /*Cabeça da Lista*/
23      list_node_t *tail; /*Cauda da Lista*/
24      size_t size;       /*tamanho da lista*/
25  } list_t;
```

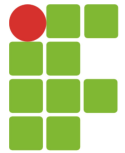


Sumário

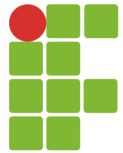


Listas Encadeadas: Inicialização

```
38 /** Inicialização dos membros de uma lista **/
39 void list_initialize(list_t **l) {
40     /** Aloca espaço para a estrutura lista **/
41     (*l) = mallocx(sizeof(list_t));
42     /** Cabeça aponta para NULL**/
43     (*l)->head = NULL;
44     /** Cauda aponta para NULL**/
45     (*l)->tail = NULL;
46     /** Tamanho de uma lista recém inicializada é 0 **/
47     (*l)->size = 0;
48 }
```



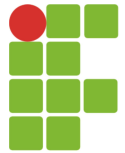
Sumário



Listas Encadeadas: Funções Auxiliares

Retorna o tamanho da lista.

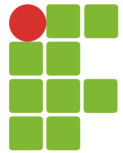
```
264 size_t list_size(list_t *l) {
```



Listas Encadeadas: Funções Auxiliares

Retorna verdadeiro se e somente se a lista está vazia.

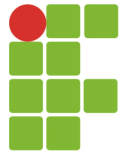
```
267
```



Listas Encadeadas: Funções Auxiliares

Cria um novo nó e o inicializa com um valor.

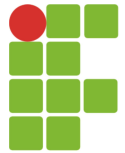
```
21 static list_node_t *list_new_node(int data) {
22     /** aloca espaço para novo nó **/
23     list_node_t *new_node = mallocx(sizeof(list_node_t));
24     /** Constrói o novo dado através da função construtora **/
25     new_node->data = data;
26     /** Atribui o ponteiro para o próximo como NULL **/
27     new_node->next = NULL;
28     /** Retorna o nó alocado **/
29     return new_node;
30 }
```



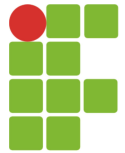
Listas Encadeadas: Funções Auxiliares

Remove um nó da memória.

```
32 /** Deleta o nó de uma lista **/
33 static void list_delete_node(list_node_t *n) {
34     /** Libera o nó **/
35     free(n);
36 }
```



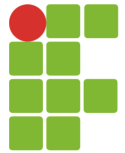
Sumário



Listas Encadeadas: Inserção

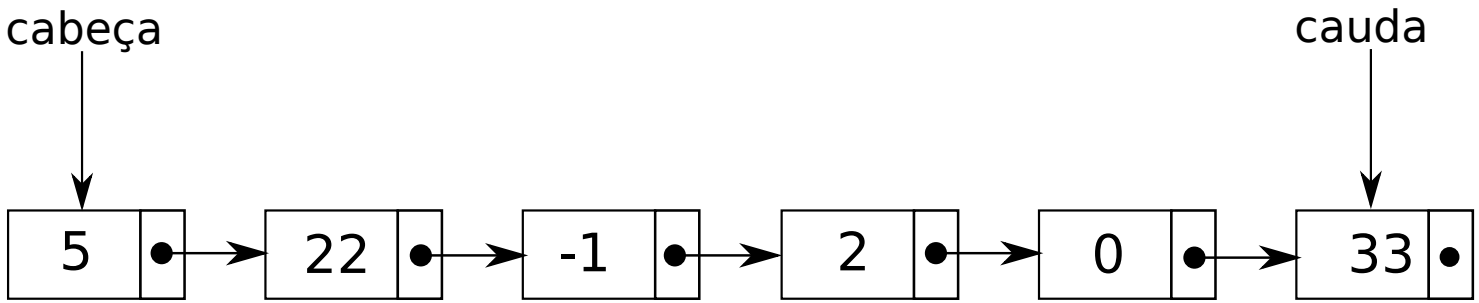
Inserção

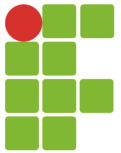
- Inserções na cabeça e na cauda da lista, podem ser efetuadas em $\Theta(1)$.
- Inserções em posições aleatórias, requerem acesso sequencial na lista, e portanto tempo $\Theta(n)$.



Listas Encadeadas: Inserção na Cabeça

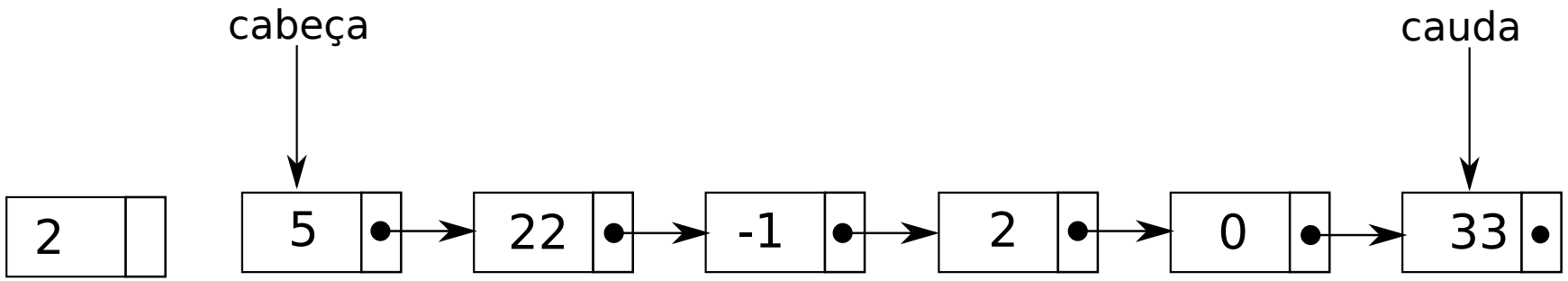
Para inserir na cabeça da lista, criamos um novo nó que aponta para a cabeça atual e depois movemos o ponteiro da cabeça para o novo nó. Se a lista estava vazia, a cauda também deve apontar para o nó recém inserido.

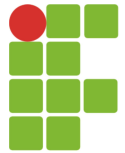




Listas Encadeadas: Inserção na Cabeça

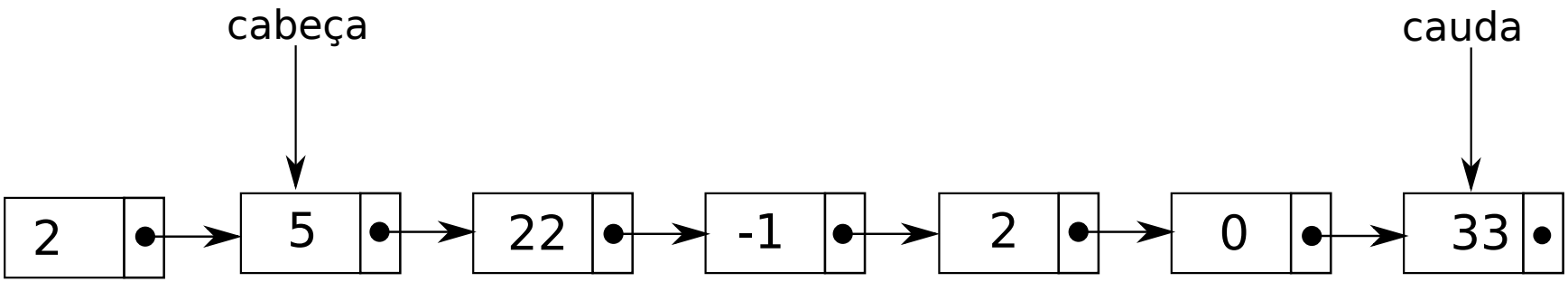
Para inserir na cabeça da lista, criamos um novo nó que aponta para a cabeça atual e depois movemos o ponteiro da cabeça para o novo nó. Se a lista estava vazia, a cauda também deve apontar para o nó recém inserido.

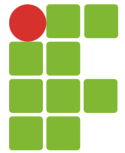




Listas Encadeadas: Inserção na Cabeça

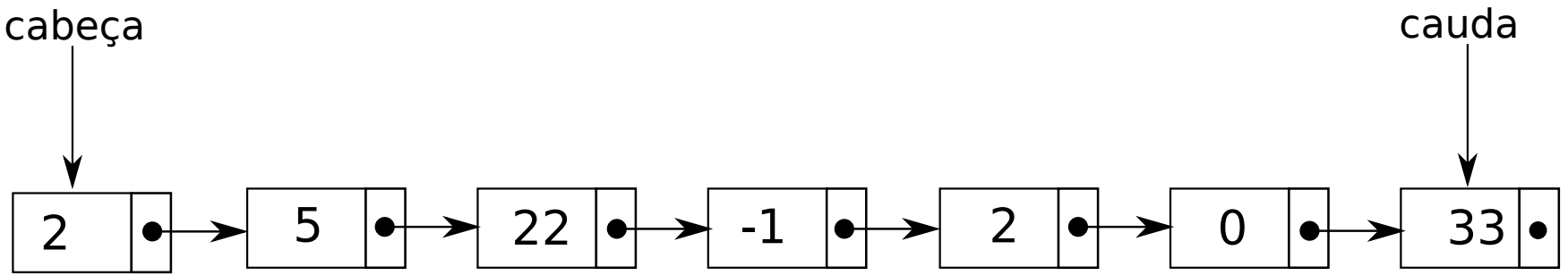
Para inserir na cabeça da lista, criamos um novo nó que aponta para a cabeça atual e depois movemos o ponteiro da cabeça para o novo nó. Se a lista estava vazia, a cauda também deve apontar para o nó recém inserido.

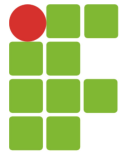




Listas Encadeadas: Inserção na Cabeça

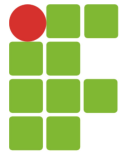
Para inserir na cabeça da lista, criamos um novo nó que aponta para a cabeça atual e depois movemos o ponteiro da cabeça para o novo nó. Se a lista estava vazia, a cauda também deve apontar para o nó recém inserido.





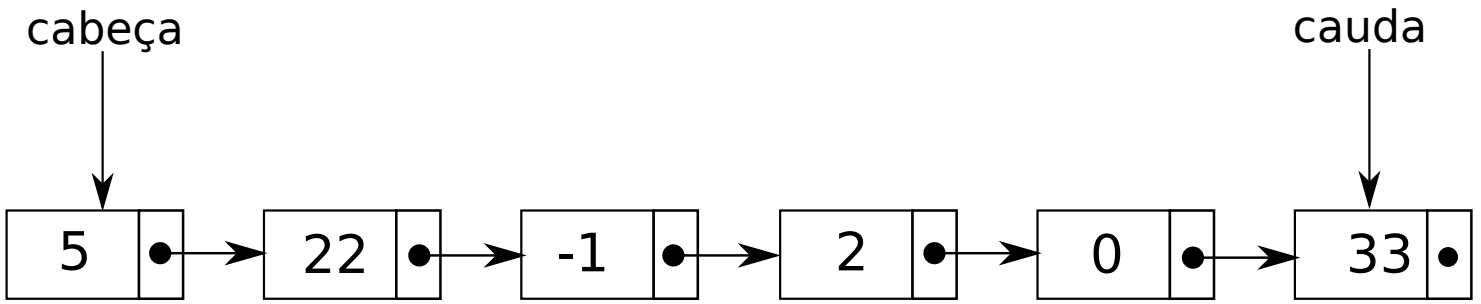
Listas Encadeadas: Inserção na Cabeça

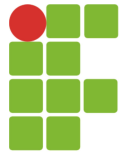
```
98  /** Insere um elemento na cabeça da lista **/
99  void list_prepend(list_t *l, int data) {
100     /** Cria um novo nó ao invocar list_new_node **/
101     list_node_t *new_node = list_new_node(data);
102     /** Novo nó estabelece uma ligação para a cabeça antiga **/
103     new_node->next = l->head;
104     /** Cabeça antiga aponta agora para o nó recém criado **/
105     l->head = new_node;
106     /** Se a lista estava vazia, a cauda também deve apontar para o nó recém
107      * criado **/
108     if (list_empty(l)) {
109         l->tail = new_node;
110     }
111     /** O tamanho da lista é incrementado **/
112     l->size++;
113 }
```



Listas Encadeadas: Inserção na Cauda

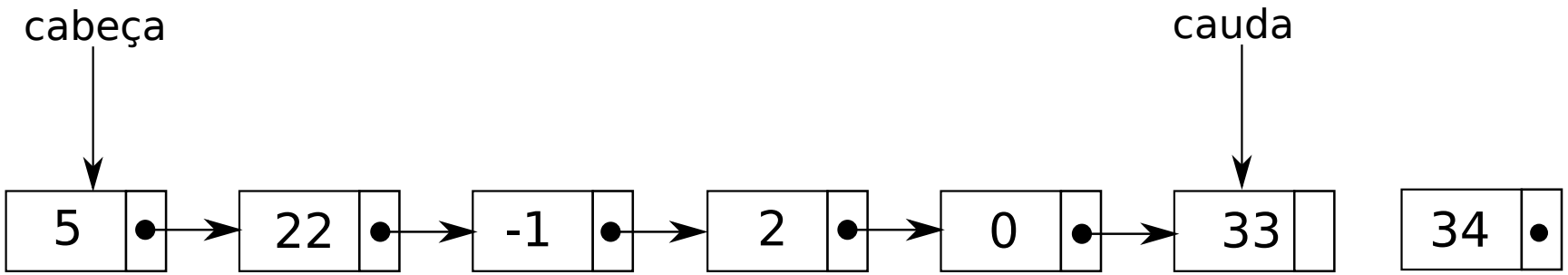
Para inserir um nó na cauda, basta criar um novo nó e fazer com que a cauda aponte para ele. Após isso, a cauda passa a apontar para o nó criado. Caso a lista estivesse vazia, a cabeça também deve apontar para o nó criado

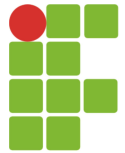




Listas Encadeadas: Inserção na Cauda

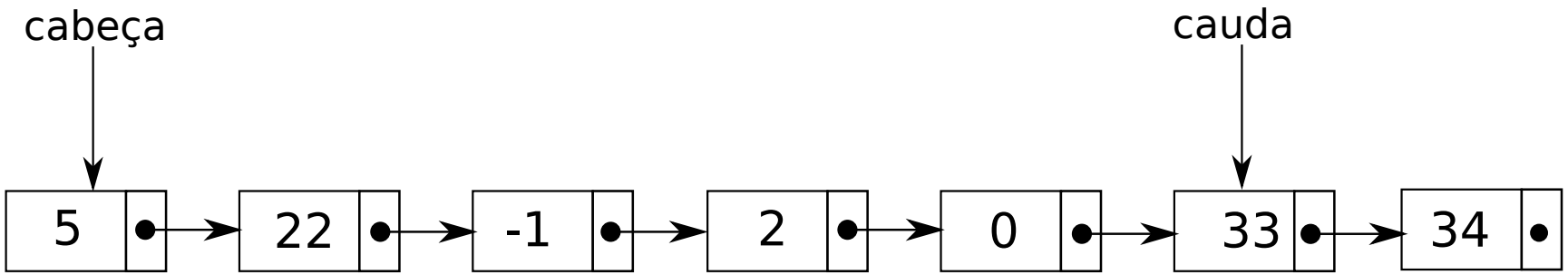
Para inserir um nó na cauda, basta criar um novo nó e fazer com que a cauda aponte para ele. Após isso, a cauda passa a apontar para o nó criado. Caso a lista estivesse vazia, a cabeça também deve apontar para o nó criado

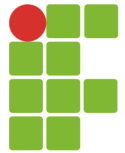




Listas Encadeadas: Inserção na Cauda

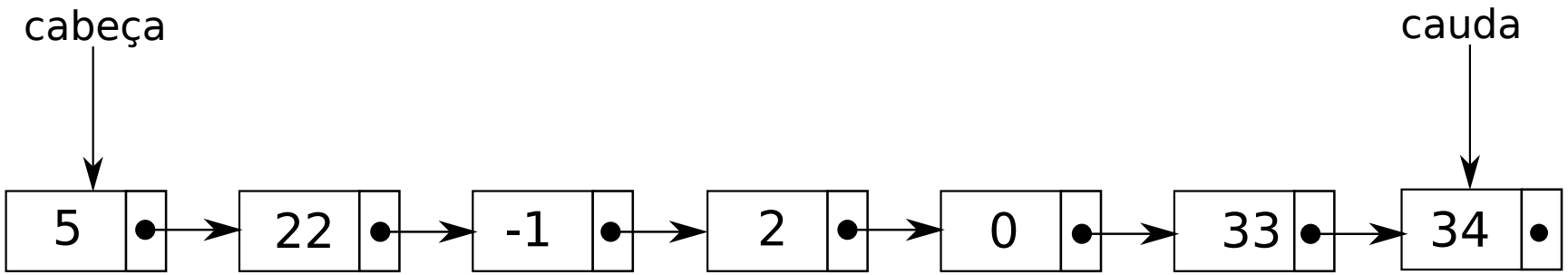
Para inserir um nó na cauda, basta criar um novo nó e fazer com que a cauda aponte para ele. Após isso, a cauda passa a apontar para o nó criado. Caso a lista estivesse vazia, a cabeça também deve apontar para o nó criado

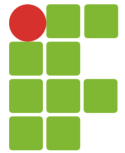




Listas Encadeadas: Inserção na Cauda

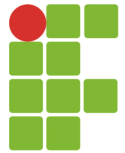
Para inserir um nó na cauda, basta criar um novo nó e fazer com que a cauda aponte para ele. Após isso, a cauda passa a apontar para o nó criado. Caso a lista estivesse vazia, a cabeça também deve apontar para o nó criado





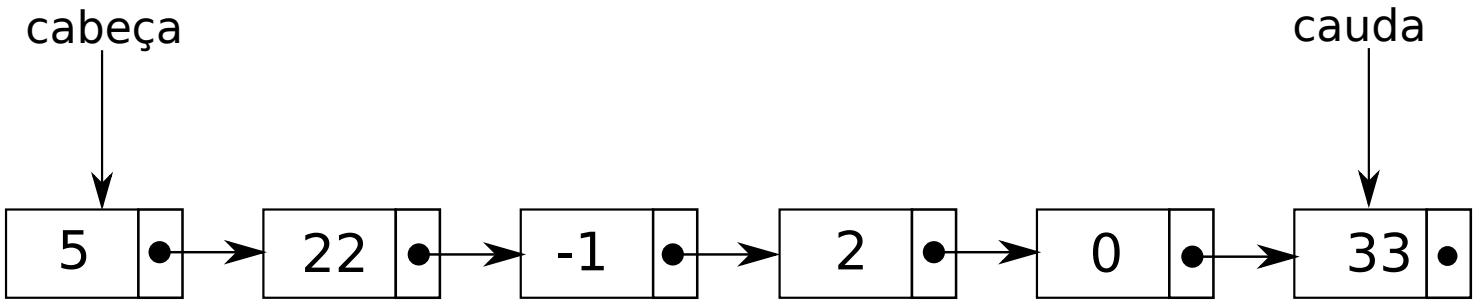
Listas Encadeadas: Inserção na Cauda

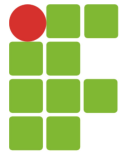
```
115 /** Insere um elemento na cauda da lista **/
116 void list_append(list_t *l, int data) {
117     /** Cria o novo nó ao chamar list_new_node **/
118     list_node_t *new_node = list_new_node(data);
119     /** Se a lista está vazia, a cabeça deve apontar para o nó recém criado **/
120     if (list_empty(l)) {
121         l->head = new_node;
122     }
123     /** Caso contrário, a lista possui uma cauda e ela deve estabelecer
124      * uma ligação o elemento recém criado **/
125     else {
126         l->tail->next = new_node;
127     }
128     /** A cauda é atualizada para apontar para o elemento recém criado **/
129     l->tail = new_node;
130     /** O tamanho da lista é incrementado **/
131     l->size++;
132 }
```



Listas Encadeadas: Inserção

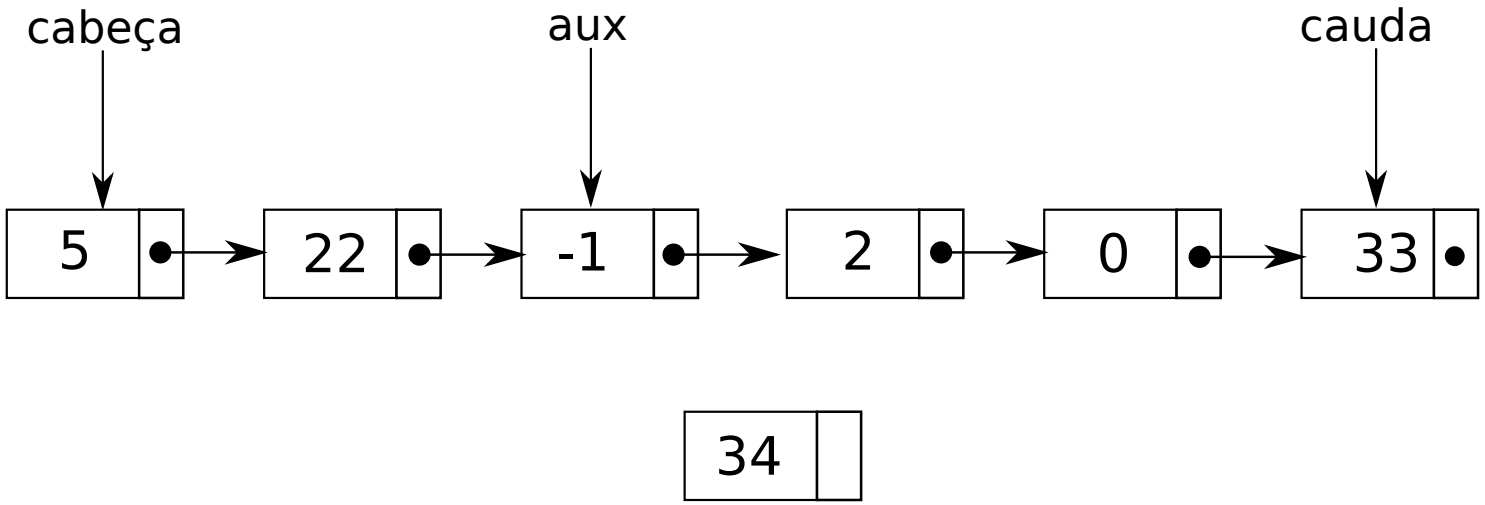
Para inserir em uma posição arbitrária, precisamos percorrer a list até o elemento que antecede a posição de inserção. O novo nó passa a apontar para o nó que sucede este elemento e o elemento passa a apontar para o novo nó.

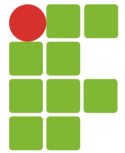




Listas Encadeadas: Inserção

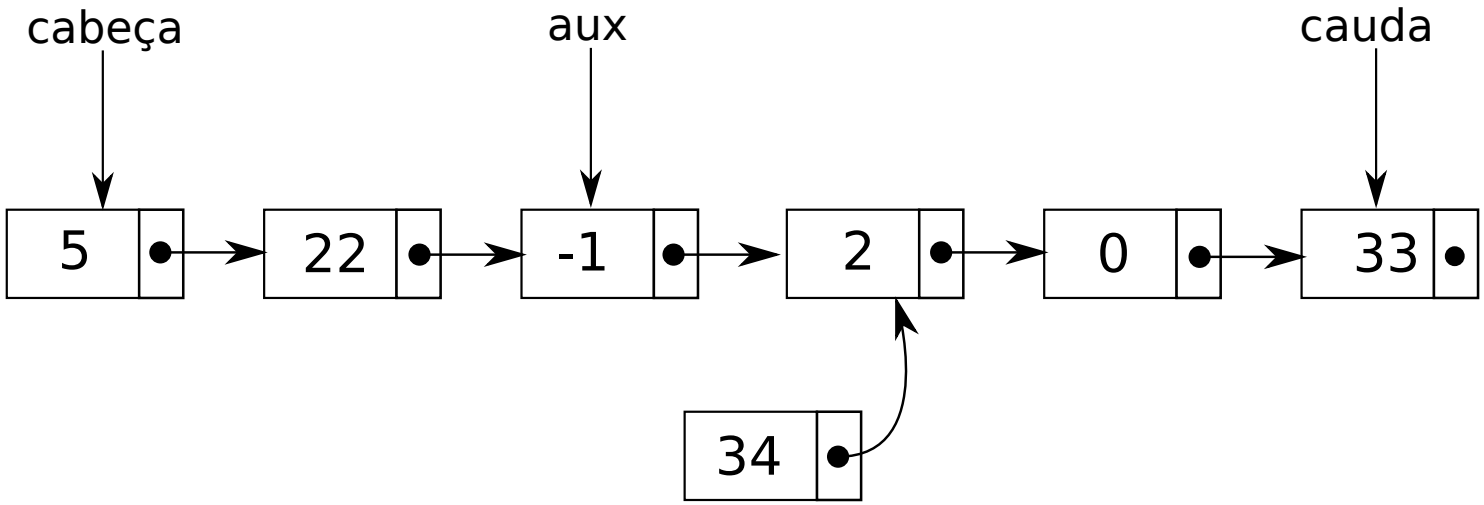
Para inserir em uma posição arbitrária, precisamos percorrer a list até o elemento que antecede a posição de inserção. O novo nó passa a apontar para o nó que sucede este elemento e o elemento passa a apontar para o novo nó.

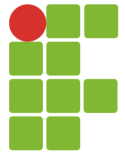




Listas Encadeadas: Inserção

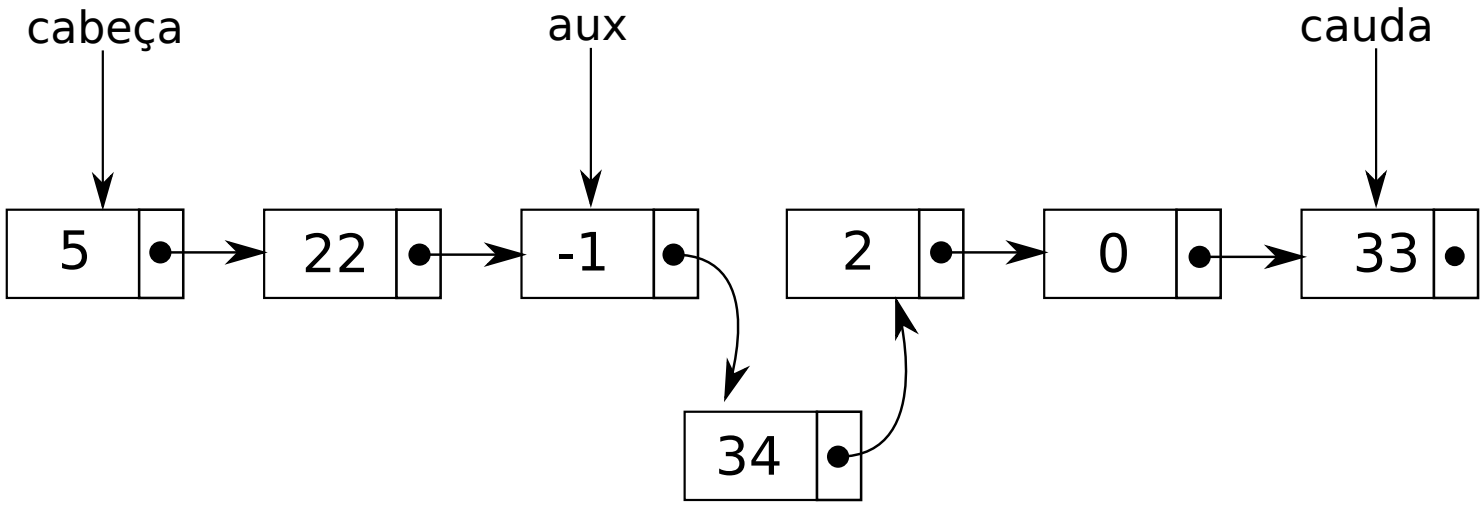
Para inserir em uma posição arbitrária, precisamos percorrer a list até o elemento que antecede a posição de inserção. O novo nó passa a apontar para o nó que sucede este elemento e o elemento passa a apontar para o novo nó.

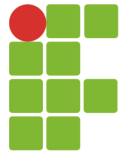




Listas Encadeadas: Inserção

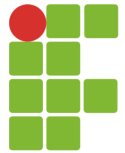
Para inserir em uma posição arbitrária, precisamos percorrer a list até o elemento que antecede a posição de inserção. O novo nó passa a apontar para o nó que sucede este elemento e o elemento passa a apontar para o novo nó.





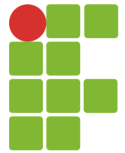
Listas Encadeadas: Inserção

```
62  /** Insere um novo dado na lista com base na posição i **/
63  void list_insert(list_t *l, int data, size_t i) {
64      /** Apenas modo debug, aborta o programa se a posição for inválida **/
65      assert(i <= list_size(l));
66      /** Se a lista está vazia, ou a posição de inserção é a 0, a
67          inserção é feita na cabeça **/
68      if (list_empty(l) || i == 0) {
69          list_prepend(l, data);
70      }
71      /** Inserção na cauda **/
72      else if (i == list_size(l)) {
73          list_append(l, data);
74      }
```

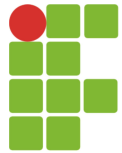


Listas Encadeadas: Inserção

```
75      /** Inserção no meio da lista que tem pelo menos 1 elemento **/
76      else {
77          /** Cria o novo nó ao chamar a função list_new_node **/
78          list_node_t *new_node = list_new_node(data);
79          /** Precisamos encontrar o elemento que antecede a posição i ao
80           * caminhar na lista **/
81          list_node_t *aux = l->head;
82          size_t k;
83          /** Caminhamos até a posição i-1 da lista **/
84          for (k = 0; k < i - 1; k++) {
85              aux = aux->next;
86          }
87          /** it agora aponta pro elemento da posição i-1*/
88          /** Estabelecemos o next do novo nó para o elemento antigo da
89           * da posição i **/
90          new_node->next = aux->next;
91          /** O next do nó da posição i-1 recebe o elemento recém inserido **/
92          aux->next = new_node;
93          /** O tamanho da lista é incrementado **/
94          l->size++;
95      }
96  }
```

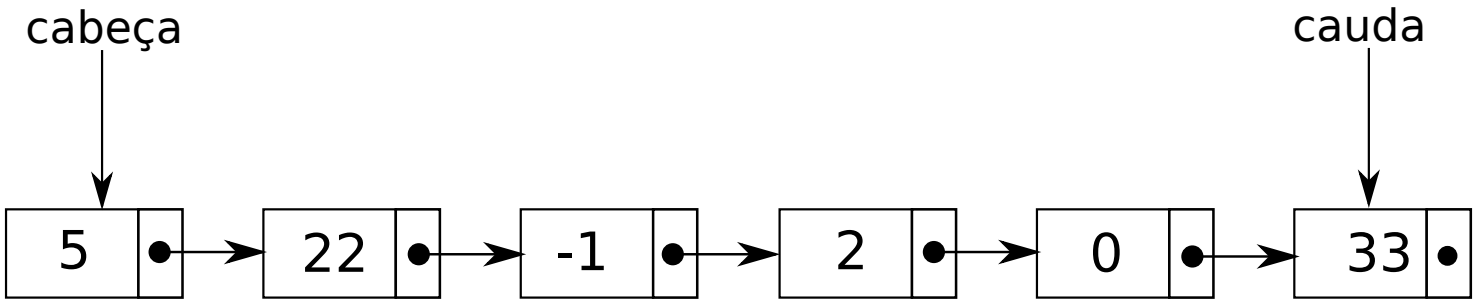


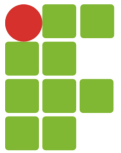
Sumário



Listas Encadeadas: Remoção na Cabeça

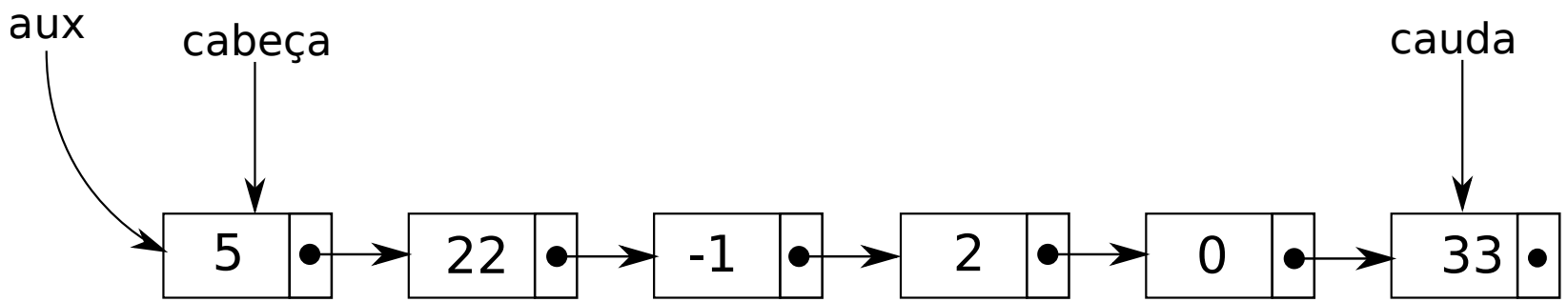
Para remover a cabeça da lista, utilizamos um ponteiro auxiliar que apontará para a cabeça, atualizamos a cabeça para o próximo elemento e removemos o nó apontado pelo ponteiro auxiliar. Caso a lista fique vazia após a remoção deste nó, a cauda deve apontar para NULL.

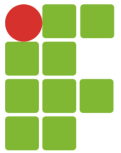




Listas Encadeadas: Remoção na Cabeça

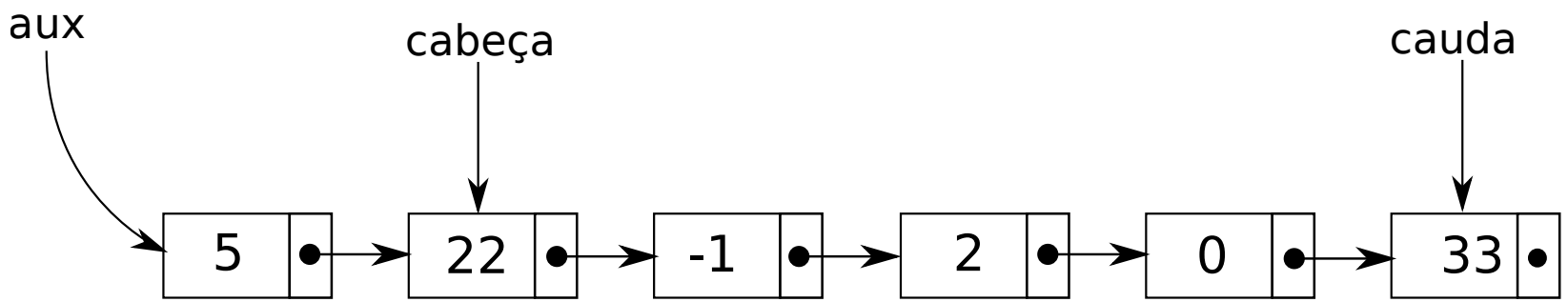
Para remover a cabeça da lista, utilizamos um ponteiro auxiliar que apontará para a cabeça, atualizamos a cabeça para o próximo elemento e removemos o nó apontado pelo ponteiro auxiliar. Caso a lista fique vazia após a remoção deste nó, a cauda deve apontar para NULL.

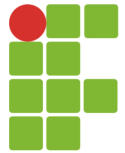




Listas Encadeadas: Remoção na Cabeça

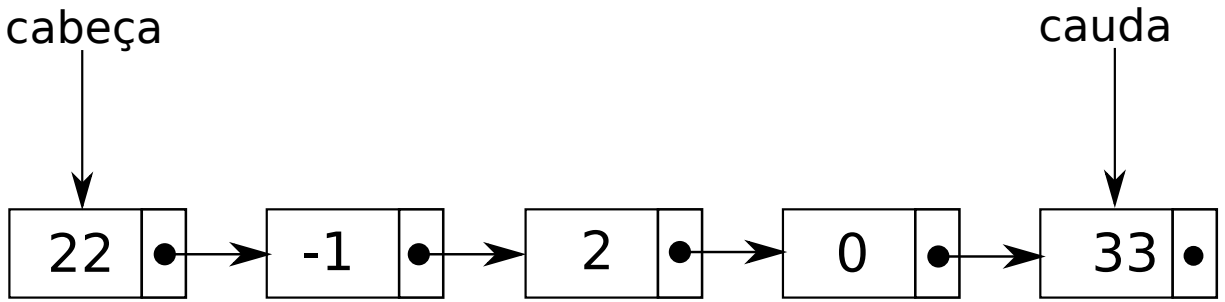
Para remover a cabeça da lista, utilizamos um ponteiro auxiliar que apontará para a cabeça, atualizamos a cabeça para o próximo elemento e removemos o nó apontado pelo ponteiro auxiliar. Caso a lista fique vazia após a remoção deste nó, a cauda deve apontar para NULL.

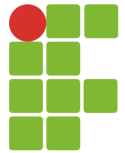




Listas Encadeadas: Remoção na Cabeça

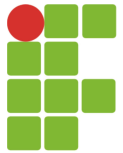
Para remover a cabeça da lista, utilizamos um ponteiro auxiliar que apontará para a cabeça, atualizamos a cabeça para o próximo elemento e removemos o nó apontado pelo ponteiro auxiliar. Caso a lista fique vazia após a remoção deste nó, a cauda deve apontar para NULL.





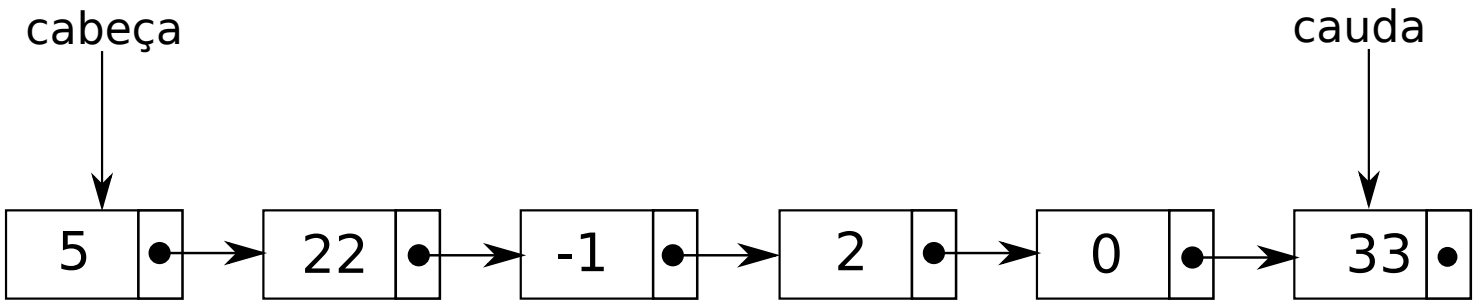
Listas Encadeadas: Remoção na Cabeça

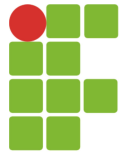
```
174 /** Remove a cabeça da lista **/
175 void list_remove_head(list_t *l) {
176     /** Debug apenas: aborta o programa caso a remoção da cabeça seja sobre
177      * uma lista vazia **/
178     assert(!list_empty(l));
179     /** O nó a ser removido recebe a cabeça **/
180     list_node_t *aux = l->head;
181     /** Se a lista tem um elemento, após a remoção a cauda deve ser NULL **/
182     if (list_size(l) == 1) {
183         l->tail = NULL;
184     }
185     /** A cabeça passa para o próximo elemento **/
186     l->head = l->head->next;
187     /** Deleta-se a cabeça **/
188     list_delete_node(aux);
189     /** O tamanho da lista é decrementado **/
190     l->size--;
191 }
```



Listas Encadeadas: Remoção na Cauda

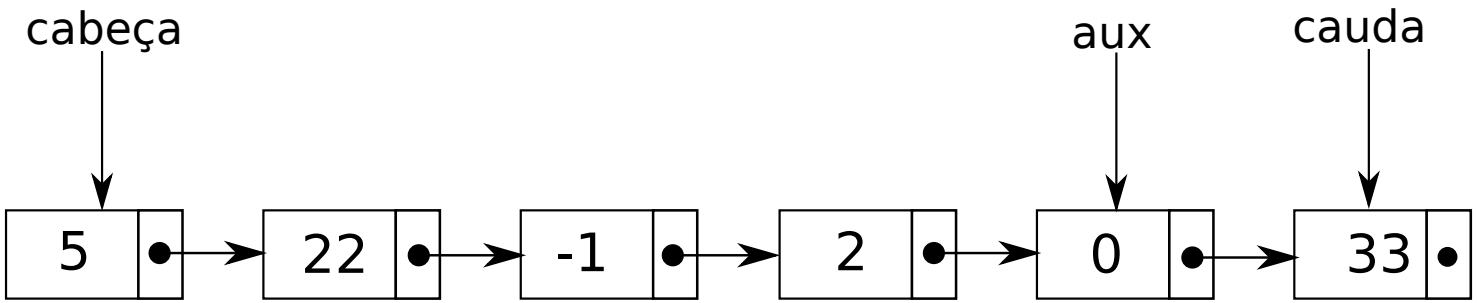
Para remover a cauda, temos que percorrer a lista com um ponteiro auxiliar até chegar ao penúltimo elemento. Assim podemos remover a cauda, fazer com que que o nó apontado pelo ponteiro auxiliar aponte para NULL e atualizar a cauda. Caso a lista fique vazia, também deve-se atualizar a cabeça para NULL.

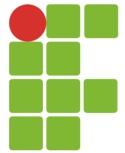




Listas Encadeadas: Remoção na Cauda

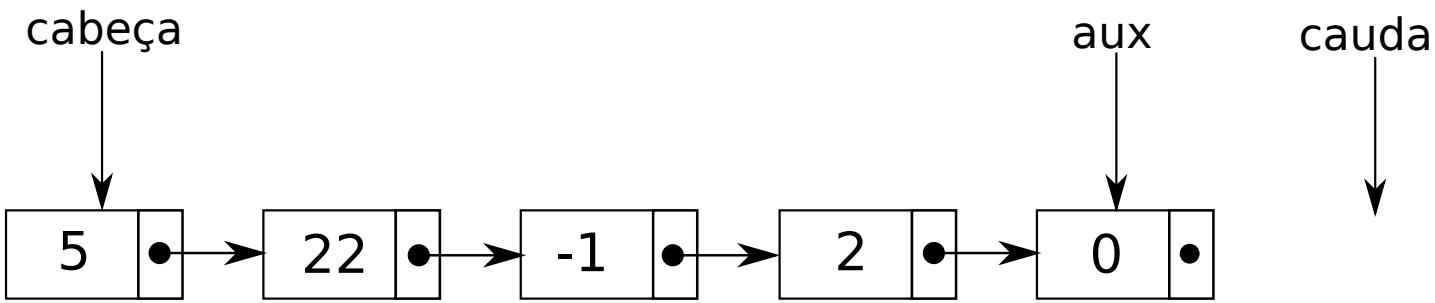
Para remover a cauda, temos que percorrer a lista com um ponteiro auxiliar até chegar ao penúltimo elemento. Assim podemos remover a cauda, fazer com que que o nó apontado pelo ponteiro auxiliar aponte para NULL e atualizar a cauda. Caso a lista fique vazia, também deve-se atualizar a cabeça para NULL.

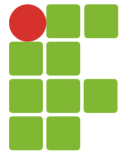




Listas Encadeadas: Remoção na Cauda

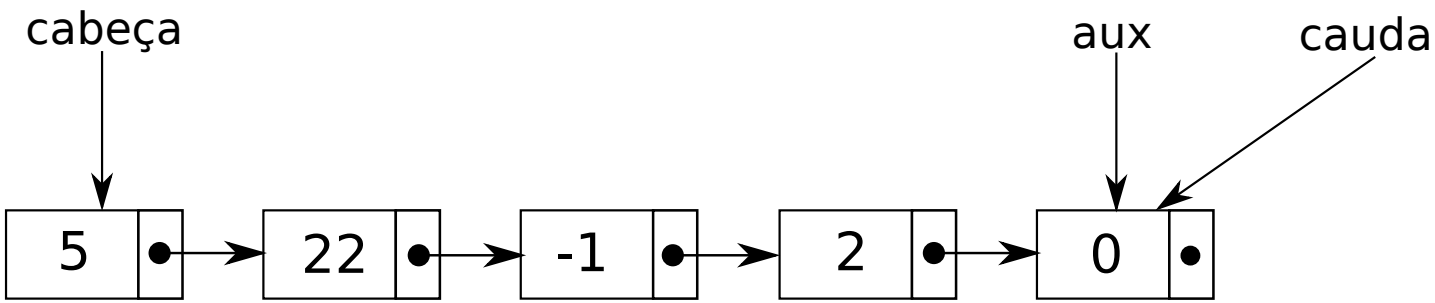
Para remover a cauda, temos que percorrer a lista com um ponteiro auxiliar até chegar ao penúltimo elemento. Assim podemos remover a cauda, fazer com que que o nó apontado pelo ponteiro auxiliar aponte para NULL e atualizar a cauda. Caso a lista fique vazia, também deve-se atualizar a cabeça para NULL.

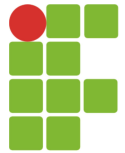




Listas Encadeadas: Remoção na Cauda

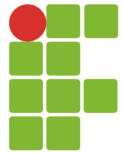
Para remover a cauda, temos que percorrer a lista com um ponteiro auxiliar até chegar ao penúltimo elemento. Assim podemos remover a cauda, fazer com que que o nó apontado pelo ponteiro auxiliar aponte para NULL e atualizar a cauda. Caso a lista fique vazia, também deve-se atualizar a cabeça para NULL.





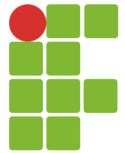
Listas Encadeadas: Remoção na Cauda

```
193 /** Remove a cauda da lista **/
194 void list_remove_tail(list_t *l) {
195     /** Debug apenas,aborta o programa caso a função seja chamada para uma
196      * lista vazia **/
197     assert(list_size(l) > 0);
198     /** O nó a ser removido recebe a cauda **/
199     list_node_t *to_be_removed = l->tail;
200     /** Se a lista tem tamanho 1, a cauda e a cabeça apontam para NULL
201      * após a remoção **/
202     if (list_size(l) == 1) {
203         l->head = NULL;
204         l->tail = NULL;
205     }
```



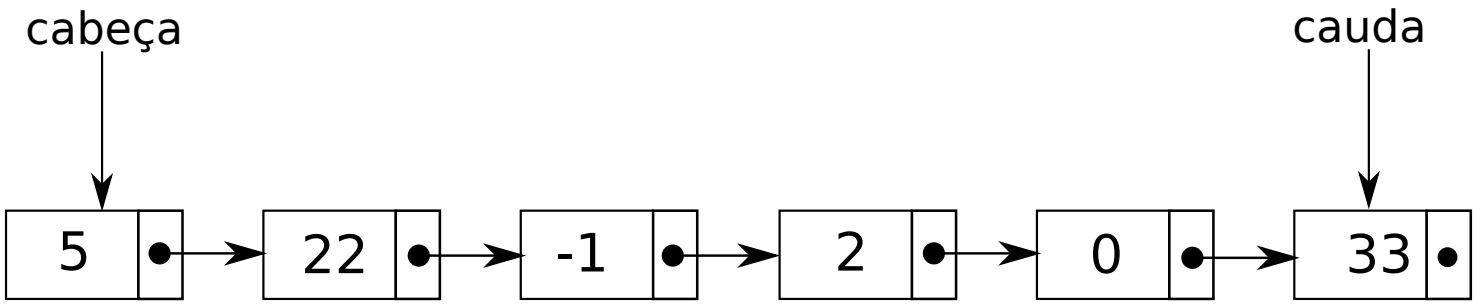
Listas Encadeadas: Remoção na Cauda

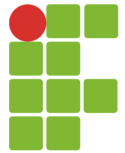
```
206     /** Caso contrário, a lista tem mais de um elemento. Deve-se iterar sobre
207      * a lista até o penúltimo elemento **/
208     else {
209         /** Itera-se sobre a lista a partir da cabeça até o penúltimo elemento
210          **/
211         list_node_t *aux = l->head;
212         while (aux->next != l->tail) {
213             aux = aux->next;
214         }
215         /** O campo next do penúltimo elemento agora aponta para NULL **/
216         aux->next = NULL;
217         /** O penúltimo elemento passa a ser a cauda **/
218         l->tail = aux;
219     }
220     /** Remove-se a cauda antiga **/
221     list_delete_node(to_be_removed);
222     /** O tamanho da lista é decrementado **/
223     l->size--;
224 }
```



Listas Encadeadas: Remoção

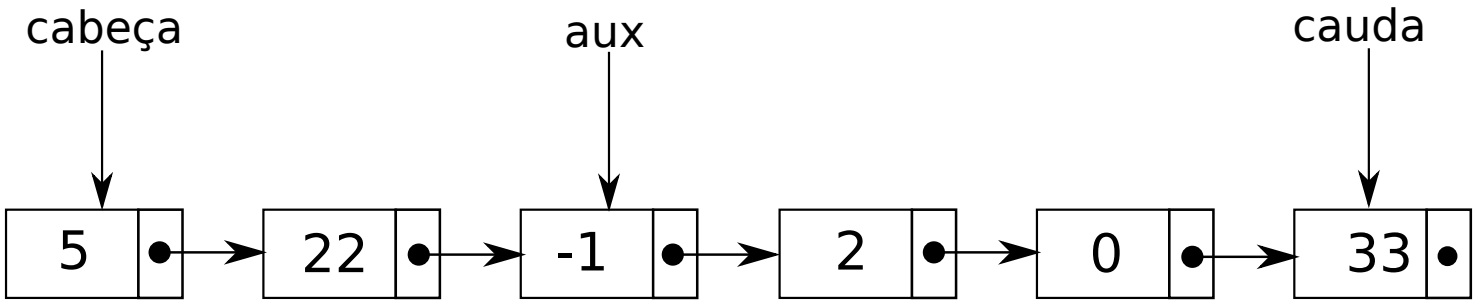
Para remover um elemento arbitrário, devemos percorrer a lista até o nó anterior a posição de remoção para que ele aponte para o nó que sucedede o nó a ser removido. Em seguida, removemos o nó.

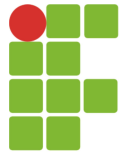




Listas Encadeadas: Remoção

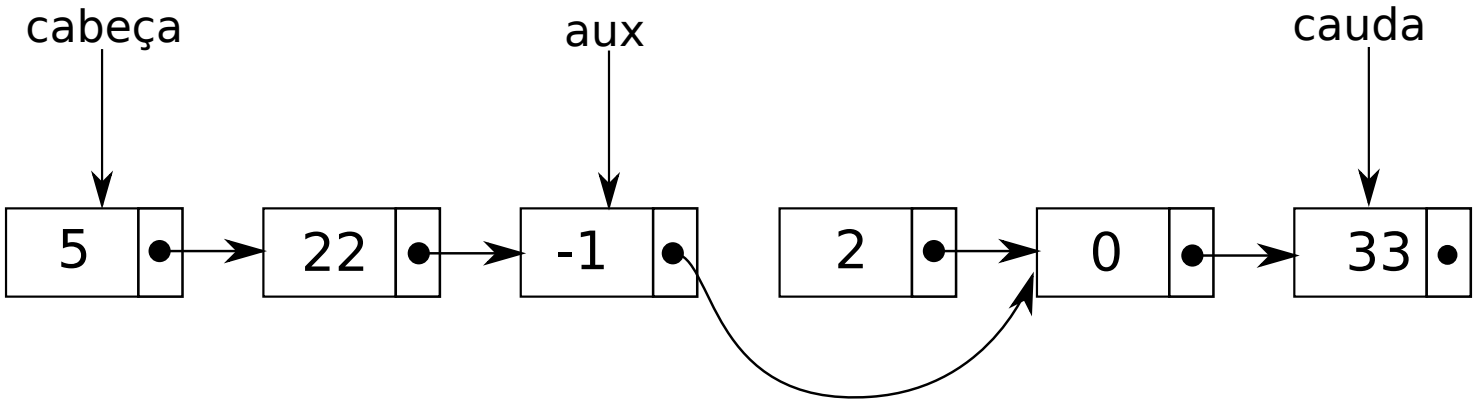
Para remover um elemento arbitrário, devemos percorrer a lista até o nó anterior a posição de remoção para que ele aponte para o nó que sucedede o nó a ser removido. Em seguida, removemos o nó.

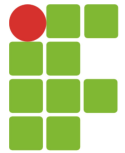




Listas Encadeadas: Remoção

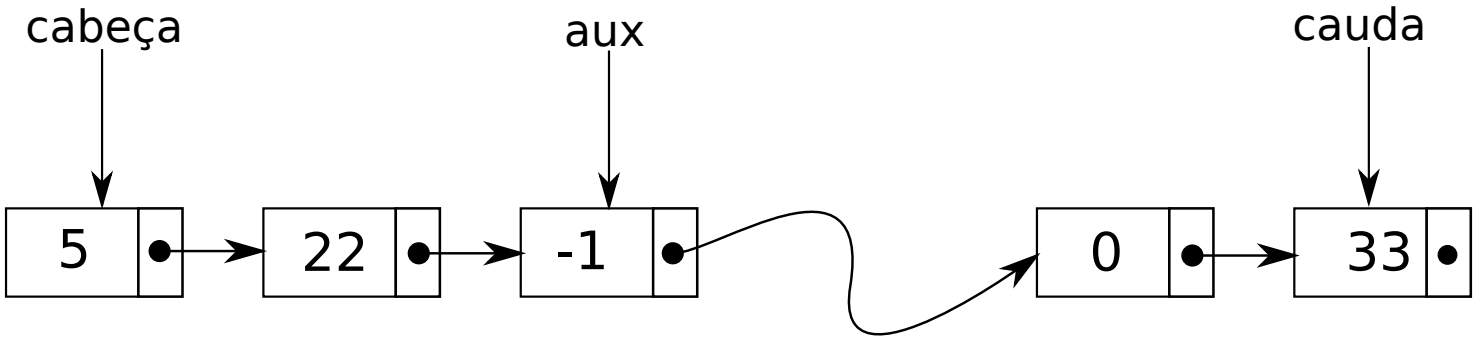
Para remover um elemento arbitrário, devemos percorrer a lista até o nó anterior a posição de remoção para que ele aponte para o nó que sucedede o nó a ser removido. Em seguida, removemos o nó.

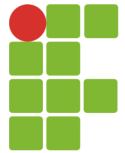




Listas Encadeadas: Remoção

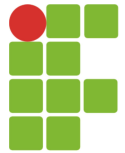
Para remover um elemento arbitrário, devemos percorrer a lista até o nó anterior a posição de remoção para que ele aponte para o nó que sucedede o nó a ser removido. Em seguida, removemos o nó.





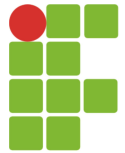
Listas Encadeadas: Remoção

```
134 /** Remove o elemento da posição i da lista **/
135 void list_remove(list_t *l, size_t i) {
136     /** Debug apenas, aborta o programa se a remoção estiver sendo feita
137      * em uma lista vazia ou em uma posição inexistente da lista **/
138     assert(!list_empty(l) && i < list_size(l));
139     /** Se a lista tem tamanho 1, ou a remoção é do primeiro elemento,
140         equivale a eliminar a cabeça
141     **/
142     if (list_size(l) == 1 || i == 0) {
143         list_remove_head(l);
144     }
145     /** Se i==list_size(l)-1, a remoção é na cauda **/
146     else if (i == list_size(l) - 1) {
147         list_remove_tail(l);
148     }
149     /** O nó a ser removido encontra-se no meio da lista e a lista
150         possuir mais que um elemento **/
```

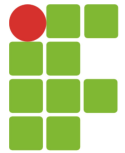


Listas Encadeadas: Remoção

```
151     else {
152         /** Nó a ser removido **/
153         list_node_t *node;
154         /** Devemos percorrer até o i-1-ésimo elemento a partir
155          * da cabeça **/
156         list_node_t *aux = l->head;
157         size_t k;
158         /** Itera-se até o elemento imediatamente interior ao elemento i **/
159         for (k = 0; k < i - 1; k++) {
160             aux = aux->next;
161         }
162         /** Nó a ser removido passa a ser o i-ésimo elemento **/
163         node = aux->next;
164         /** O anterior ao nó a ser removido aponta para o elemento
165          * que vem após o nó a ser removido **/
166         aux->next = node->next;
167         /** Deleta o nó atribuido anteriormente **/
168         list_delete_node(node);
169         /** Decrementa o tamanho da lista **/
170         l->size--;
171     }
172 }
```

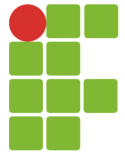


Sumário



Listas Encadeadas: Acesso

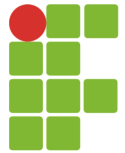
- Acesso na cabeça ou na cauda é fácil. Já temos ponteiros para estas posições.
- Para acessar uma posição arbitrária, começamos da cabeça e iteramos na lista até posicionarmos o ponteiro na posição em que queremos acessar.
- Diferentemente de vetores, listas encadeadas não possuem acesso direto (aleatório).



Listas Encadeadas: Acesso

Acesso a cabeça da lista.

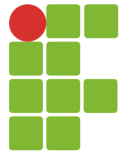
```
249 /** Acessa a cabeça da lista **/
250 int list_access_head(list_t *l) {
251     /** Debug apenas, aborta o programa se a lista não tem cabeça (é vazia) **/
252     assert(!(list_empty(l)));
253     return (l->head->data);
254 }
```



Listas Encadeadas: Acesso

Acesso a cauda.

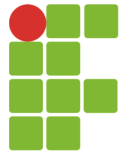
```
256 /** Acessa a cauda da lista **/
257 int list_access_tail(list_t *l) {
258     /** Debug apenas, aborta o programa se a lista não tem cauda (é vazia)**/
259     assert(!list_empty(l));
260     return (l->tail->data);
261 }
```



Listas Encadeadas: Acesso

Acesso a uma posição arbitrária.

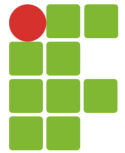
```
226 /** Acessa o i-ésimo elemento da lista **/
227 int list_access(list_t *l, size_t i) {
228     /** Debug apenas, aborta o programa em caso de posição inválida
229      * a ser acessada **/
230     assert(!list_empty(l) && i < list_size(l));
231     /** Se i==0, o acesso é na cabeça **/
232     if (i == 0) {
233         return (list_access_head(l));
234     }
235     /** Se i==list_size(l)-1, o acesso é na cauda **/
236     else if (i == list_size(l) - 1) {
237         return (list_access_tail(l));
238     }
```



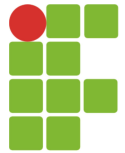
Listas Encadeadas: Acesso

Acesso a uma posição arbitrária.

```
239     /** Caso contrário, percorre-se a lista até o i-ésimo elemento **/
240     size_t j;
241     list_node_t *it = l->head;
242     for (j = 0; j < i; j++) {
243         it = it->next;
244     }
245     /** O campo dado do elemento acessado é retornado **/
246     return (it->data);
247 }
```

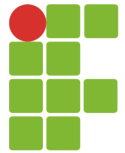


Sumário



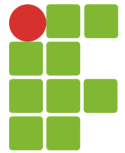
Listas Encadeadas: Limpeza

- Para deletar a lista da memória, basta iterar sobre ela e apagar os nós.
- Só devemos ter cuidado de não perder a referência para o próximo nó.
- Uma estratégia é sempre apagar a cabeça da lista enquanto ela não é vazia.

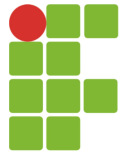


Listas Encadeadas: Limpeza

```
50  /** Deleta uma lista com sucessivas remoções da cabeça **/
51  void list_delete(list_t **l) {
52      /** Enquanto a lista não for fazia, remove a cabeça **/
53      while (!list_empty(*l)) {
54          list_remove_head(*l);
55      }
56      /** Desaloca espaço para a estrutura de dados **/
57      free(*l);
58      /** Atribui o valor NULL ao ponteiro da lista **/
59      *l = NULL;
60  }
```

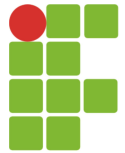


Sumário

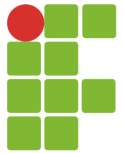


Listas Encadeadas

Operação	Complexidade
Inserção na cabeça	$\Theta(1)$
Inserção na cauda	$\Theta(1)$
Inserção em posição arbitrária	$\Theta(n)$
Remoção da cabeça	$\Theta(1)$
Remoção da cauda	$\Theta(n)$
Remoção de uma posição arbitrária	$\Theta(n)$
Acesso à cabeça	$\Theta(1)$
Acesso à cauda	$\Theta(1)$
Acesso à posição arbitrária	$\Theta(n)$

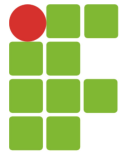


Sumário



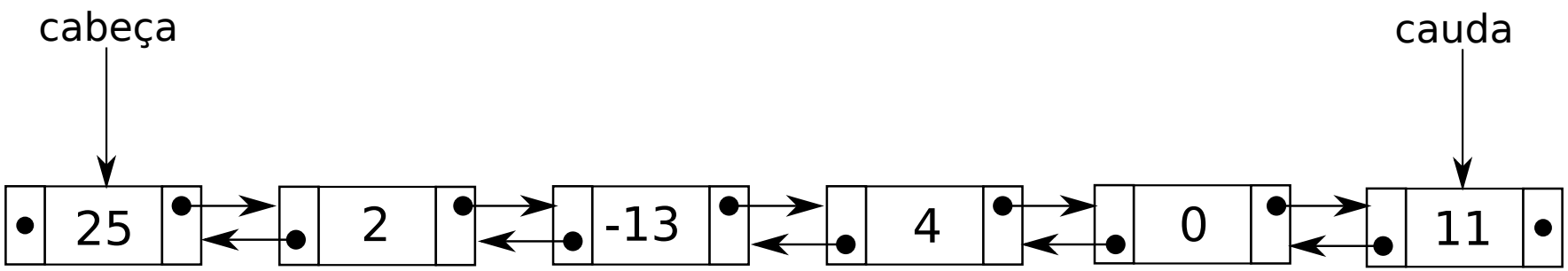
Listas Duplamente Encadeadas

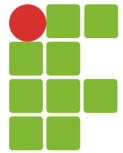
- Listas duplamente encadeadas se assemelham muito às listas encadeadas com a diferença que cada elemento possui uma referência para o elemento anterior.
- Apesar de utilizar mais espaço para representação, pode-se caminhar no sentido contrário.
- As operações em Listas Duplamente encadeada são **similares** às das Listas Encadeadas, com atenção para atualizar o ponteiro do elemento anterior.



Sumário

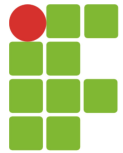
Listas Duplamente Encadeadas





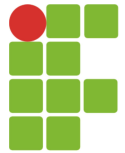
Listas Duplamente Encadeadas: Definição

```
7  /**A nossa dlista encadeada consiste de vários nós,
8  que possuem o tipo dlist_node_t **/
9  typedef struct dlist_node_t {
10     int data;                    /*Dado*/
11     struct dlist_node_t *next; /*ponteiro para o próximo elemento*/
12     struct dlist_node_t *prev; /*Ponteiro para o elemento anterior*/
13 } dlist_node_t;
```

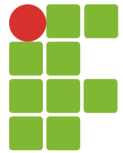


Listas Duplamente Encadeadas: Definição

```
15  typedef struct dlist_t {
16      dlist_node_t *head; /*Cabeça da dlista*/
17      dlist_node_t *tail; /*Cauda da dlista*/
18      size_t size;        /*tamanho da dlista*/
19  } dlist_t;
```

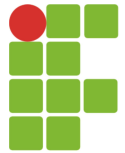


Sumário

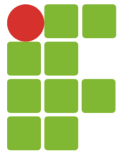


Listas Duplamente Encadeadas: Inicialização

```
20  /**Inicializa a lista duplamente encadeada e seus membros**/
21  void dlist_initialize(dlist_t **l) {
22      (*l) = mallocx(sizeof(dlist_t));
23      (*l)->head = NULL;
24      (*l)->tail = NULL;
25      (*l)->size = 0;
26  }
```

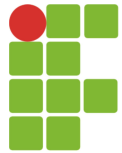


Sumário



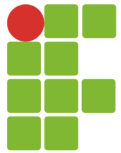
Listas Duplamente Encadeadas: Funções Auxiliares

```
155 /**Retorna o tamanho da dlista**/
156 size_t dlist_size(dlist_t *l) {
157     return l->size;
158 }
```



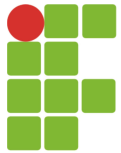
Listas Duplamente Encadeadas: Funções Auxiliares

```
160 /**Retorna verdadeiro se a dlista está vazia, e falso caso contrário**/
161 bool dlist_empty(dlist_t *l) {
162     return dlist_size(l) == 0 ? true : false;
163 }
```



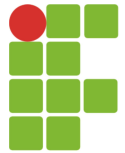
Listas Duplamente Encadeadas: Funções Auxiliares

```
8  static dlist_node_t *dlist_new_node(int data) {
9      dlist_node_t *new_node = mallocx(sizeof(dlist_node_t));
10     new_node->data = data;
11     new_node->next = NULL;
12     new_node->prev = NULL;
13     return new_node;
14 }
```

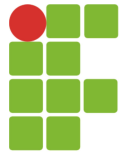


Listas Duplamente Encadeadas: Funções Auxiliares

```
16 static void dlist_delete_node(dlist_node_t *node) {
17     free(node);
18 }
```



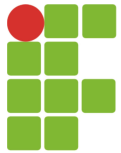
Sumário



Listas Duplamente Encadeadas: Inserção

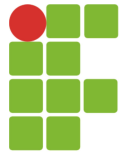
Inserção na Cabeça e Cauda

- Igual às versões das listas encadeadas.
- Só precisamos de cuidado para atualizar os ponteiros que ligam ao próximo ou ao anterior.



Listas Duplamente Encadeadas: Inserção na Cabeça

```
61  /** Insere um elemento na cabeça da dlista **/
62  void dlist_prepend(dlist_t *l, int data) {
63      dlist_node_t *new_node = dlist_new_node(data);
64      if (dlist_empty(l)) {
65          l->tail = new_node;
66      } else {
67          l->head->prev = new_node;
68      }
69      new_node->next = l->head;
70      l->head = new_node;
71      l->size++;
72  }
```

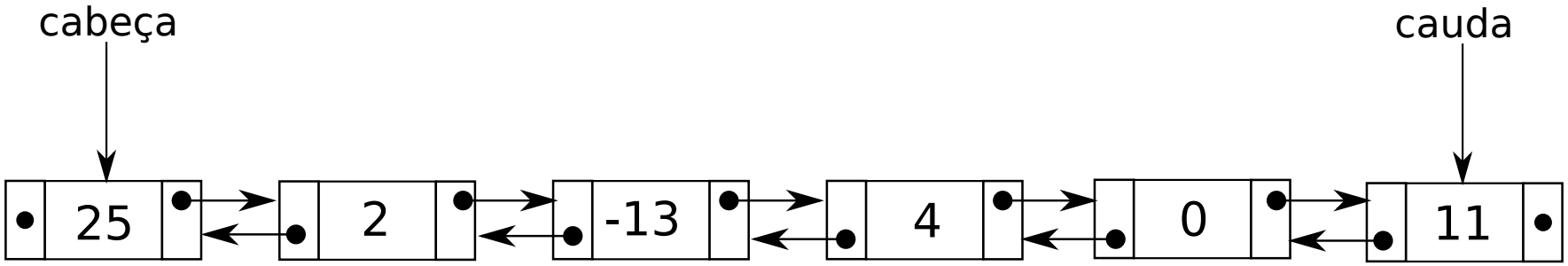


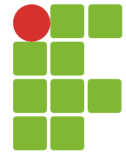
Listas Duplamente Encadeadas: Inserção na Cauda

```
74  /**Insere um elemento na cauda da dlista **/
75  void dlist_append(dlist_t *l, int data) {
76      dlist_node_t *new_node = dlist_new_node(data);
77      if (dlist_empty(l)) {
78          l->head = new_node;
79      } else {
80          l->tail->next = new_node;
81      }
82      new_node->prev = l->tail;
83      l->tail = new_node;
84      l->size++;
85  }
```

Listas Duplamente Encadeadas: Inserção

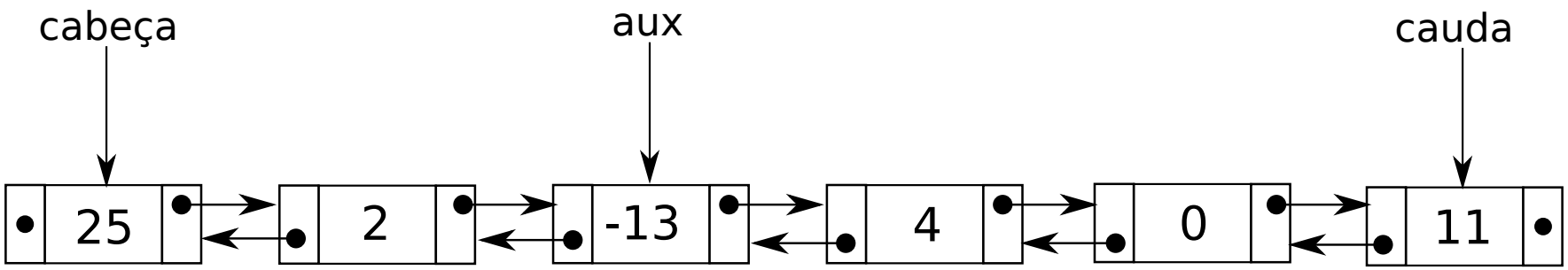
Percorremos a lista até chegar na posição que antecede a inserção para conseguirmos encaixar o novo nó entre dois nós existentes.

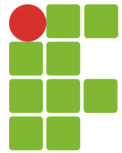




Listas Duplamente Encadeadas: Inserção

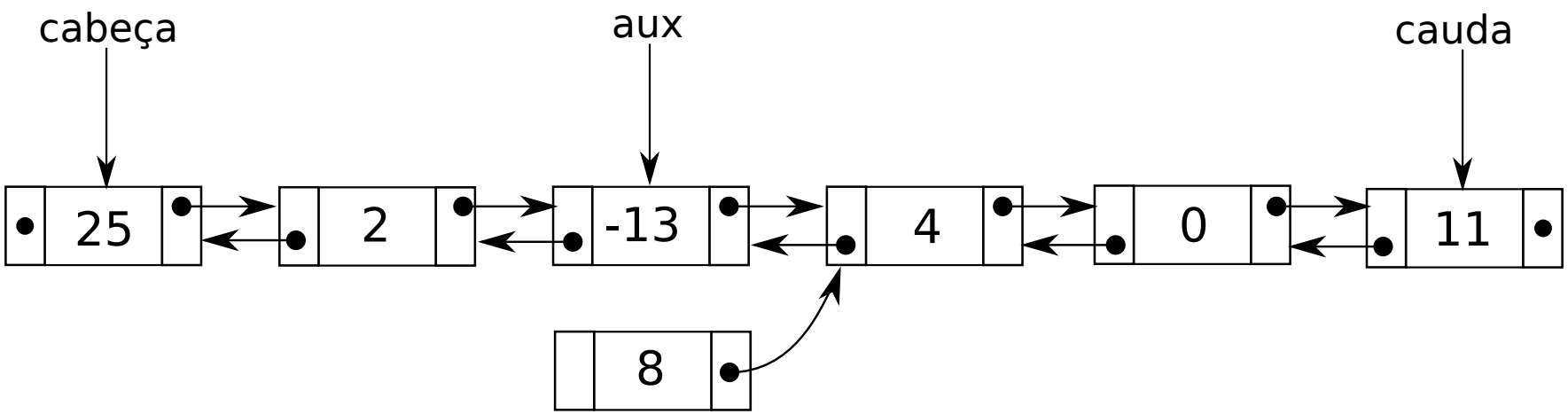
Percorremos a lista até chegar na posição que antecede a inserção para conseguirmos encaixar o novo nó entre dois nós existentes.

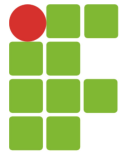




Listas Duplamente Encadeadas: Inserção

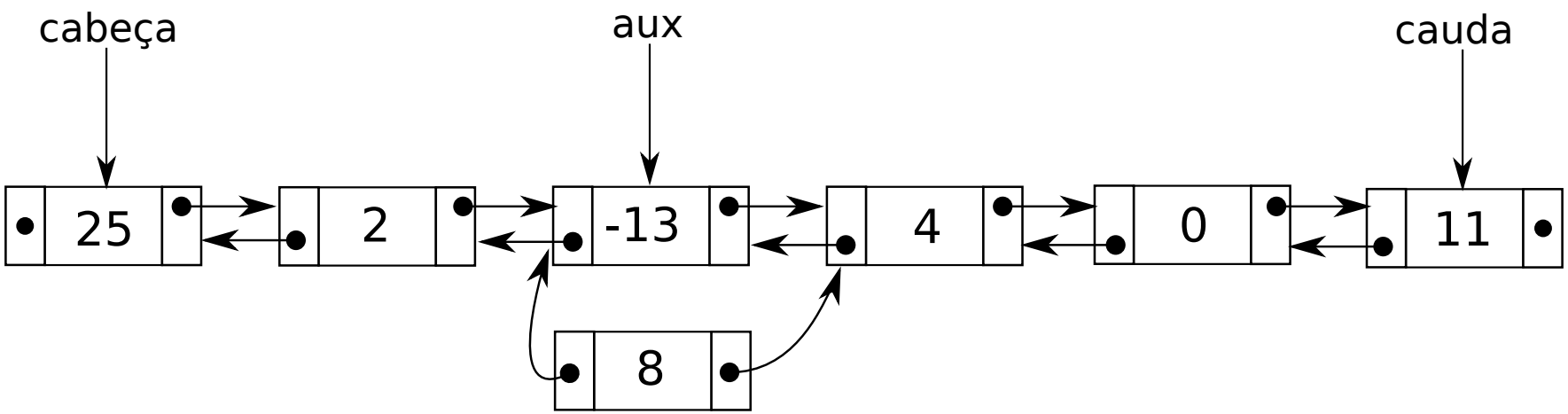
Percorremos a lista até chegar na posição que antecede a inserção para conseguirmos encaixar o novo nó entre dois nós existentes.

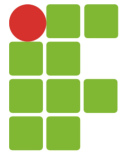




Listas Duplamente Encadeadas: Inserção

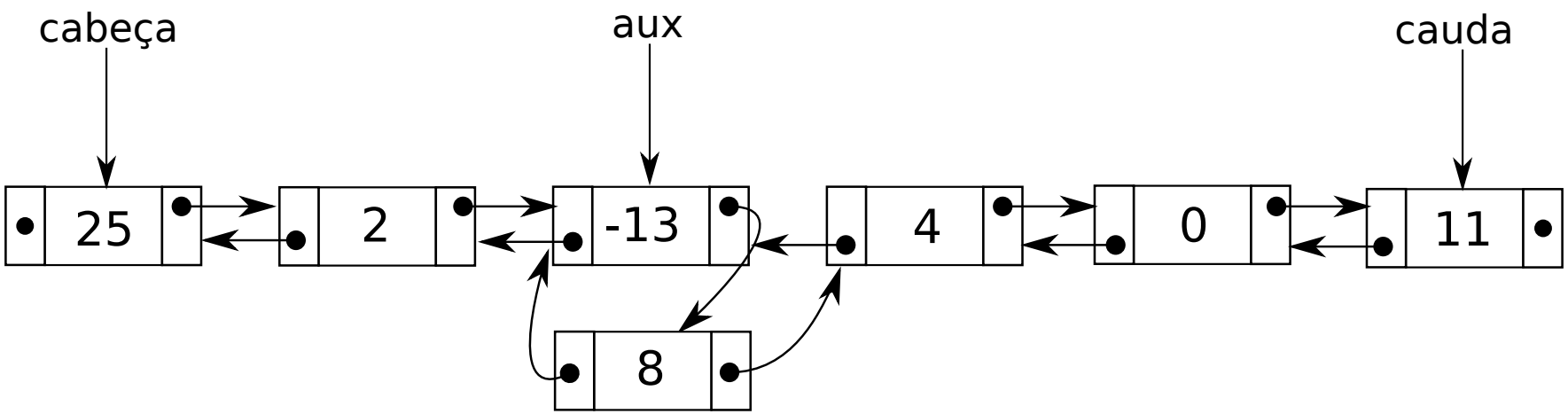
Percorremos a lista até chegar na posição que antecede a inserção para conseguirmos encaixar o novo nó entre dois nós existentes.

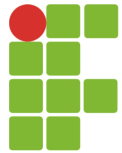




Listas Duplamente Encadeadas: Inserção

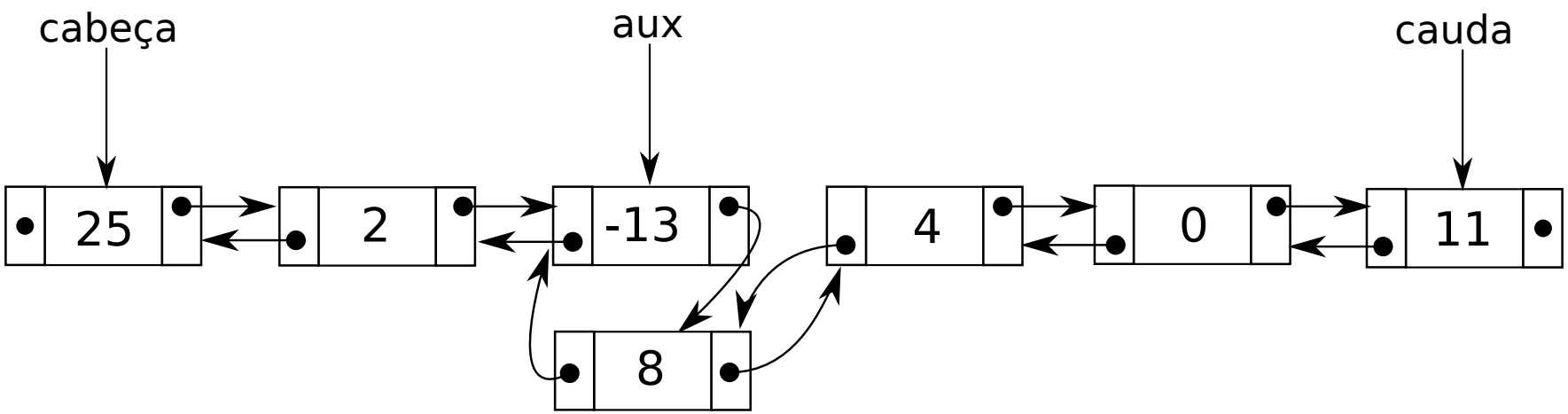
Percorremos a lista até chegar na posição que antecede a inserção para conseguirmos encaixar o novo nó entre dois nós existentes.

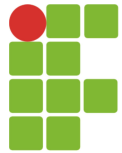




Listas Duplamente Encadeadas: Inserção

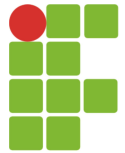
Percorremos a lista até chegar na posição que antecede a inserção para conseguirmos encaixar o novo nó entre dois nós existentes.



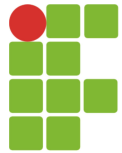


Listas Duplamente Encadeadas: Inserção

```
36 void dlist_insert(dlist_t *l, int data, size_t i) {
37     assert(i <= dlist_size(l));
38     if (dlist_empty(l) || i == 0) {
39         dlist_prepend(l, data);
40     } else if (i == dlist_size(l)) {
41         /*Inserção na cauda*/
42         dlist_append(l, data);
43     } else {
44         dlist_node_t *new_node = dlist_new_node(data);
45         /*Inserção no meio da lista*/
46         /*Precisamos encontrar o elemento que antecede a posição i*/
47         dlist_node_t *aux = l->head;
48         size_t k;
49         for (k = 0; k < i - 1; k++) {
50             aux = aux->next;
51         }
52         /*aux agora aponta pro elemento da posição i-1*/
53         new_node->next = aux->next;
54         new_node->prev = aux;
55         aux->next->prev = new_node;
56         aux->next = new_node;
57         l->size++;
58     }
59 }
```

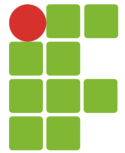


Sumário



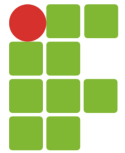
Listas Duplamente Encadeadas: Remoção na Cabeça

- Igual a versão das listas encadeadas.
- Só precisamos de cuidado para atualizar os ponteiros adicionais.



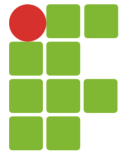
Listas Duplamente Encadeadas: Remoção na Cabeça

```
109 void dlist_remove_head(dlist_t *l) {
110     assert(!dlist_empty(l));
111     dlist_node_t *node = l->head;
112     l->head = l->head->next;
113     if (dlist_size(l) == 1) {
114         l->tail = NULL;
115     } else {
116         l->head->prev = NULL;
117     }
118     dlist_delete_node(node);
119     l->size--;
120 }
```



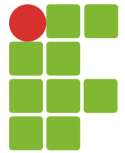
Listas Duplamente Encadeadas: Remoção na Cauda

- Na versão da lista encadeada simples, precisávamos percorrer a lista toda até o penúltimo elemento.
- Como em listas duplamente encadeadas conseguimos acessar o penúltimo elemento ao começar do último e utilizar o ponteiro para o anterior, o penúltimo elemento é obtido em tempo constante!
- $\Theta(n) \Rightarrow \Theta(1)$.
- O restante da remoção é igual ao da lista encadeada simples, com cuidado de atualizar os ponteiros adicionais.



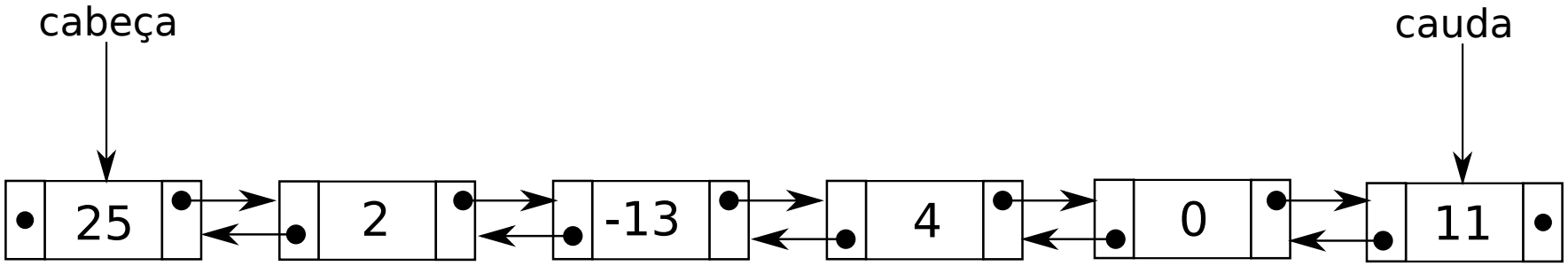
Listas Duplamente Encadeadas: Remoção na Cauda

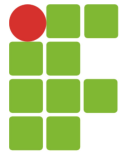
```
122 void dlist_remove_tail(dlist_t *l) {
123     assert(!dlist_empty(l));
124     dlist_node_t *node = l->tail;
125     l->tail = l->tail->prev;
126     if (dlist_size(l) == 1) {
127         l->head = NULL;
128     } else {
129         l->tail->next = NULL;
130     }
131     dlist_delete_node(node);
132     l->size--;
133 }
```



Listas Duplamente Encadeadas: Remoção

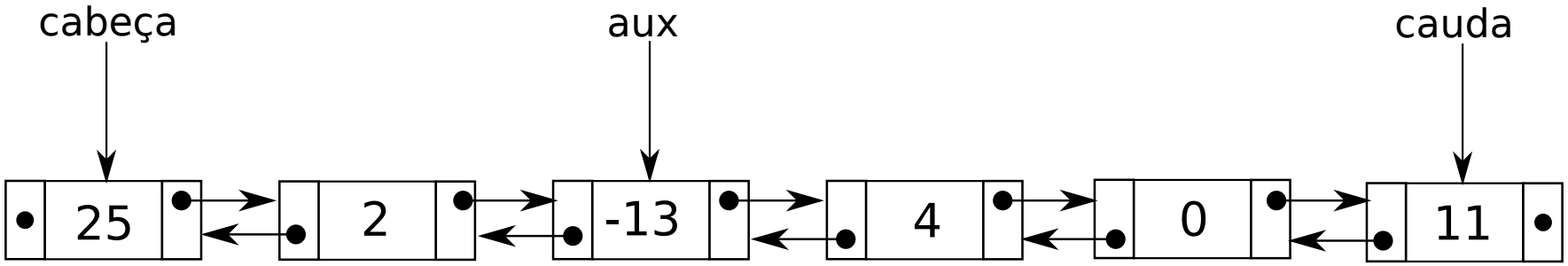
Para remoção em uma posição arbitrária, percorremos a lista até chegar na posição que queremos remover.

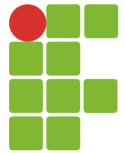




Listas Duplamente Encadeadas: Remoção

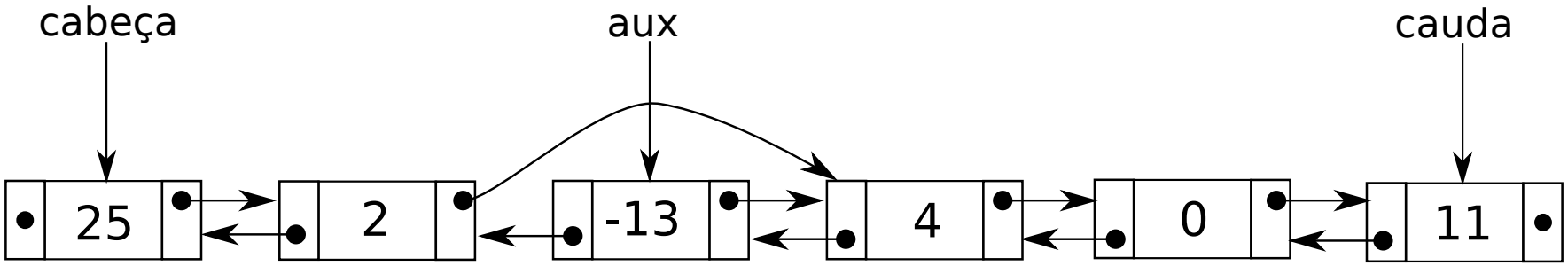
Para remoção em uma posição arbitrária, percorremos a lista até chegar na posição que queremos remover.

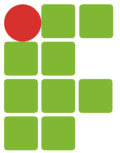




Listas Duplamente Encadeadas: Remoção

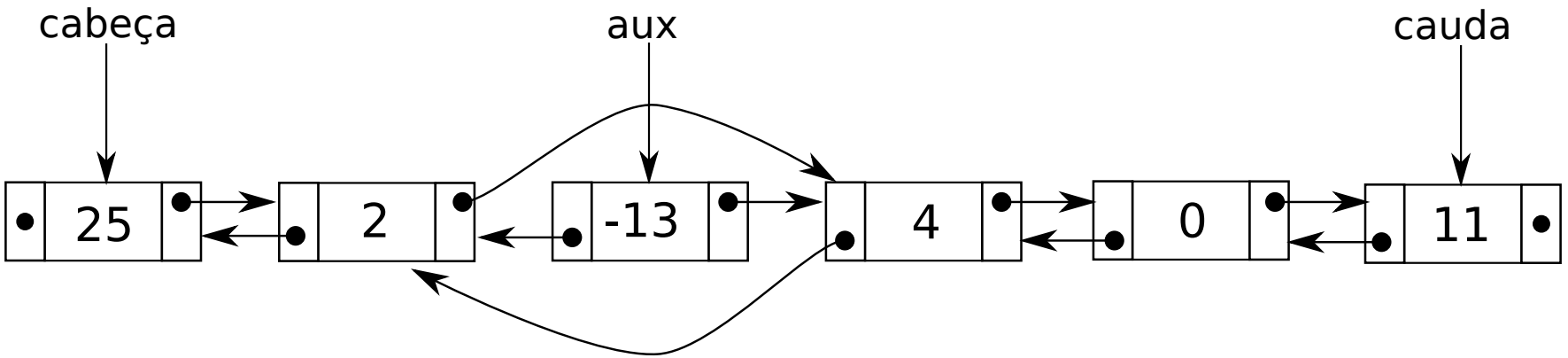
Para remoção em uma posição arbitrária, percorremos a lista até chegar na posição que queremos remover.





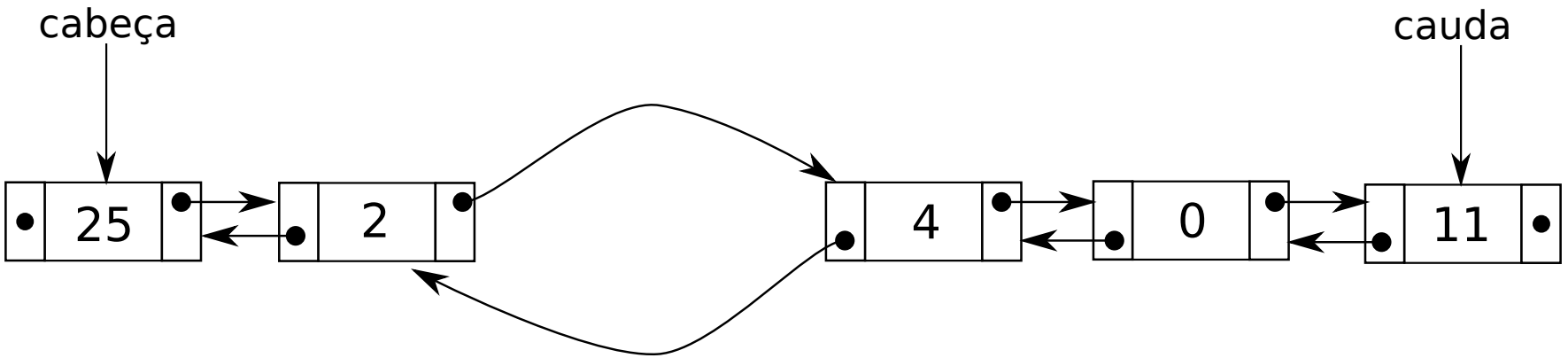
Listas Duplamente Encadeadas: Remoção

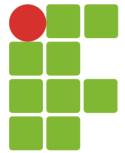
Para remoção em uma posição arbitrária, percorremos a lista até chegar na posição que queremos remover.



Listas Duplamente Encadeadas: Remoção

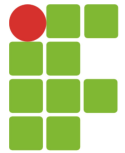
Para remoção em uma posição arbitrária, percorremos a lista até chegar na posição que queremos remover.



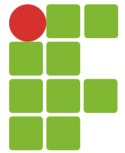


Listas Duplamente Encadeadas: Inserção

```
87  /**Remove o elemento da posição i da dlista**/
88  void dlist_remove(dlist_t *l, size_t i) {
89      assert(!dlist_empty(l) && i < dlist_size(l));
90      dlist_node_t *node;
91      if (dlist_size(l) == 1 || i == 0) {
92          dlist_remove_head(l);
93      } else if (i == dlist_size(l) - 1) {
94          dlist_remove_tail(l);
95      } else {
96          dlist_node_t *aux = l->head;
97          size_t k;
98          for (k = 0; k < i; k++) {
99              aux = aux->next;
100         }
101         node = aux;
102         node->prev->next = node->next;
103         node->next->prev = node->prev;
104         dlist_delete_node(node);
105         l->size--;
106     }
107 }
```

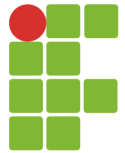


Sumário



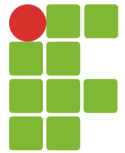
Listas Duplamente Encadeadas: Acesso

- O Acesso em listas duplamente encadeadas é análogo ao das listas encadeadas simples.
- Durante o acesso à uma posição arbitrária, podemos começar a busca pela cabeça ou pela cauda, a escolha dependerá de qual estará mais próxima da posição em que se deseja acesso.



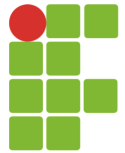
Listas Duplamente Encadeadas: Acesso

```
145 int dlist_access_head(dlist_t *l) {
146     assert(!(dlist_empty(l)));
147     return (l->head->data);
148 }
```



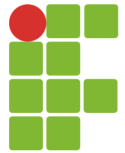
Listas Duplamente Encadeadas: Acesso

```
148 }
149
150 int dlist_access_tail(dlist_t *l) {
151     assert(!dlist_empty(l));
152     return (l->tail->data);
153 }
```

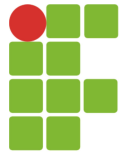


Listas Duplamente Encadeadas: Acesso

```
135 int dlist_access(dlist_t *l, size_t i) {
136     assert(!dlist_empty(l) && i < dlist_size(l));
137     dlist_node_t *aux = l->head;
138     int j;
139     for (j = 0; j < i; j++) {
140         aux = aux->next;
141     }
142     return (aux->data);
143 }
```

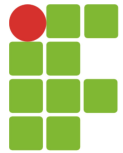


Sumário



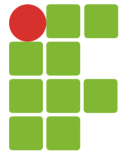
Listas Duplamente Encadeadas: Limpeza

- Funciona de forma análoga ao das listas encadeadas simples.

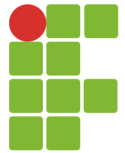


Listas Duplamente Encadeadas: Limpeza

```
28 void dlist_delete(dlist_t **l) {
29     while (!dlist_empty(*l)) {
30         dlist_remove_head(*l);
31     }
32     free(*l);
33     *l = NULL;
34 }
```



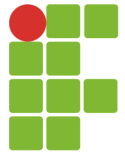
Sumário



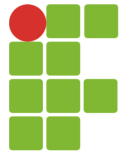
Listas Duplamente Encadeadas

Complexidade das Operações

Operação	Complexidade
Inserção na cabeça	$\Theta(1)$
Inserção na cauda	$\Theta(1)$
Inserção em posição arbitrária	$\Theta(n)$
Remoção da cabeça	$\Theta(1)$
Remoção da cauda	$\Theta(1)$
Remoção de uma posição arbitrária	$\Theta(n)$
Acesso à cabeça	$\Theta(1)$
Acesso à cauda	$\Theta(1)$
Acesso à posição arbitrária	$\Theta(n)$

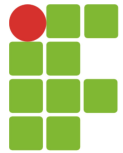


Sumário



Exemplo da Utilização da Biblioteca

```
1  #include "list.h"
2  #include <stdio.h>
3  #include <string.h>
4
5  void print_list(list_t *l) {
6      printf("\n");
7      list_node_t *aux;
8      for (aux = l->head; aux != NULL; aux = aux->next) {
9          printf("%d -> ", aux->data);
10     }
11     printf("NULL\n");
12     printf("\n");
13 }
```



Exemplo da Utilização da Biblioteca

```
14
15  int main() {
16      list_t *l;
17      list_initialize(&l);
18      int i;
19      for (i = 0; i < 3; i++) {
20          list_append(l, i);
21      }
22      print_list(l);
23      list_insert(l, 5, 1);
24      print_list(l);
25      list_remove_head(l);
26      list_remove_tail(l);
27      print_list(l);
28      list_delete(&l);
29      return 0;
30  }
```