

Deque

Estruturas de Dados e Algoritmos



Prof. Daniel Saad Nogueira
Nunes

IFB – Instituto Federal de Brasília,
Campus Taguatinga



Sumário

- 1 Introdução
- 2 Vetores Dinâmicos
- 3 Implementação em vetores
- 4 Listas
- 5 Exemplo



Sumário

1 Introdução

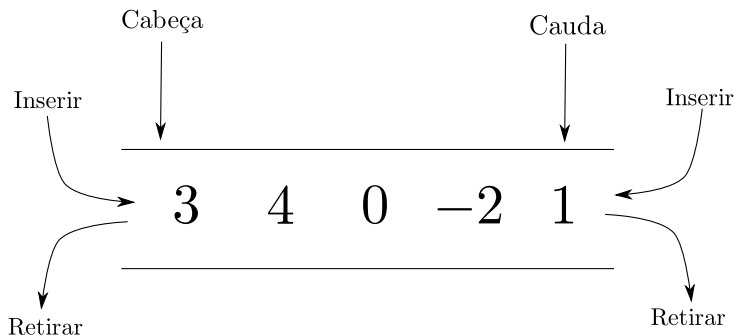


Deques

- Deque: Double-Ended-Queue.
- Deques são TADs que generalizam filas.
- Em deques, elementos podem ser adicionados tanto no início quando no fim da fila.
- Pode-se retirar elementos nas duas extremidades também.



Deques





Operações em Filas

- Algumas das operações suportadas por um deque devem ser:
 - ▶ Inserção no início.
 - ▶ Remoção no início.
 - ▶ Inserção no fim.
 - ▶ Remoção no fim.
 - ▶ Acessar o elemento do início;
 - ▶ Acessar o elemento do fim;
 - ▶ Verificar se o deque está vazio;
 - ▶ Verificar o tamanho do deque;



Representação de deque

- Assim como filas, deque podem ser representadas de várias maneiras, duas delas são por meio de:
 - 1 Vetores;
 - 2 Estruturas auto-referenciadas;



Sumário

2 Vetores Dinâmicos

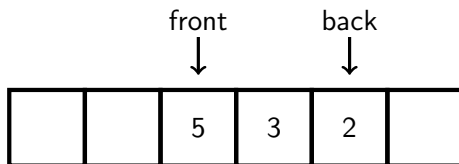


Representação de deque em vetores

- Para representar deque em vetores utilizamos a mesma estrutura utilizada nas filas, que é composta por um vetor e dois índices, que apontam, respectivamente, para a posição da frente (início) da fila e a posição de trás (fim) da fila.



Representação de deque em Vetores





Sumário

- 2 Vetores Dinâmicos
 - Inserção no final
 - Inserção no início
 - Remoção no início
 - Remoção no fim

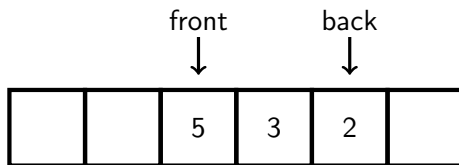


Inserção no final em vetores

- Para inserir um elemento ao final de um deque utilizamos o mesmo procedimento realizado na fila.
- incrementamos o índice do fim e colocamos o novo elemento nessa posição.

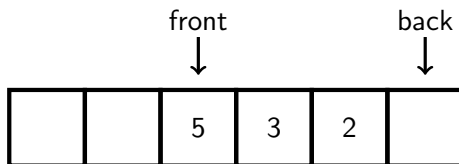


Inserção no final em vetores



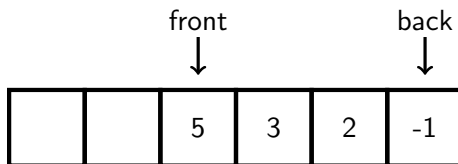


Inserção no final em vetores





Inserção no final em vetores



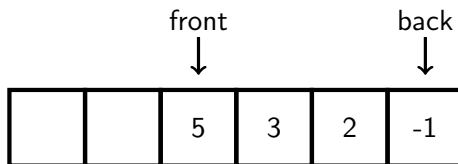


Inserção no final em vetores

- Quando o índice do fim estiver no final do vetor, podemos simplesmente “dar a volta” pra reutilizar o espaço!

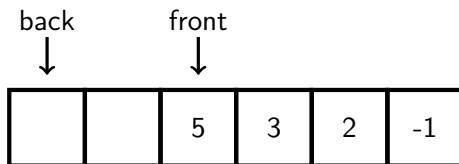


Enfileiramento em vetores



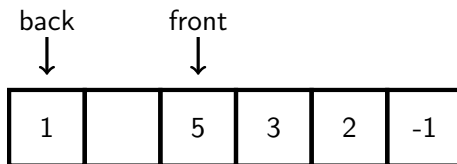


Enfileiramento em vetores





Enfileiramento em vetores





Inserção no final em vetores

- Caso o vetor venha a ficar totalmente preenchido, duplicamos a sua capacidade.
- Contudo, existem dois casos que devemos observar:
 - 1 Índice do início menor que o do fim.
 - 2 Índice do início menor que o do fim.



Inserção no final em vetores

Índice do início menor que o do fim

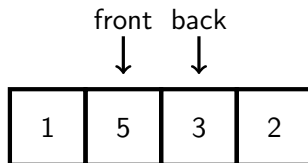
- Só precisamos duplicar a capacidade do vetor.



Inserção no final em vetores

Índice do início menor que o do fim

- Só precisamos duplicar a capacidade do vetor.

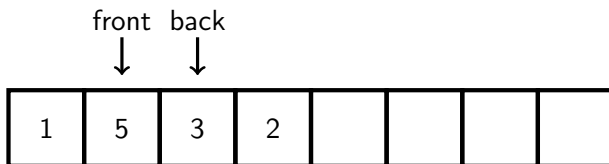




Inserção no final em vetores

Índice do início menor que o do fim

- Só precisamos duplicar a capacidade do vetor.





Inserção no final em vetores

Índice do início maior que o do fim

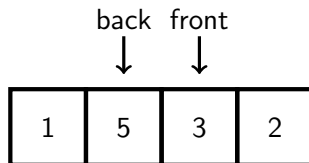
- Para deixar o deque em um estado consistente, devemos copiar todos os elementos que se encontram do início para frente para o final do vetor realocado.



Inserção no final em vetores

Índice do início maior que o do fim

- Para deixar o deque em um estado consistente, devemos copiar todos os elementos que se encontram do início para frente para o final do vetor realocado.

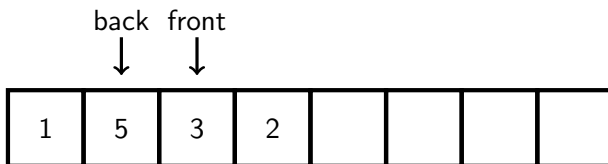




Inserção no final em vetores

Índice do início maior que o do fim

- Para deixar o deque em um estado consistente, devemos copiar todos os elementos que se encontram do início para frente para o final do vetor realocado.

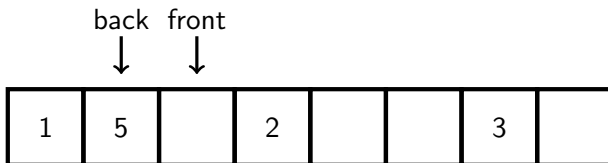




Inserção no final em vetores

Índice do início maior que o do fim

- Para deixar o deque em um estado consistente, devemos copiar todos os elementos que se encontram do início para frente para o final do vetor realocado.

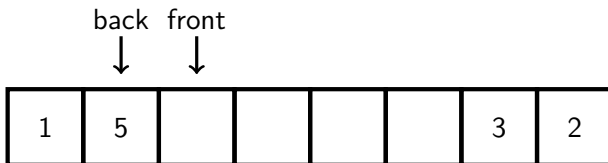




Inserção no final em vetores

Índice do início maior que o do fim

- Para deixar o deque em um estado consistente, devemos copiar todos os elementos que se encontram do início para frente para o final do vetor realocado.

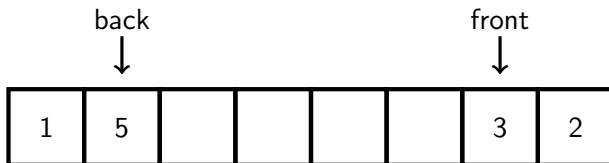




Inserção no final em vetores

Índice do início maior que o do fim

- Para deixar o deque em um estado consistente, devemos copiar todos os elementos que se encontram do início para frente para o final do vetor realocado.





Inserção no final em vetores

- Copiar os elementos ao duplicar o vetor não é uma operação tão custosa ao longo do tempo, pois só fazemos isso cada vez que o vetor está cheio. Isso só ocorre após $\frac{n}{2}$ inserções, logo, o custo é amortizado.



Sumário

2 Vetores Dinâmicos

- Inserção no final
- **Inserção no início**
- Remoção no início
- Remoção no fim

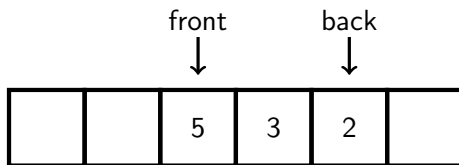


Inserção no início

- A inserção no início é extremamente parecida com a inserção ao final.
- Até nos casos em que o vetor fica cheio.
- A única diferença é que o índice do início é diminuído e o elemento é inserido.
- Caso o índice fosse zero antes da inserção, ele passa a ser igual a capacidade do vetor menos um.

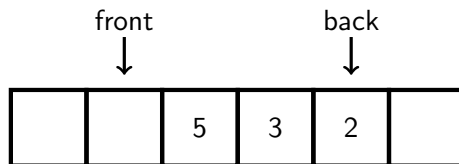


Inserção no início



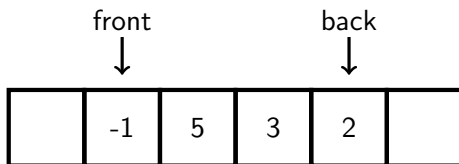


Inserção no início



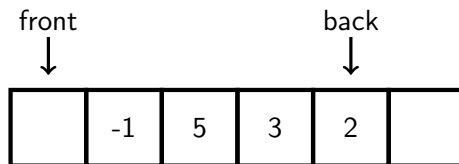


Inserção no início



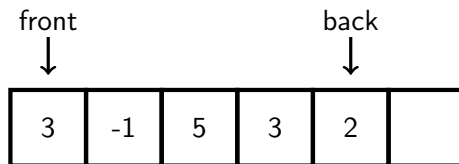


Inserção no início



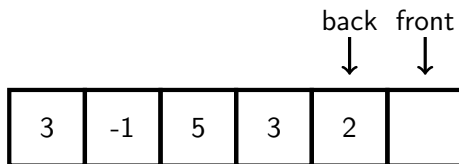


Inserção no início



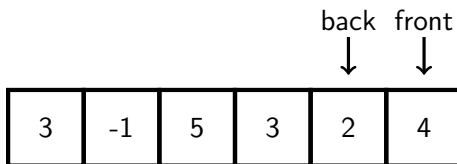


Inserção no início





Inserção no início





Sumário

- 2 Vetores Dinâmicos
 - Inserção no final
 - Inserção no início
 - Remoção no início
 - Remoção no fim

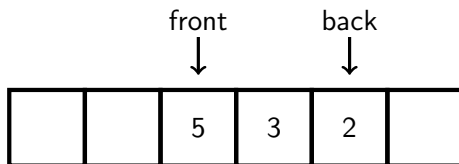


Remoção no início em vetores

- Remover do início consiste em incrementar o índice do início.

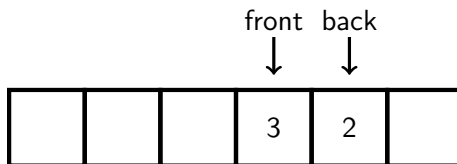


Remoção no início em vetores





Remoção no início em vetores



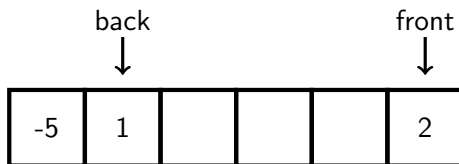


Remoção no início

- Utilizamos a mesma estratégia do enfileiramento: quando o índice do início estiver no final do vetor, damos a volta.



Remoção no início





Remoção no início



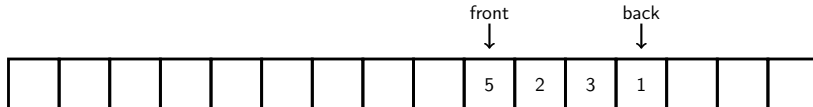


Remoção no início

- Quando a ocupação do vetor está em $\frac{1}{4}$ de sua capacidade, devemos reduzir a sua capacidade pela metade.
- Todos os elementos da fila são movidos para o início do vetor realocado, independente da posição dos índices de início e fim.

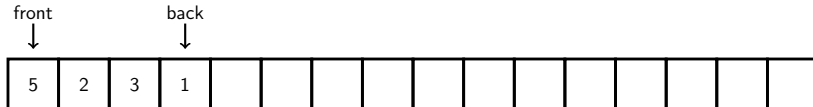


Remoção no início



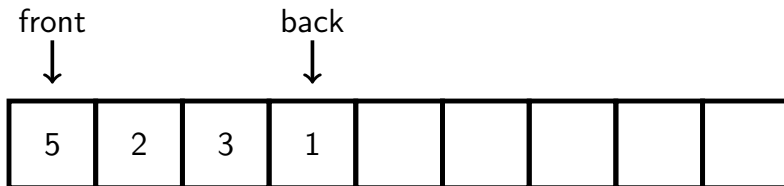


Remoção no início



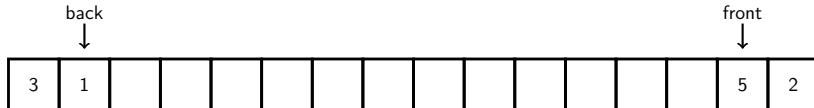


Remoção no início



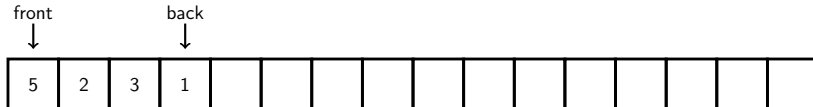


Remoção no início



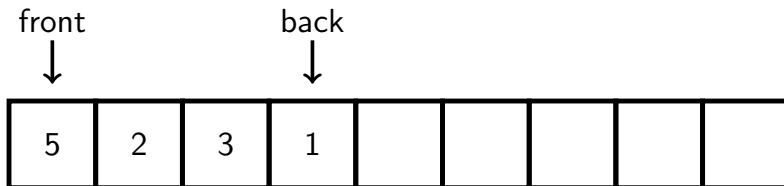


Remoção no início





Remoção no início





Remoção no início

- Copiar os elementos ao reduzir o vetor pela metade não é uma operação tão custosa ao longo do tempo, pois só fazemos isso quando o vetor está a $\frac{1}{4}$ de sua capacidade. Dessa forma, o custo é amortizado.



Sumário

2 Vetores Dinâmicos

- Inserção no final
- Inserção no início
- Remoção no início
- Remoção no fim

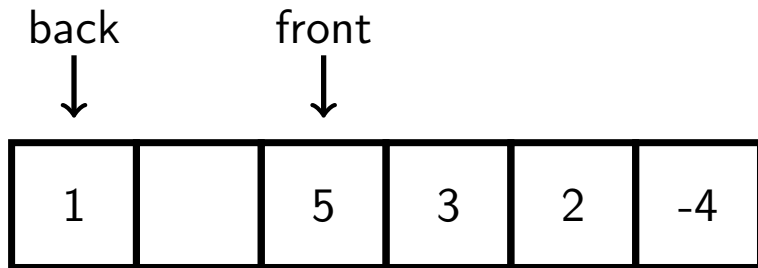


Remoção no fim

- Extremamente similar à remoção no início.
- Até quando é necessário diminuir a capacidade do vetor.
- A diferença é que precisamos incrementar o índice de fim, em vez de decrementar o índice de início.
- Caso o índice de fim chegue ao final do vetor, ele volta para o início.

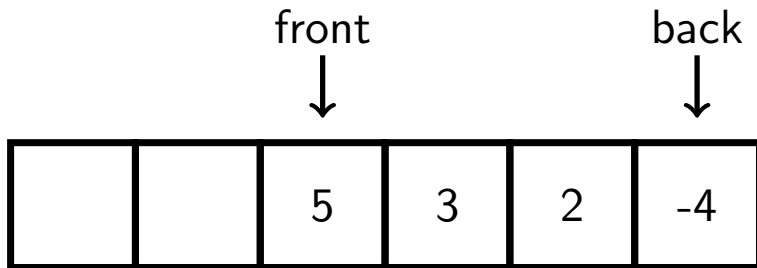


Remoção no início



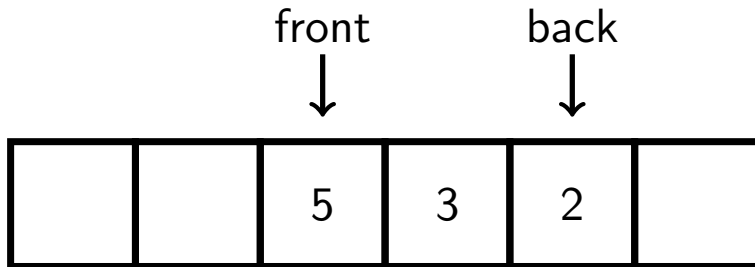


Remoção no início





Remoção no início





Sumário

3 Implementação em vetores



Sumário

3 Implementação em vetores

- Definição
- Inicialização
- Funções auxiliares
- Inserção no final
- Inserção no início
- Remoção no início
- Remoção no final
- Acessar o início
- Acessar o final
- Limpeza
- Análise



Definição

```
7  typedef struct deque_t {  
8      size_t front;  
9      size_t back;  
10     size_t size;  
11     size_t capacity;  
12     int *deque;  
13 } deque_t;
```



Sumário

3 Implementação em vetores

- Definição
- Inicialização
- Funções auxiliares
- Inserção no final
- Inserção no início
- Remoção no início
- Remoção no final
- Acessar o início
- Acessar o final
- Limpeza
- Análise



Inicialização

```
41 void deque_initialize(deque_t **d) {  
42     (*d) = mallocx(sizeof(deque_t));  
43     (*d)->front = 0;  
44     (*d)->back = 3;  
45     (*d)->size = 0;  
46     (*d)->capacity = 4;  
47     (*d)->deque = mallocx(sizeof(int) * 4);  
48 }
```




Sumário

3 Implementação em vetores

- Definição
- Inicialização
- **Funções auxiliares**
- Inserção no final
- Inserção no início
- Remoção no início
- Remoção no final
- Acessar o início
- Acessar o final
- Limpeza
- Análise



Funções auxiliares

```
106 size_t deque_size(deque_t *d) {  
107     return d->size;  
108 }
```



Funções auxiliares

```
110 bool deque_empty(deque_t *d) {  
111     return deque_size(d) == 0;  
112 }
```



Funções auxiliares

```
8 static void deque_expand(deque_t *d) {
9     size_t old_capacity = d->capacity;
10    d->capacity *= 2;
11    d->deque = reallocx(d->deque, sizeof(int) * d->capacity);
12    if (d->front > d->back) {
13        for (size_t i = d->front; i < old_capacity; i++) {
14            d->deque[i + old_capacity] = d->deque[i];
15        }
16        d->front = d->front + old_capacity;
17    }
18 }
```



Funções auxiliares

```
20 static void deque_shrink(deque_t *d) {
21     size_t new_capacity = d->capacity / 2;
22     if (d->front <= d->back) {
23         for (size_t i = d->front, j = 0; i <= d->back; i++, j++) {
24             d->deque[j] = d->deque[i];
25         }
26     } else {
27         size_t front_len = d->capacity - d->front;
28         for (int i = d->back; i >= 0; i--) {
29             d->deque[i + front_len] = d->deque[i];
30         }
31         for (size_t i = d->front, j = 0; i < d->capacity; i++, j++) {
32             d->deque[j] = d->deque[i];
33         }
34     }
35     d->front = 0;
36     d->back = d->size - 1;
37     d->capacity = new_capacity;
38     d->deque = reallocx(d->deque, d->capacity * sizeof(int));
39 }
```



Sumário

3 Implementação em vetores

- Definição
- Inicialização
- Funções auxiliares
- **Inserção no final**
- Inserção no início
- Remoção no início
- Remoção no final
- Acessar o início
- Acessar o final
- Limpeza
- Análise



Inserção ao final

```
56 void deque_push_back(deque_t *d, int data) {  
57     if (d->size == d->capacity) {  
58         deque_expand(d);  
59     }  
60     d->back++;  
61     if (d->back == d->capacity)  
62         d->back = 0;  
63     d->deque[d->back] = data;  
64     d->size++;  
65 }
```



Sumário

3 Implementação em vetores

- Definição
- Inicialização
- Funções auxiliares
- Inserção no final
- **Inserção no início**
- Remoção no início
- Remoção no final
- Acessar o início
- Acessar o final
- Limpeza
- Análise



Inserção no início

```
67 void deque_push_front(deque_t *d, int data) {  
68     if (d->size == d->capacity) {  
69         deque_expand(d);  
70     }  
71     d->front = d->front == 0 ? d->capacity - 1 : d->front - 1;  
72     d->deque[d->front] = data;  
73     d->size++;  
74 }
```



Sumário

3 Implementação em vetores

- Definição
- Inicialização
- Funções auxiliares
- Inserção no final
- Inserção no início
- **Remoção no início**
- Remoção no final
- Acessar o início
- Acessar o final
- Limpeza
- Análise



Remoção no início

```
87 void deque_pop_back(deque_t *d) {  
88     if (d->size == d->capacity / 4 && d->capacity > 4) {  
89         deque_shrink(d);  
90     }  
91     assert(d->size > 0);  
92     d->back = d->back == 0 ? d->capacity - 1 : d->back - 1;  
93     d->size--;  
94 }
```



Sumário

3 Implementação em vetores

- Definição
- Inicialização
- Funções auxiliares
- Inserção no final
- Inserção no início
- Remoção no início
- **Remoção no final**
- Acessar o início
- Acessar o final
- Limpeza
- Análise



Remoção no início

```
76 void deque_pop_front(deque_t *d) {  
77     assert(d->size > 0);  
78     if (d->size == d->capacity / 4 && d->capacity > 4) {  
79         deque_shrink(d);  
80     }  
81     d->front++;  
82     d->size--;  
83     if (d->front == d->capacity)  
84         d->front = 0;  
85 }
```



Sumário

3 Implementação em vetores

- Definição
- Inicialização
- Funções auxiliares
- Inserção no final
- Inserção no início
- Remoção no início
- Remoção no final
- **Acessar o início**
- Acessar o final
- Limpeza
- Análise



Acessar o início

```
96  int deque_front(deque_t *d) {  
97      assert(d->front < d->capacity);  
98      return d->deque[d->front];  
99  }
```



Sumário

3 Implementação em vetores

- Definição
- Inicialização
- Funções auxiliares
- Inserção no final
- Inserção no início
- Remoção no início
- Remoção no final
- Acessar o início
- **Acessar o final**
- Limpeza
- Análise



Acessar o final

```
101 int deque_back(deque_t *d) {  
102     assert(d->front < d->capacity);  
103     return d->deque[d->back];  
104 }
```



Sumário

3 Implementação em vetores

- Definição
- Inicialização
- Funções auxiliares
- Inserção no final
- Inserção no início
- Remoção no início
- Remoção no final
- Acessar o início
- Acessar o final
- **Limpeza**
- Análise



Limpeza

```
50 void deque_delete(deque_t **d) {  
51     free((*d)->deque);  
52     free(*d);  
53     *d = NULL;  
54 }
```



Sumário

3 Implementação em vetores

- Definição
- Inicialização
- Funções auxiliares
- Inserção no final
- Inserção no início
- Remoção no início
- Remoção no final
- Acessar o início
- Acessar o final
- Limpeza
- **Análise**



Deque: análise

Complexidade das Operações

Operação	Complexidade
Inserir no final	$\Theta(1)$ amortizado
Inserir no início	$\Theta(1)$ amortizado
Remover no final	$\Theta(1)$ amortizado
Remover no início	$\Theta(1)$ amortizado
Acessar o início	$\Theta(1)$
Acessar o fim	$\Theta(1)$



Sumário

4 Listas

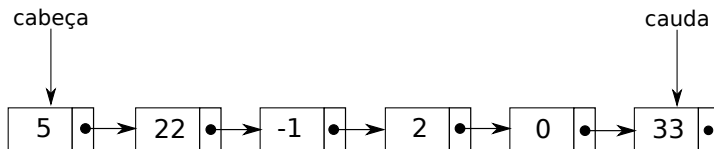


Implementação de deque em listas

- Também podemos utilizar uma lista para implementar um deque.
- Será que uma lista encadeada simples funciona?



Implementação de Deques





Listas Encadeadas: Análise

Operação	Complexidade
Inserção na cabeça	$\Theta(1)$
Inserção na cauda	$\Theta(1)$
Remoção da cabeça	$\Theta(1)$
Remoção da cauda	$\Theta(n)$
Acesso à cabeça	$\Theta(1)$
Acesso à cauda	$\Theta(1)$



Implementação de deque em listas

- Listas encadeadas simples não permitem remoção da cauda em tempo constante.
- Temos que recorrer às listas duplamente encadeadas!

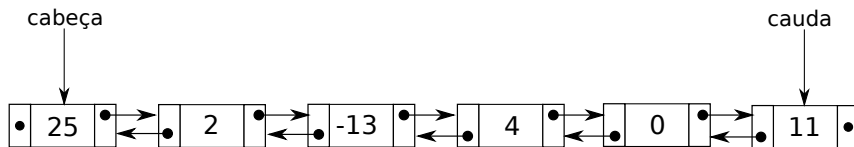


Listas duplamente encadeadas: Análise

Operação	Complexidade
Inserção na cabeça	$\Theta(1)$
Inserção na cauda	$\Theta(1)$
Remoção da cabeça	$\Theta(1)$
Remoção da cauda	$\Theta(1)$
Acesso à cabeça	$\Theta(1)$
Acesso à cauda	$\Theta(1)$



Implementação de Deques





Implementação de Deques

- Listas duplamente encadeadas se mostram uma escolha certa para implementação de Deques!



Implementação de deque em listas

- Inserir ao final: inserção na cauda.
- Inserir no início: inserção na cabeça.
- Remover do final: remoção da cauda.
- Remover do início: remoção da cabeça.
- Acesso no início: acesso à cabeça.
- Acesso no final: acesso à cauda.
- Verificar o tamanho do deque: verificar o tamanho da lista.
- Verificar se o deque está vazio: verificar se a lista é vazia.



Sumário

5 Exemplo



Exemplo de utilização da biblioteca

```
1  #include "alloc.h"
2  #include "deque.h"
3  #include <stdio.h>
4  #include <string.h>
5
6  int main(void) {
7      int i;
8      deque_t *d;
9      deque_initialize(&d);
10     for (i = 0; i < 16; i++) {
11         if (i % 2 == 0) {
12             printf("Inserindo %d na frente do deque\n", i);
13             deque_push_front(d, i);
14         } else {
15             printf("Inserindo %d atras do deque\n", i);
16             deque_push_back(d, i);
17         }
18     }
```




Exemplo de utilização da biblioteca

```
19  i =0;
20  while (!deque_empty(d)) {
21      if (i % 2 == 1) {
22          printf("Retirando %d da frente do deque\n", deque_front(d));
23          deque_pop_front(d);
24      } else {
25          printf("Retirando %d de tras do deque\n", deque_back(d));
26          deque_pop_back(d);
27      }
28      i++;
29  }
30  deque_delete(&d);
31  return 0;
32 }
```