Aula 10

Pilhas, Filas e Listas Biligadas

Programação II, 2018-2019

v1.3, 2019-05-14

DETI, Universidade de Aveiro

Pilhas e filas
- Definições e tipos de dados abstratos
- Implementação em lista ligada
- Implementação em vector

Listas biligadas

Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Sumário

1. **Pilhas e filas**
   - Definições e tipos de dados abstratos
   - Implementação em lista ligada
   - Implementação em vector
2. **Listas biligadas**
3. **Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas**

Sumário

1. **Pilhas e filas**
   - Definições e tipos de dados abstratos
   - Implementação em lista ligada
   - Implementação em vector
2. **Listas biligadas**
3. **Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas**

Pilha: definição

- É uma estrutura de dados sequencial que só pode ser modificada por uma das suas extremidades usualmente denominada como “topo”.
- Estrutura com gestão *LIFO: Last In First Out*;
  - O último elemento a entrar é o primeiro a sair.

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha: definição

- É uma estrutura de dados sequencial que só pode ser modificada por uma das suas extremidades usualmente denominada como “topo”.

- Estrutura com gestão *LIFO: Last In First Out*;
  - O último elemento a entrar é o primeiro a sair.

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha: definição

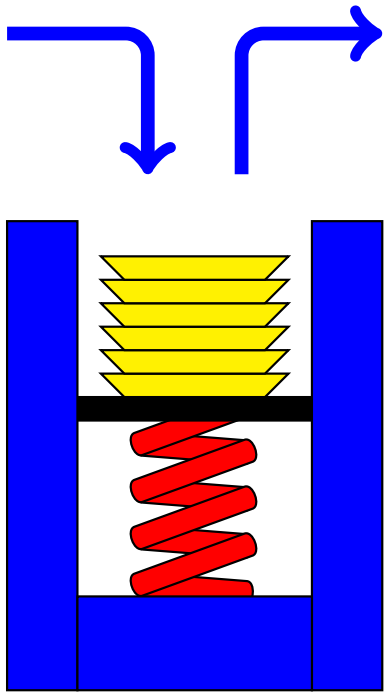
- É uma estrutura de dados sequencial que só pode ser modificada por uma das suas extremidades usualmente denominada como “topo”.

- Estrutura com gestão *LIFO: Last In First Out*;
  - O último elemento a entrar é o primeiro a sair.

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha: definição

- É uma estrutura de dados sequencial que só pode ser modificada por uma das suas extremidades usualmente denominada como “topo”.

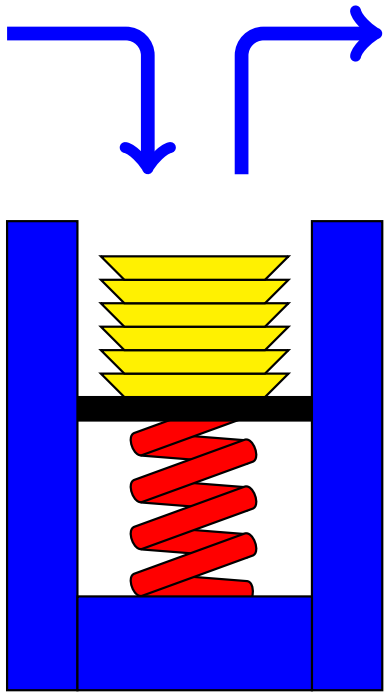


- Estrutura com gestão *LIFO*: *Last In First Out*;
  - O último elemento a entrar é o primeiro a sair.

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha: definição

- É uma estrutura de dados sequencial que só pode ser modificada por uma das suas extremidades usualmente denominada como “topo”.



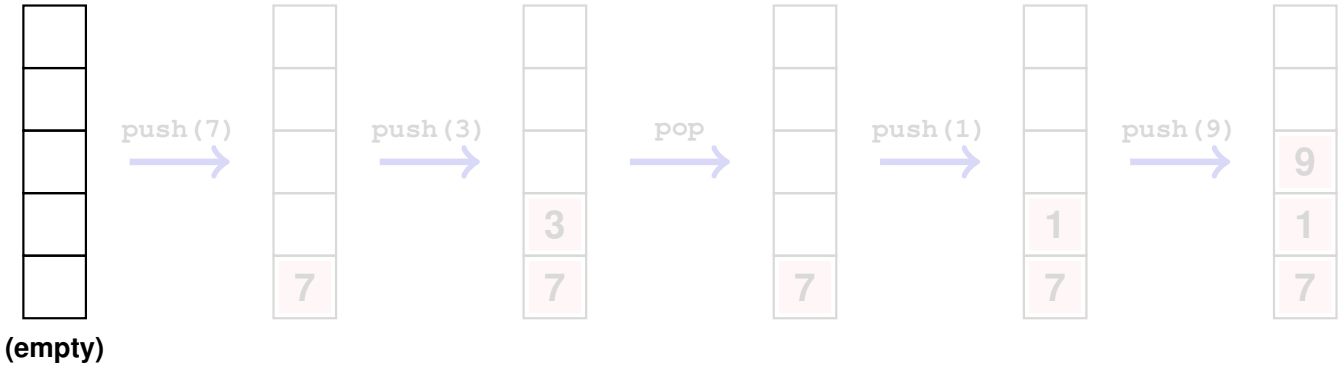
- Estrutura com gestão *LIFO*: *Last In First Out*;
  - O último elemento a entrar é o primeiro a sair.

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha: as operações `push` / `pop`

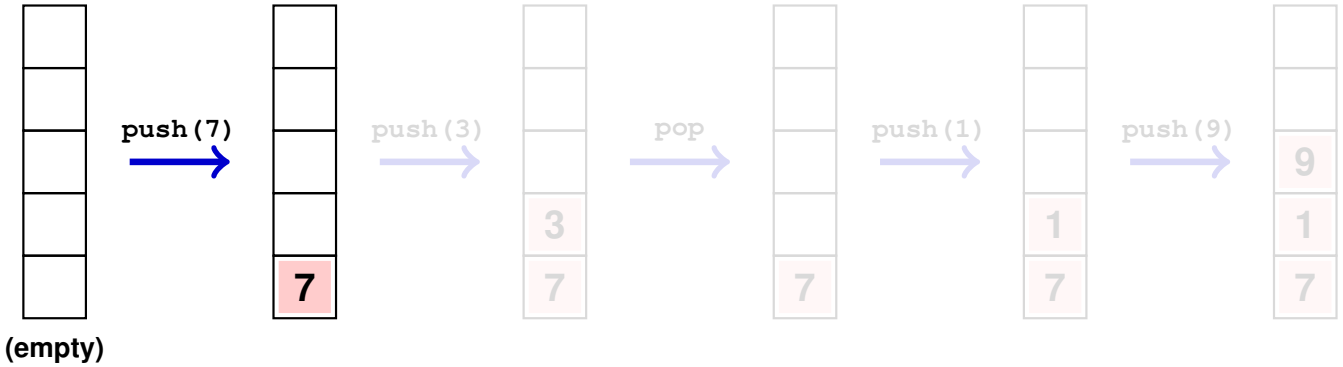
Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha: as operações `push` / `pop`



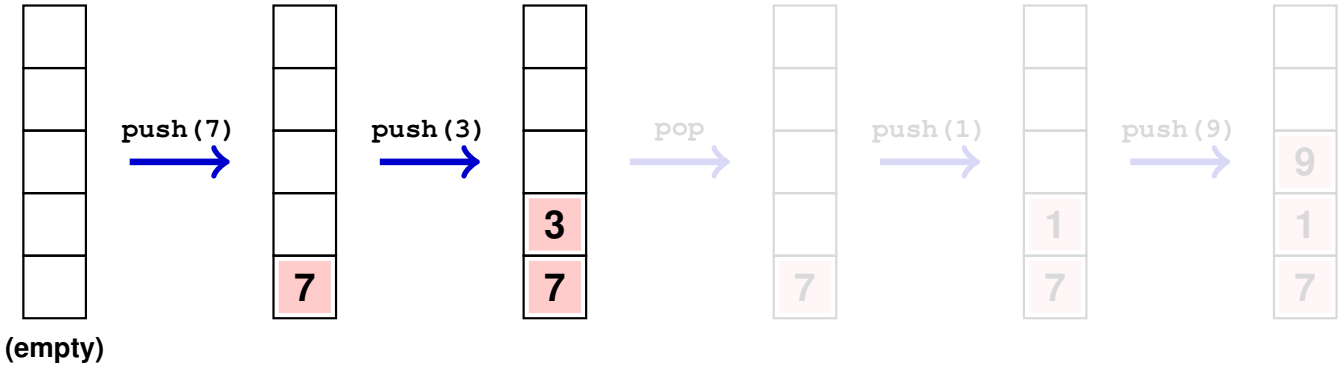
Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha: as operações `push` / `pop`



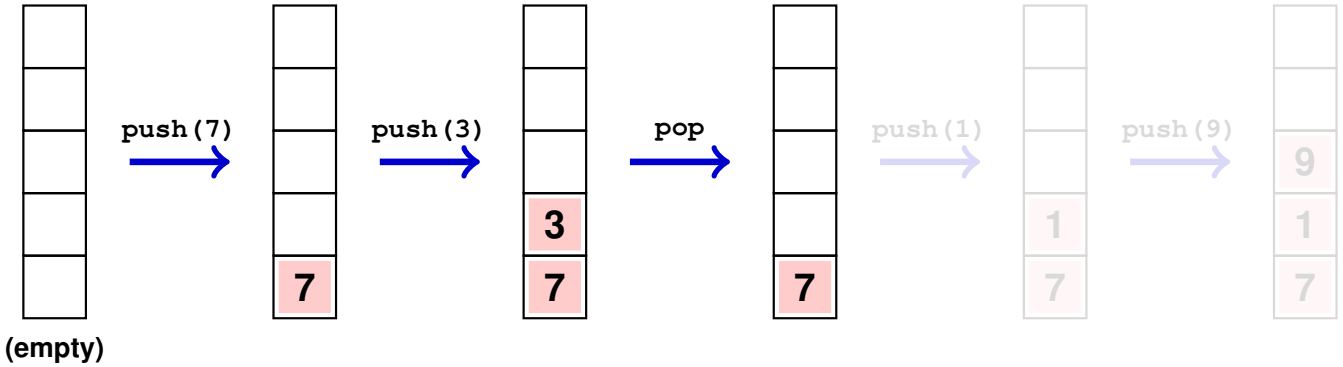
Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha: as operações `push` / `pop`



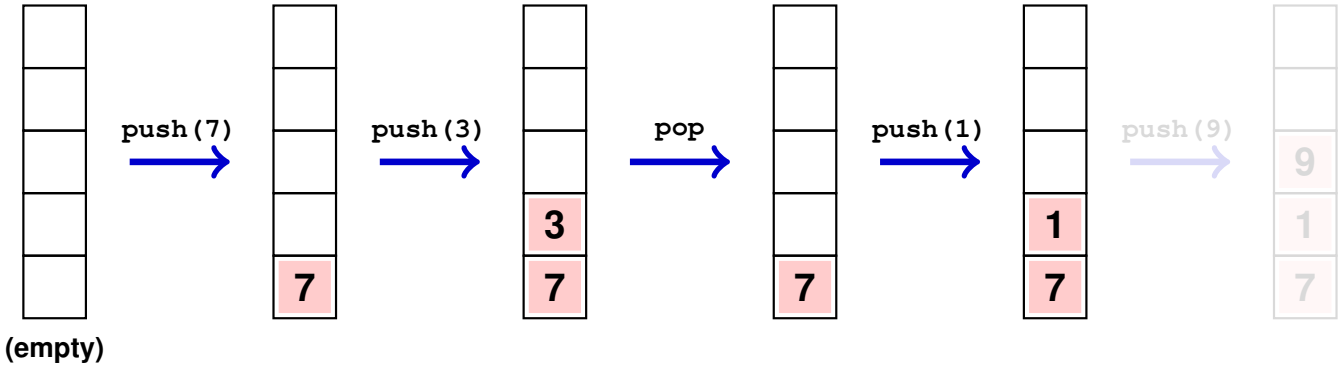
Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha: as operações `push` / `pop`



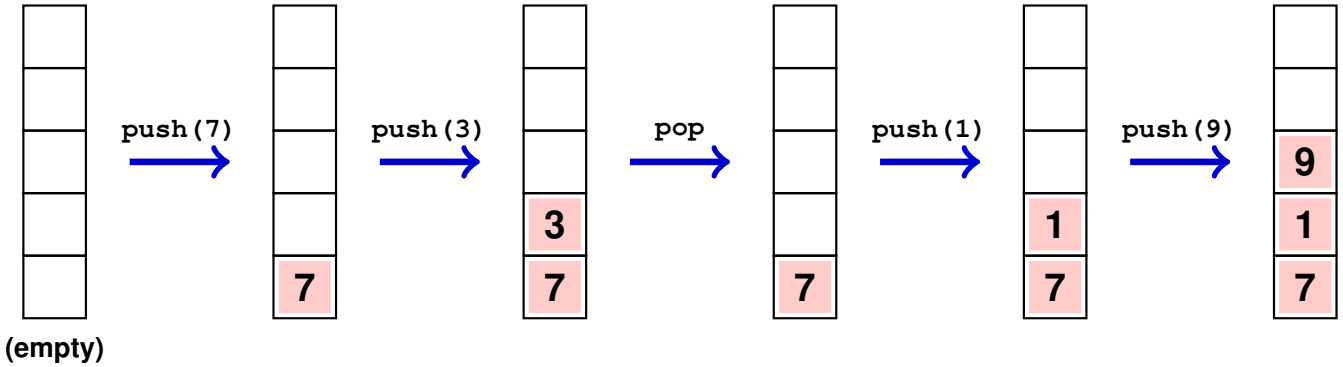
Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha: as operações `push` / `pop`



Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha: as operações `push` / `pop`



Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha: exemplos de utilização

- Armazenamento de contextos de execução de subrotinas.
- Análise e avaliação de expressões matemáticas.
- Travessia *depth-first* de árvores e grafos.
- Detecção de marcas de início/fim em texto formatado. Por exemplo, parênteses ou marcas HTML ou XML.
- ...

Pilha: exemplos de utilização

- Armazenamento de contextos de execução de subrotinas.
- Análise e avaliação de expressões matemáticas.
- Travessia *depth-first* de árvores e grafos.
- Detecção de marcas de início/fim em texto formatado. Por exemplo, parênteses ou marcas HTML ou XML.
- ...

Pilha: exemplos de utilização

- Armazenamento de contextos de execução de subrotinas.
- Análise e avaliação de expressões matemáticas.
- Travessia *depth-first* de árvores e grafos.
- Detecção de marcas de início/fim em texto formatado. Por exemplo, parênteses ou marcas HTML ou XML.
- ...

Pilha: exemplos de utilização

- Armazenamento de contextos de execução de subrotinas.
- Análise e avaliação de expressões matemáticas.
- Travessia *depth-first* de árvores e grafos.
- Detecção de marcas de início/fim em texto formatado. Por exemplo, parênteses ou marcas HTML ou XML.
- ...

Pilha: exemplos de utilização

- Armazenamento de contextos de execução de subrotinas.
- Análise e avaliação de expressões matemáticas.
- Travessia *depth-first* de árvores e grafos.
- Detecção de marcas de início/fim em texto formatado. Por exemplo, parênteses ou marcas HTML ou XML.
- . . .

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha: exemplos de utilização

- Armazenamento de contextos de execução de subrotinas.
- Análise e avaliação de expressões matemáticas.
- Travessia *depth-first* de árvores e grafos.
- Detecção de marcas de início/fim em texto formatado. Por exemplo, parênteses ou marcas HTML ou XML.
- ...

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha: tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - Stack
- Serviços:
  - push: insere (empilha) um elemento no topo da pilha
  - pop: remove (desempilha) o elemento no topo da pilha
  - top: devolve o elemento no topo da pilha
  - isEmpty: verifica se a pilha está vazia
  - isFull: verifica se a pilha está cheia
  - size: retorna a dimensão actual da pilha
  - clear: limpa a pilha (retira todos os elementos)

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha: tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `Stack`
- Serviços:
  - `push`: insere (empilha) um elemento no topo da pilha
  - `pop`: remove (desempilha) o elemento no topo da pilha
  - `top`: devolve o elemento no topo da pilha
  - `isEmpty`: verifica se a pilha está vazia
  - `isFull`: verifica se a pilha está cheia
  - `size`: retorna a dimensão actual da pilha
  - `clear`: limpa a pilha (retira todos os elementos)

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha: tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `Stack`
- Serviços:
  - `push`: insere (empilha) um elemento no topo da pilha
  - `pop`: remove (desempilha) o elemento no topo da pilha
  - `top`: devolve o elemento no topo da pilha
  - `isEmpty`: verifica se a pilha está vazia
  - `isFull`: verifica se a pilha está cheia
  - `size`: retorna a dimensão actual da pilha
  - `clear`: limpa a pilha (retira todos os elementos)

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha: tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `Stack`
- Serviços:
  - `push`: insere (empilha) um elemento no topo da pilha
  - `pop`: remove (desempilha) o elemento no topo da pilha
  - `top`: devolve o elemento no topo da pilha
  - `isEmpty`: verifica se a pilha está vazia
  - `isFull`: verifica se a pilha está cheia
  - `size`: retorna a dimensão actual da pilha
  - `clear`: limpa a pilha (retira todos os elementos)

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha: tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `Stack`
- Serviços:
  - `push`: insere (empilha) um elemento no topo da pilha
  - `pop`: remove (desempilha) o elemento no topo da pilha
  - `top`: devolve o elemento no topo da pilha
  - `isEmpty`: verifica se a pilha está vazia
  - `isFull`: verifica se a pilha está cheia
  - `size`: retorna a dimensão actual da pilha
  - `clear`: limpa a pilha (retira todos os elementos)

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha: tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `Stack`
- Serviços:
  - `push`: insere (empilha) um elemento no topo da pilha
  - `pop`: remove (desempilha) o elemento no topo da pilha
  - `top`: devolve o elemento no topo da pilha
  - `isEmpty`: verifica se a pilha está vazia
  - `isFull`: verifica se a pilha está cheia
  - `size`: retorna a dimensão actual da pilha
  - `clear`: limpa a pilha (retira todos os elementos)

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha: tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `Stack`
- Serviços:
  - `push`: insere (empilha) um elemento no topo da pilha
  - `pop`: remove (desempilha) o elemento no topo da pilha
  - `top`: devolve o elemento no topo da pilha
  - `isEmpty`: verifica se a pilha está vazia
  - `isFull`: verifica se a pilha está cheia
  - `size`: retorna a dimensão actual da pilha
  - `clear`: limpa a pilha (retira todos os elementos)

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha: tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `Stack`
- Serviços:
  - `push`: insere (empilha) um elemento no topo da pilha
  - `pop`: remove (desempilha) o elemento no topo da pilha
  - `top`: devolve o elemento no topo da pilha
  - `isEmpty`: verifica se a pilha está vazia
  - `isFull`: verifica se a pilha está cheia
  - `size`: retorna a dimensão actual da pilha
  - `clear`: limpa a pilha (retira todos os elementos)

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha: tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `Stack`
- Serviços:
  - `push`: insere (empilha) um elemento no topo da pilha
  - `pop`: remove (desempilha) o elemento no topo da pilha
  - `top`: devolve o elemento no topo da pilha
  - `isEmpty`: verifica se a pilha está vazia
  - `isFull`: verifica se a pilha está cheia
  - `size`: retorna a dimensão actual da pilha
  - `clear`: limpa a pilha (retira todos os elementos)

Pilha: tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `Stack`
- Serviços:
  - `push`: insere (empilha) um elemento no topo da pilha
  - `pop`: remove (desempilha) o elemento no topo da pilha
  - `top`: devolve o elemento no topo da pilha
  - `isEmpty`: verifica se a pilha está vazia
  - `isFull`: verifica se a pilha está cheia
  - `size`: retorna a dimensão actual da pilha
  - `clear`: limpa a pilha (retira todos os elementos)

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha: tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `Stack`
- Serviços:
  - `push`: insere (empilha) um elemento no topo da pilha
  - `pop`: remove (desempilha) o elemento no topo da pilha
  - `top`: devolve o elemento no topo da pilha
  - `isEmpty`: verifica se a pilha está vazia
  - `isFull`: verifica se a pilha está cheia
  - `size`: retorna a dimensão actual da pilha
  - `clear`: limpa a pilha (retira todos os elementos)

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha: semântica

- **push(e)**
  - Pré-condição: `!isFull()`
  - Pós-condição: `!isEmpty() && top() == e`
- **pop()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`
  - Pós-condição: `!isFull()`
- **top()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha: semântica

- **push(e)**
  - Pré-condição: `!isFull()`
  - Pós-condição: `!isEmpty() && (top() == e)`
- **pop()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`
  - Pós-condição: `!isFull()`
- **top()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha: semântica

- **push(e)**
  - Pré-condição: `!isFull()`
  - Pós-condição: `!isEmpty() && (top() == e)`
- **pop()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`
  - Pós-condição: `!isFull()`
- **top()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha: semântica

- **push(e)**
  - Pré-condição: `!isFull()`
  - Pós-condição: `!isEmpty() && (top() == e)`
- **pop()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`
  - Pós-condição: `!isFull()`
- **top()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha: semântica

- **push(e)**
  - Pré-condição: `!isFull()`
  - Pós-condição: `!isEmpty() && (top() == e)`
- **pop()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`
  - Pós-condição: `!isFull()`
- **top()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha: semântica

- **push(e)**
  - Pré-condição: `!isFull()`
  - Pós-condição: `!isEmpty() && (top() == e)`
- **pop()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`
  - Pós-condição: `!isFull()`
- **top()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha: semântica

- **push(e)**
  - Pré-condição: `!isFull()`
  - Pós-condição: `!isEmpty() && (top() == e)`
- **pop()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`
  - Pós-condição: `!isFull()`
- **top()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha: semântica

- **push(e)**
  - Pré-condição: `!isFull()`
  - Pós-condição: `!isEmpty() && (top() == e)`
- **pop()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`
  - Pós-condição: `!isFull()`
- **top()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha: semântica

- **push(e)**
  - Pré-condição: `!isFull()`
  - Pós-condição: `!isEmpty() && (top() == e)`
- **pop()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`
  - Pós-condição: `!isFull()`
- **top()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Fila: definição

- É uma estrutura de dados cujo acesso é feito por ambas as extremidades:
  - uma apenas para colocar elementos, e a outra apenas para os retirar.

- Gerida segundo uma política *FIFO* (*First In First Out*)
  - retira-se sempre o valor mais antigo presente.

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Fila: definição

- É uma estrutura de dados cujo acesso é feito por ambas as extremidades:
  - uma apenas para colocar elementos, e a outra apenas para os retirar.

- Gerida segundo uma política *FIFO* (*First In First Out*)
  - o 1º a entrar é sempre o valor mais antigo presente

Fila: definição

- É uma estrutura de dados cujo acesso é feito por ambas as extremidades:
  - uma apenas para colocar elementos, e a outra apenas para os retirar.

- Gerida segundo uma política *FIFO* (*First In First Out*)
  - extrai-se sempre o valor mais antigo presente

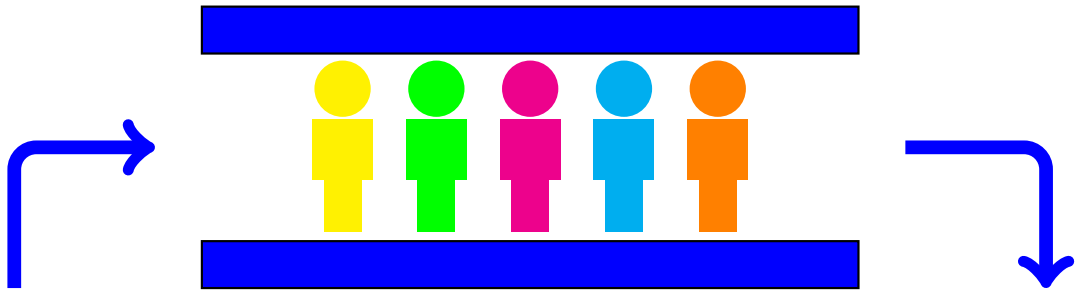
Fila: definição

- É uma estrutura de dados cujo acesso é feito por ambas as extremidades:
  - uma apenas para colocar elementos, e a outra apenas para os retirar.

- Gerida segundo uma política *FIFO* (*First In First Out*)
  - extrai-se sempre o valor mais antigo presente

Fila: definição

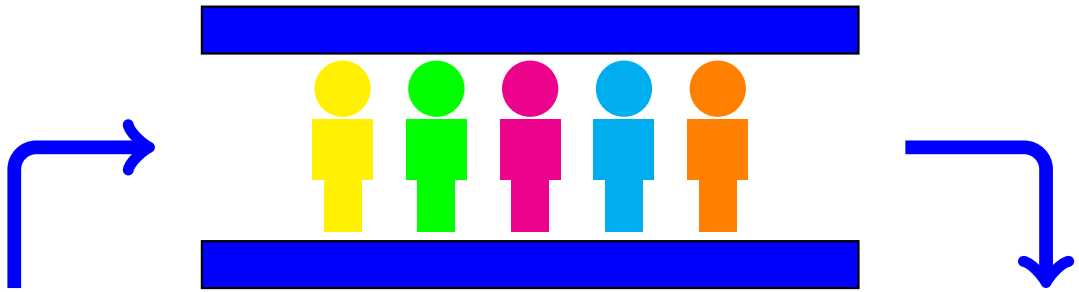
- É uma estrutura de dados cujo acesso é feito por ambas as extremidades:
  - uma apenas para colocar elementos, e a outra apenas para os retirar.



- Gerida segundo uma política *FIFO* (*First In First Out*)
  - o 1º a entrar é sempre o 1º a sair

Fila: definição

- É uma estrutura de dados cujo acesso é feito por ambas as extremidades:
  - uma apenas para colocar elementos, e a outra apenas para os retirar.

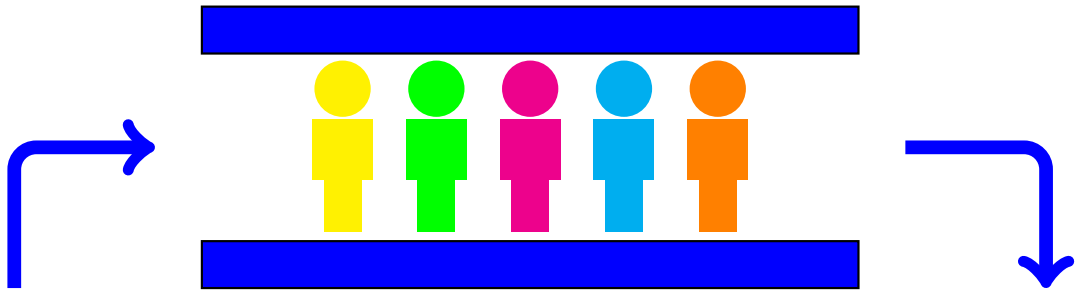


- Gerida segundo uma política *FIFO* (*First In First Out*)
  - extrai-se sempre o valor mais antigo primeiro.

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Fila: definição

- É uma estrutura de dados cujo acesso é feito por ambas as extremidades:
  - uma apenas para colocar elementos, e a outra apenas para os retirar.



- Gerida segundo uma política *FIFO* (*First In First Out*)
  - extrai-se sempre o valor mais antigo primeiro.

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Fila: tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - Queue
- Serviços:
  - put: insere um elemento no fim da fila
  - pull: retira elemento do início da fila
  - peek: retorna o elemento do início da fila
  - isEmpty: verifica se a fila está vazia
  - isFull: verifica se a fila está cheia
  - size: retorna a dimensão actual da fila
  - clear: limpa a fila (retira todos os elementos)

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Fila: tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `Queue`
- Serviços:
  - `in`: insere um elemento no fim da fila
  - `out`: retira elemento do início da fila
  - `peek`: retorna o elemento do inicio da fila
  - `isEmpty`: verifica se a fila está vazia
  - `isFull`: verifica se a fila está cheia
  - `size`: retorna a dimensão actual da fila
  - `clear`: limpa a fila (retira todos os elementos)

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Fila: tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `Queue`
- Serviços:
  - `in`: insere um elemento no fim da fila
  - `out`: retira elemento do início da fila
  - `peek`: retorna o elemento do inicio da fila
  - `isEmpty`: verifica se a fila está vazia
  - `isFull`: verifica se a fila está cheia
  - `size`: retorna a dimensão actual da fila
  - `clear`: limpa a fila (retira todos os elementos)

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Fila: tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `Queue`
- Serviços:
  - `in`: insere um elemento no fim da fila
  - `out`: retira elemento do início da fila
  - `peek`: retorna o elemento do inicio da fila
  - `isEmpty`: verifica se a fila está vazia
  - `isFull`: verifica se a fila está cheia
  - `size`: retorna a dimensão actual da fila
  - `clear`: limpa a fila (retira todos os elementos)

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Fila: tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `Queue`
- Serviços:
  - `in`: insere um elemento no fim da fila
  - `out`: retira elemento do início da fila
  - `peek`: retorna o elemento do inicio da fila
  - `isEmpty`: verifica se a fila está vazia
  - `isFull`: verifica se a fila está cheia
  - `size`: retorna a dimensão actual da fila
  - `clear`: limpa a fila (retira todos os elementos)

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Fila: tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `Queue`
- Serviços:
  - `in`: insere um elemento no fim da fila
  - `out`: retira elemento do início da fila
  - `peek`: retorna o elemento do inicio da fila
  - `isEmpty`: verifica se a fila está vazia
  - `isFull`: verifica se a fila está cheia
  - `size`: retorna a dimensão actual da fila
  - `clear`: limpa a fila (retira todos os elementos)

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Fila: tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `Queue`
- Serviços:
  - `in`: insere um elemento no fim da fila
  - `out`: retira elemento do início da fila
  - `peek`: retorna o elemento do inicio da fila
  - `isEmpty`: verifica se a fila está vazia
  - `isFull`: verifica se a fila está cheia
  - `size`: retorna a dimensão actual da fila
  - `clear`: limpa a fila (retira todos os elementos)

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Fila: tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `Queue`
- Serviços:
  - `in`: insere um elemento no fim da fila
  - `out`: retira elemento do início da fila
  - `peek`: retorna o elemento do inicio da fila
  - `isEmpty`: verifica se a fila está vazia
  - `isFull`: verifica se a fila está cheia
  - `size`: retorna a dimensão actual da fila
  - `clear`: limpa a fila (retira todos os elementos)

Fila: tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `Queue`
- Serviços:
  - `in`: insere um elemento no fim da fila
  - `out`: retira elemento do início da fila
  - `peek`: retorna o elemento do inicio da fila
  - `isEmpty`: verifica se a fila está vazia
  - `isFull`: verifica se a fila está cheia
  - `size`: retorna a dimensão actual da fila
  - `clear`: limpa a fila (retira todos os elementos)

Fila: tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `Queue`
- Serviços:
  - `in`: insere um elemento no fim da fila
  - `out`: retira elemento do início da fila
  - `peek`: retorna o elemento do inicio da fila
  - `isEmpty`: verifica se a fila está vazia
  - `isFull`: verifica se a fila está cheia
  - `size`: retorna a dimensão actual da fila
  - `clear`: limpa a fila (retira todos os elementos)

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Fila: tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `Queue`
- Serviços:
  - `in`: insere um elemento no fim da fila
  - `out`: retira elemento do início da fila
  - `peek`: retorna o elemento do inicio da fila
  - `isEmpty`: verifica se a fila está vazia
  - `isFull`: verifica se a fila está cheia
  - `size`: retorna a dimensão actual da fila
  - `clear`: limpa a fila (retira todos os elementos)

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Fila: semântica

- in(v)
  - Pré-condição: !s.isFull()
  - Pós-condição: !s.isEmpty()
- out()
  - Pré-condição: !s.isEmpty()
  - Pós-condição: !s.isFull()
- peek()
  - Pré-condição: !s.isEmpty()

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Fila: semântica

- **in(v)**
  - Pré-condição: `!isFull()`
  - Pós-condição: `!isEmpty()`
- **out()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`
  - Pós-condição: `!isFull()`
- **peek()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Fila: semântica

- **in(v)**
  - Pré-condição: `!isFull()`
  - Pós-condição: `!isEmpty()`
- **out()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`
  - Pós-condição: `!isFull()`
- **peek()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Fila: semântica

- **in(v)**
  - Pré-condição: `!isFull()`
  - Pós-condição: `!isEmpty()`
- **out()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`
  - Pós-condição: `!isFull()`
- **peek()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Fila: semântica

- **in(v)**
  - Pré-condição: `!isFull()`
  - Pós-condição: `!isEmpty()`
- **out()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`
  - Pós-condição: `!isFull()`
- **peek()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Fila: semântica

- **in(v)**
  - Pré-condição: `!isFull()`
  - Pós-condição: `!isEmpty()`
- **out()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`
  - Pós-condição: `!isFull()`
- **peek()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Fila: semântica

- **in(v)**
  - Pré-condição: `!isFull()`
  - Pós-condição: `!isEmpty()`
- **out()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`
  - Pós-condição: `!isFull()`
- **peek()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Fila: semântica

- **in(v)**
  - Pré-condição: `!isFull()`
  - Pós-condição: `!isEmpty()`
- **out()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`
  - Pós-condição: `!isFull()`
- **peek()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Fila: semântica

- **in(v)**
  - Pré-condição: `!isFull()`
  - Pós-condição: `!isEmpty()`
- **out()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`
  - Pós-condição: `!isFull()`
- **peek()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Implementação em lista ligada

- Numa aula anterior, estudámos as listas ligadas.
- Comparando com os vectores, vimos que:
  - A grande vantagem das listas ligadas é serem estruturas de dados dinâmicas, portanto sem limitação na sua capacidade.
  - A grande desvantagem das listas ligadas é não facilitarem o acesso direto a cada elemento.
- No caso particular das pilhas e das filas:
  - Pode ser difícil prever o número de elementos.
  - Não há necessidade de aceder a elementos abaixo do topo da pilha.
  - Não há necessidade de aceder a elementos no meio da fila.
- Assim, em geral, a implementação de pilhas e filas em lista ligada é vantajosa, quando comparada com a implementação em vector.

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Implementação em lista ligada

- Numa aula anterior, estudámos as listas ligadas.
- Comparando com os vectores, vimos que:
  - A grande vantagem das listas ligadas é serem estruturas de dados dinâmicas, portanto sem limitação na sua capacidade.
  - A grande desvantagem das listas ligadas é não facilitarem o acesso direto a cada elemento.
- No caso particular das pilhas e das filas:
  - Pode ser difícil prever o número de elementos.
  - Não há necessidade de aceder a elementos abaixo do topo da pilha.
  - Não há necessidade de aceder a elementos no meio da fila.
- Assim, em geral, a implementação de pilhas e filas em lista ligada é vantajosa, quando comparada com a implementação em vector.

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Implementação em lista ligada

- Numa aula anterior, estudámos as listas ligadas.
- Comparando com os vectores, vimos que:
  - A grande vantagem das listas ligadas é serem estruturas de dados dinâmicas, portanto sem limitação na sua capacidade.
  - A grande desvantagem das listas ligadas é não facilitarem o acesso direto a cada elemento.
- No caso particular das pilhas e das filas:
  - Pode ser difícil prever o número de elementos.
  - Não há necessidade de aceder a elementos abaixo do topo da pilha.
  - Não há necessidade de aceder a elementos no meio da fila.
- Assim, em geral, a implementação de pilhas e filas em lista ligada é vantajosa, quando comparada com a implementação em vector.

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Implementação em lista ligada

- Numa aula anterior, estudámos as listas ligadas.
- Comparando com os vectores, vimos que:
  - A grande vantagem das listas ligadas é serem estruturas de dados dinâmicas, portanto sem limitação na sua capacidade.
  - A grande desvantagem das listas ligadas é não facilitarem o acesso direto a cada elemento.
- No caso particular das pilhas e das filas:
  - Pode ser difícil prever o número de elementos.
  - Não há necessidade de aceder a elementos abaixo do topo da pilha.
  - Não há necessidade de aceder a elementos no meio da fila.
- Assim, em geral, a implementação de pilhas e filas em lista ligada é vantajosa, quando comparada com a implementação em vector.

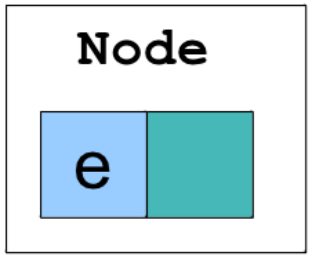
Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Implementação em lista ligada

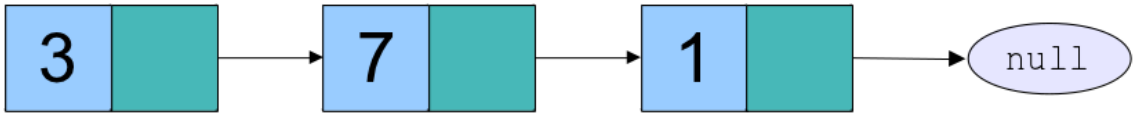
- Numa aula anterior, estudámos as listas ligadas.
- Comparando com os vectores, vimos que:
  - A grande vantagem das listas ligadas é serem estruturas de dados dinâmicas, portanto sem limitação na sua capacidade.
  - A grande desvantagem das listas ligadas é não facilitarem o acesso direto a cada elemento.
- No caso particular das pilhas e das filas:
  - Pode ser difícil prever o número de elementos.
  - Não há necessidade de aceder a elementos abaixo do topo da pilha.
  - Não há necessidade de aceder a elementos no meio da fila.
- Assim, em geral, a implementação de pilhas e filas em lista ligada é vantajosa, quando comparada com a implementação em vector.

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Relembrando: lista ligada simples



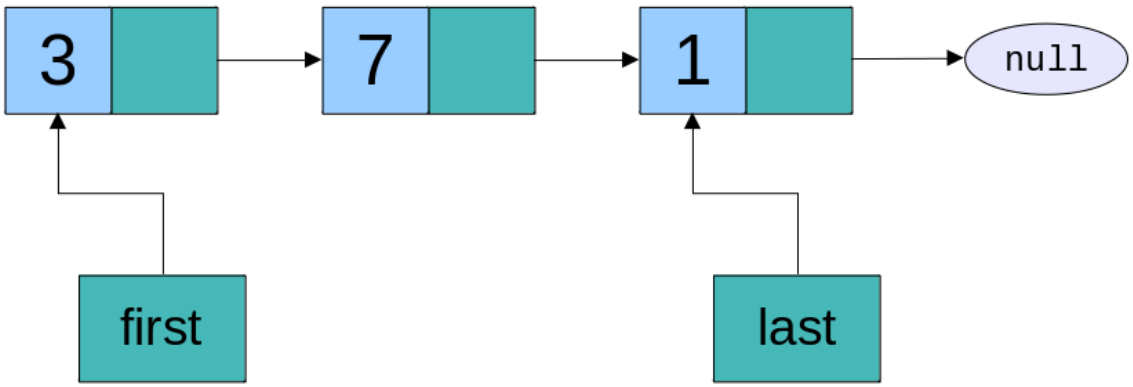

```
class Node
{
  int e;
  Node next;
}
```



Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Relembrando: lista ligada com dupla entrada

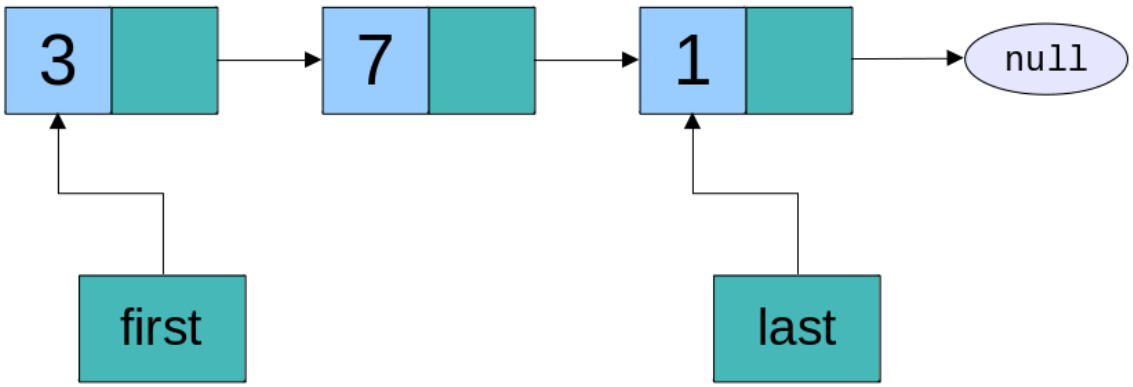
- A lista possui acesso direto ao primeiro e último elementos.
- É simples acrescentar elementos no início e no fim da lista.
- É simples remover elementos do início da lista.



Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Relembrando: lista ligada com dupla entrada

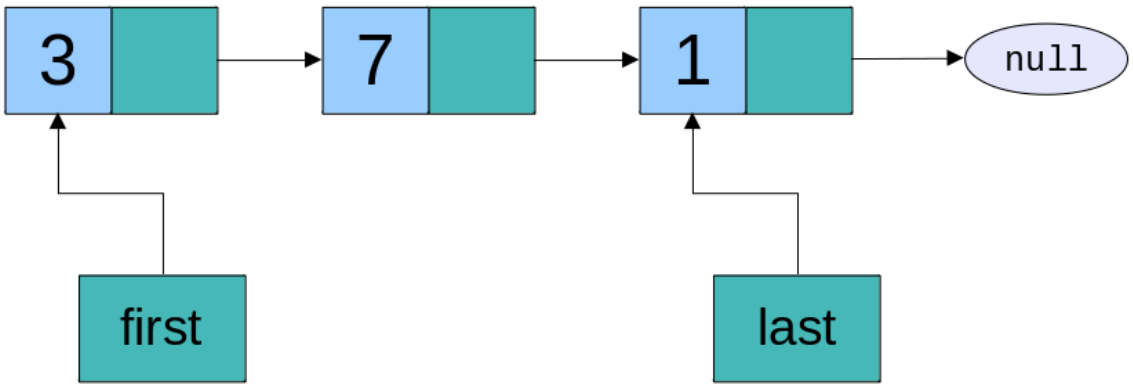
- A lista possui acesso direto ao primeiro e último elementos.
- É simples acrescentar elementos no início e no fim da lista.
- É simples remover elementos do início da lista.



Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Relembrando: lista ligada com dupla entrada

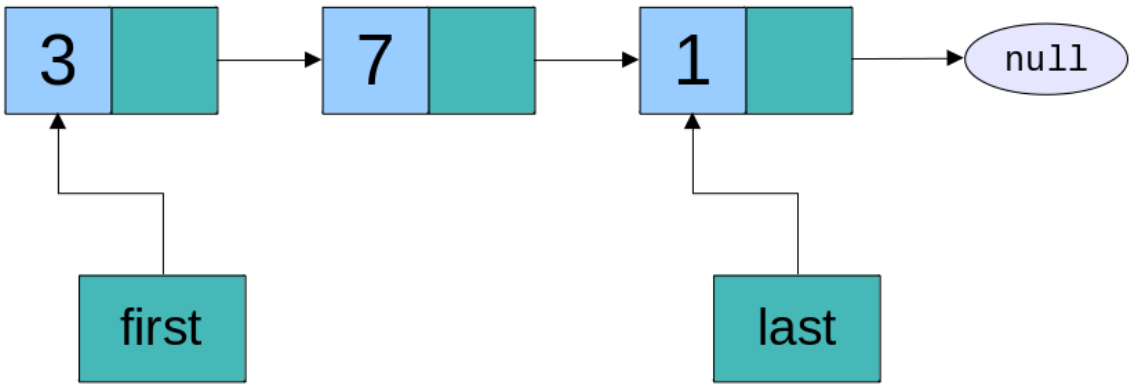
- A lista possui acesso direto ao primeiro e último elementos.
- É simples acrescentar elementos no início e no fim da lista.
- É simples remover elementos do início da lista.



Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Relembrando: lista ligada com dupla entrada

- A lista possui acesso direto ao primeiro e último elementos.
- É simples acrescentar elementos no início e no fim da lista.
- É simples remover elementos do início da lista.



Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Relembrando: lista ligada - tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `LinkedList`
- Serviços:
  - `addFirst`: insere um elemento no início da lista
  - `addLast`: insere um elemento no fim da lista
  - `first`: retorna o primeiro elemento da lista
  - `last`: retorna o último elemento lista
  - `removeFirst`: retira o elemento no início da lista
  - `size`: retorna a dimensão actual da lista
  - `isEmpty`: verifica se a lista esta vazia
  - `clear`: limpa a lista (remove todos os elementos)

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Relembrando: lista ligada - tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `LinkedList`
- Serviços:
  - `addFirst`: insere um elemento no início da lista
  - `addLast`: insere um elemento no fim da lista
  - `first`: retorna o primeiro elemento da lista
  - `last`: retorna o último elemento lista
  - `removeFirst`: retira o elemento no início da lista
  - `size`: retorna a dimensão actual da lista
  - `isEmpty`: verifica se a lista está vazia
  - `clear`: limpa a lista (remove todos os elementos)

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Relembrando: lista ligada - tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `LinkedList`
- Serviços:
  - `addFirst`: insere um elemento no início da lista
  - `addLast`: insere um elemento no fim da lista
  - `first`: retorna o primeiro elemento da lista
  - `last`: retorna o último elemento lista
  - `removeFirst`: retira o elemento no início da lista
  - `size`: retorna a dimensão actual da lista
  - `isEmpty`: verifica se a lista está vazia
  - `clear`: limpa a lista (remove todos os elementos)

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Relembrando: lista ligada - tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `LinkedList`
- Serviços:
  - `addFirst`: insere um elemento no início da lista
  - `addLast`: insere um elemento no fim da lista
  - `first`: retorna o primeiro elemento da lista
  - `last`: retorna o último elemento lista
  - `removeFirst`: retira o elemento no início da lista
  - `size`: retorna a dimensão actual da lista
  - `isEmpty`: verifica se a lista está vazia
  - `clear`: limpa a lista (remove todos os elementos)

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Relembrando: lista ligada - tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `LinkedList`
- Serviços:
  - `addFirst`: insere um elemento no início da lista
  - `addLast`: insere um elemento no fim da lista
  - `first`: retorna o primeiro elemento da lista
  - `last`: retorna o último elemento lista
  - `removeFirst`: retira o elemento no início da lista
  - `size`: retorna a dimensão actual da lista
  - `isEmpty`: verifica se a lista está vazia
  - `clear`: limpa a lista (remove todos os elementos)

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Relembrando: lista ligada - tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `LinkedList`
- Serviços:
  - `addFirst`: insere um elemento no início da lista
  - `addLast`: insere um elemento no fim da lista
  - `first`: retorna o primeiro elemento da lista
  - `last`: retorna o último elemento lista
  - `removeFirst`: retira o elemento no início da lista
  - `size`: retorna a dimensão actual da lista
  - `isEmpty`: verifica se a lista está vazia
  - `clear`: limpa a lista (remove todos os elementos)

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Relembrando: lista ligada - tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `LinkedList`
- Serviços:
  - `addFirst`: insere um elemento no início da lista
  - `addLast`: insere um elemento no fim da lista
  - `first`: retorna o primeiro elemento da lista
  - `last`: retorna o último elemento lista
  - `removeFirst`: retira o elemento no início da lista
  - `size`: retorna a dimensão actual da lista
  - `isEmpty`: verifica se a lista está vazia
  - `clear`: limpa a lista (remove todos os elementos)

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Relembrando: lista ligada - tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `LinkedList`
- Serviços:
  - `addFirst`: insere um elemento no início da lista
  - `addLast`: insere um elemento no fim da lista
  - `first`: retorna o primeiro elemento da lista
  - `last`: retorna o último elemento lista
  - `removeFirst`: retira o elemento no início da lista
  - `size`: retorna a dimensão actual da lista
  - `isEmpty`: verifica se a lista está vazia
  - `clear`: limpa a lista (remove todos os elementos)

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Relembrando: lista ligada - tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `LinkedList`
- Serviços:
  - `addFirst`: insere um elemento no início da lista
  - `addLast`: insere um elemento no fim da lista
  - `first`: retorna o primeiro elemento da lista
  - `last`: retorna o último elemento lista
  - `removeFirst`: retira o elemento no início da lista
  - `size`: retorna a dimensão actual da lista
  - `isEmpty`: verifica se a lista está vazia
  - `clear`: limpa a lista (remove todos os elementos)

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Relembrando: lista ligada - tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `LinkedList`
- Serviços:
  - `addFirst`: insere um elemento no início da lista
  - `addLast`: insere um elemento no fim da lista
  - `first`: retorna o primeiro elemento da lista
  - `last`: retorna o último elemento lista
  - `removeFirst`: retira o elemento no início da lista
  - `size`: retorna a dimensão actual da lista
  - `isEmpty`: verifica se a lista está vazia
  - `clear`: limpa a lista (remove todos os elementos)

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Relembrando: lista ligada - tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `LinkedList`
- Serviços:
  - `addFirst`: insere um elemento no início da lista
  - `addLast`: insere um elemento no fim da lista
  - `first`: retorna o primeiro elemento da lista
  - `last`: retorna o último elemento lista
  - `removeFirst`: retira o elemento no início da lista
  - `size`: retorna a dimensão actual da lista
  - `isEmpty`: verifica se a lista está vazia
  - `clear`: limpa a lista (remove todos os elementos)

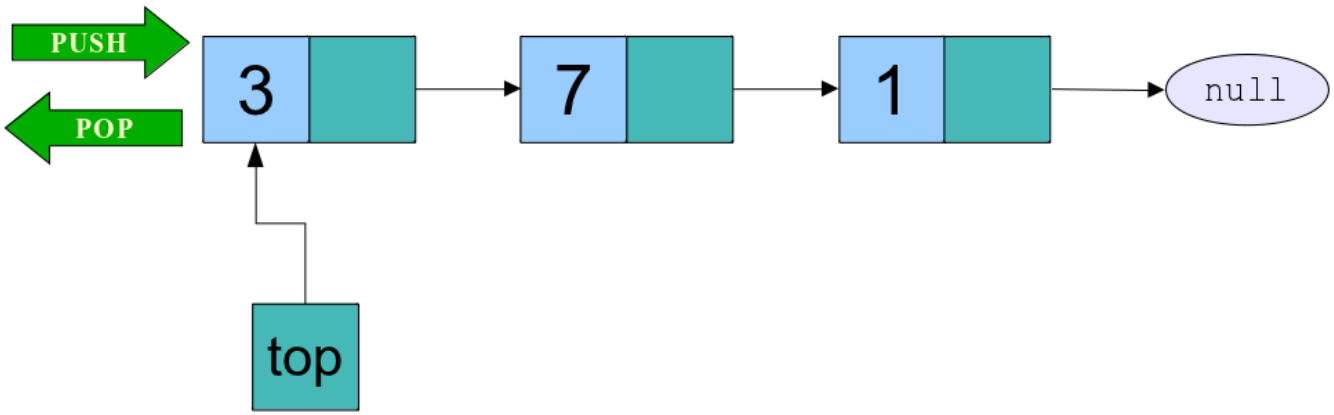
Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Relembrando: lista ligada - tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `LinkedList`
- Serviços:
  - `addFirst`: insere um elemento no início da lista
  - `addLast`: insere um elemento no fim da lista
  - `first`: retorna o primeiro elemento da lista
  - `last`: retorna o último elemento lista
  - `removeFirst`: retira o elemento no início da lista
  - `size`: retorna a dimensão actual da lista
  - `isEmpty`: verifica se a lista está vazia
  - `clear`: limpa a lista (remove todos os elementos)

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

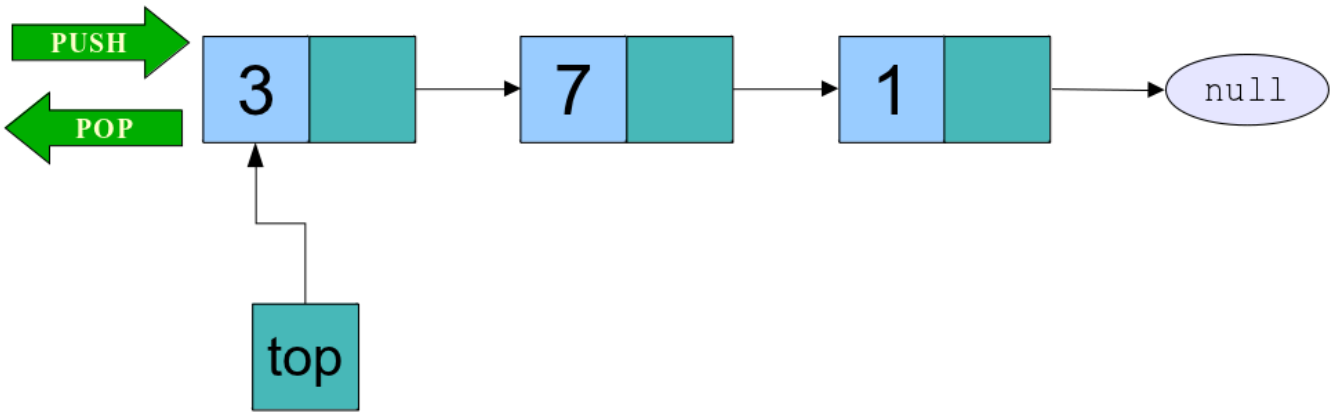
Pilha: implementação em lista ligada



Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha: implementação em lista ligada

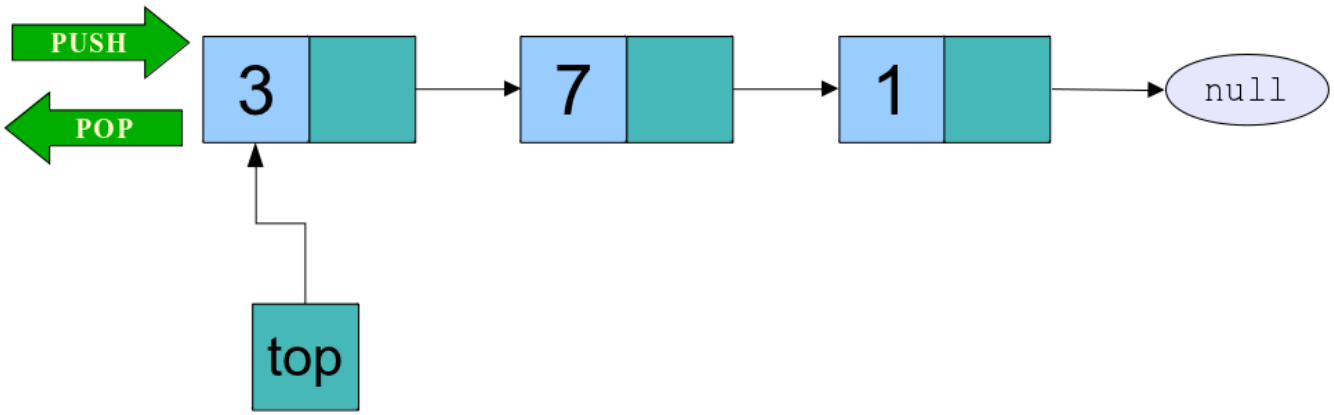
- Usa uma gestão *LIFO* (*Last In First Out*)
- O último elemento empilhado (`top`) é o primeiro a desempilhar.
  - Método `push` corresponde a `addFirst` da lista ligada.
  - Método `pop` corresponde a `removeFirst` da lista ligada.
- O elemento no topo da pilha fica armazenado no primeiro nó da lista.
- O elemento na base da pilha fica armazenado no último nó da lista.



Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha: implementação em lista ligada

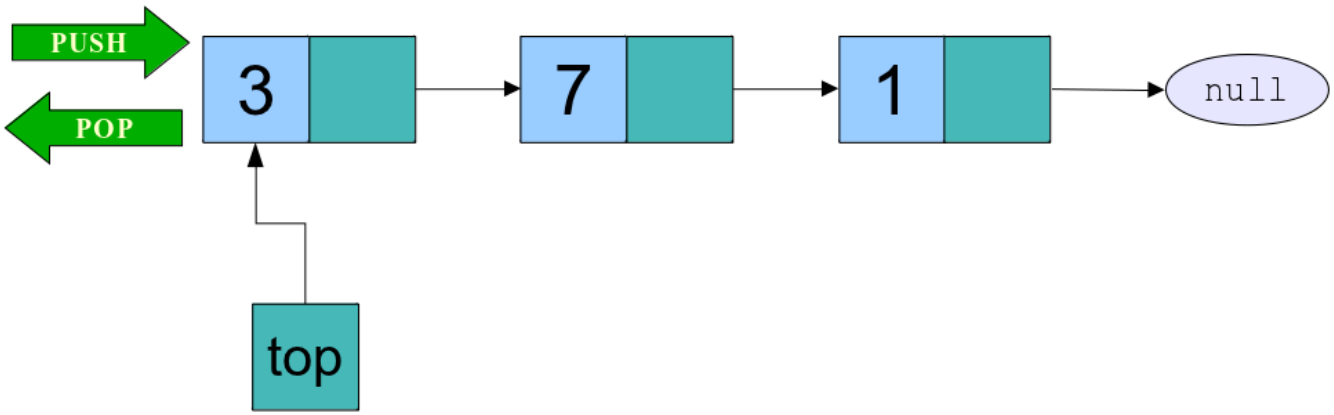
- Usa uma gestão *LIFO* (*Last In First Out*)
- O último elemento empilhado (`top`) é o primeiro a desempilhar.
  - Método `push` corresponde a `addFirst` da lista ligada.
  - Método `pop` corresponde a `removeFirst` da lista ligada.
- O elemento no topo da pilha fica armazenado no primeiro nó da lista.
- O elemento na base da pilha fica armazenado no último nó da lista.



Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha: implementação em lista ligada

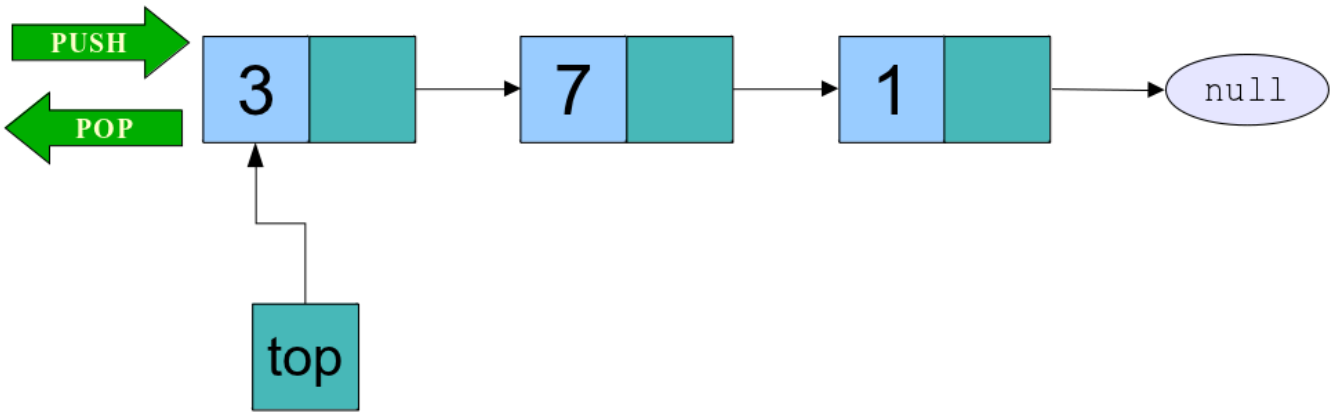
- Usa uma gestão *LIFO* (*Last In First Out*)
- O último elemento empilhado (`top`) é o primeiro a desempilhar.
  - Método `push` corresponde a `addFirst` da lista ligada.
  - Método `pop` corresponde a `removeFirst` da lista ligada.
- O elemento no topo da pilha fica armazenado no primeiro nó da lista.
- O elemento na base da pilha fica armazenado no último nó da lista.



Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha: implementação em lista ligada

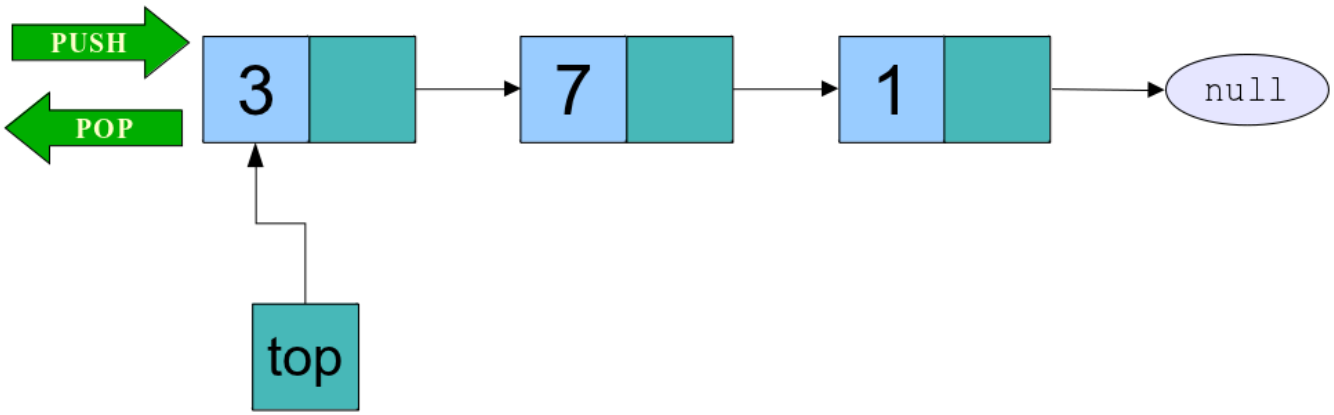
- Usa uma gestão *LIFO* (*Last In First Out*)
- O último elemento empilhado (`top`) é o primeiro a desempilhar.
  - Método `push` corresponde a `addFirst` da lista ligada.
  - Método `pop` corresponde a `removeFirst` da lista ligada.
- O elemento no topo da pilha fica armazenado no primeiro nó da lista.
- O elemento na base da pilha fica armazenado no último nó da lista.



Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha: implementação em lista ligada

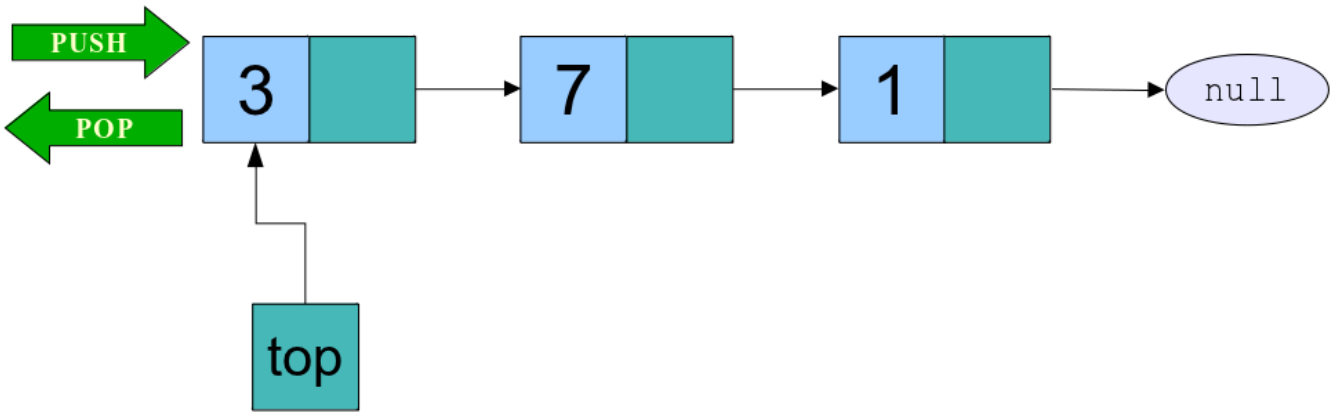
- Usa uma gestão *LIFO* (*Last In First Out*)
- O último elemento empilhado (`top`) é o primeiro a desempilhar.
  - Método `push` corresponde a `addFirst` da lista ligada.
  - Método `pop` corresponde a `removeFirst` da lista ligada.
- O elemento no topo da pilha fica armazenado no primeiro nó da lista.
- O elemento na base da pilha fica armazenado no último nó da lista.



Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha: implementação em lista ligada

- Usa uma gestão *LIFO* (*Last In First Out*)
- O último elemento empilhado (`top`) é o primeiro a desempilhar.
  - Método `push` corresponde a `addFirst` da lista ligada.
  - Método `pop` corresponde a `removeFirst` da lista ligada.
- O elemento no topo da pilha fica armazenado no primeiro nó da lista.
- O elemento na base da pilha fica armazenado no último nó da lista.



Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha genérica: implementação em lista ligada

```
public class Stack<E> {

   private LinkedList<E> list = new LinkedList<E>();

   public void push(E element) {
      list.addFirst(element);
   }

   public E top() {
      return list.first();
   }

   public void pop() {
      list.removeFirst();
   }

   public int size() {
      return list.size();
   }

   public boolean isEmpty() {
      return list.isEmpty();
   }

}
```


Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha genérica: implementação em lista ligada

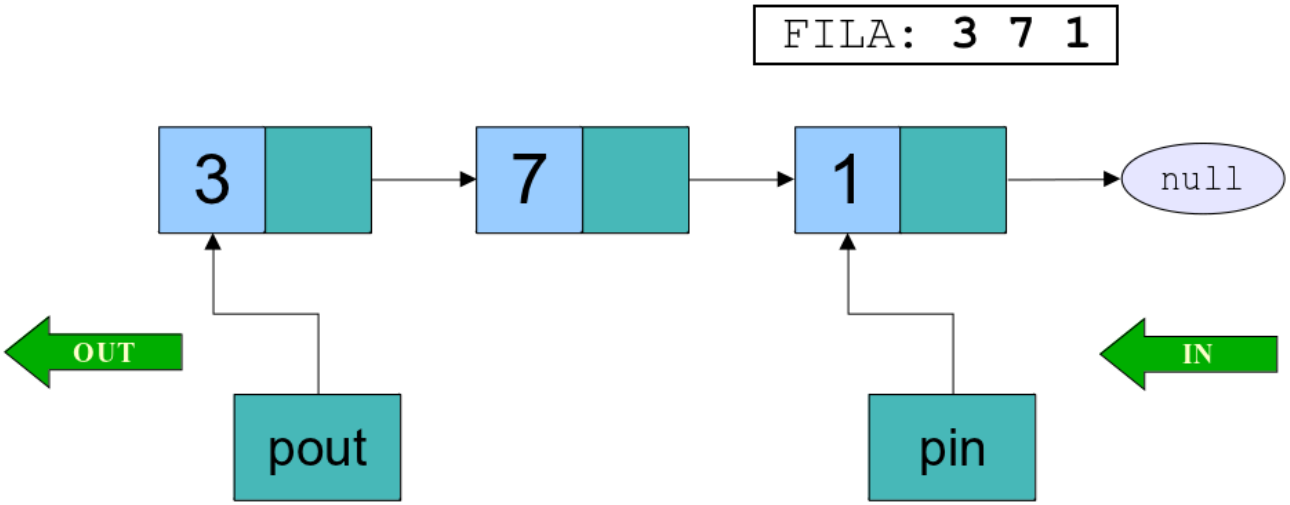
```
public class Stack<E> {

   private LinkedList<E> list = new LinkedList<E>();

   public void push(E element) {
      list.addFirst(element);
   }

   public E top() {
      return list.first();
   }

   public void pop() {
      list.removeFirst();
   }

   public int size() {
      return list.size();
   }

   public boolean isEmpty() {
      return list.isEmpty();
   }

}
```


Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Fila: implementação em lista ligada

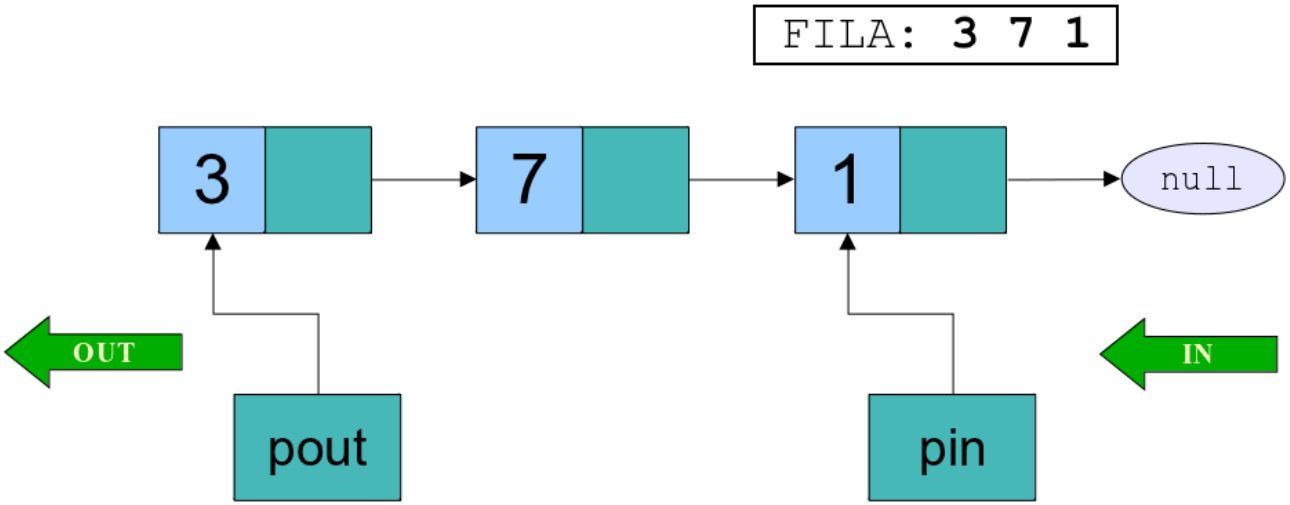
Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

- Usa uma gestão *FIFO* (*First In First Out*).
- O primeiro elemento introduzido é o primeiro a remover, por isso tem que ficar no primeiro nó da lista.
  - Método out corresponde a remoção no início da lista ligada.
- O último elemento introduzido fica armazenado no último nó da lista e será o último a ser removido.
  - Método in corresponde a adição ao fim da lista ligada.



Fila: implementação em lista ligada

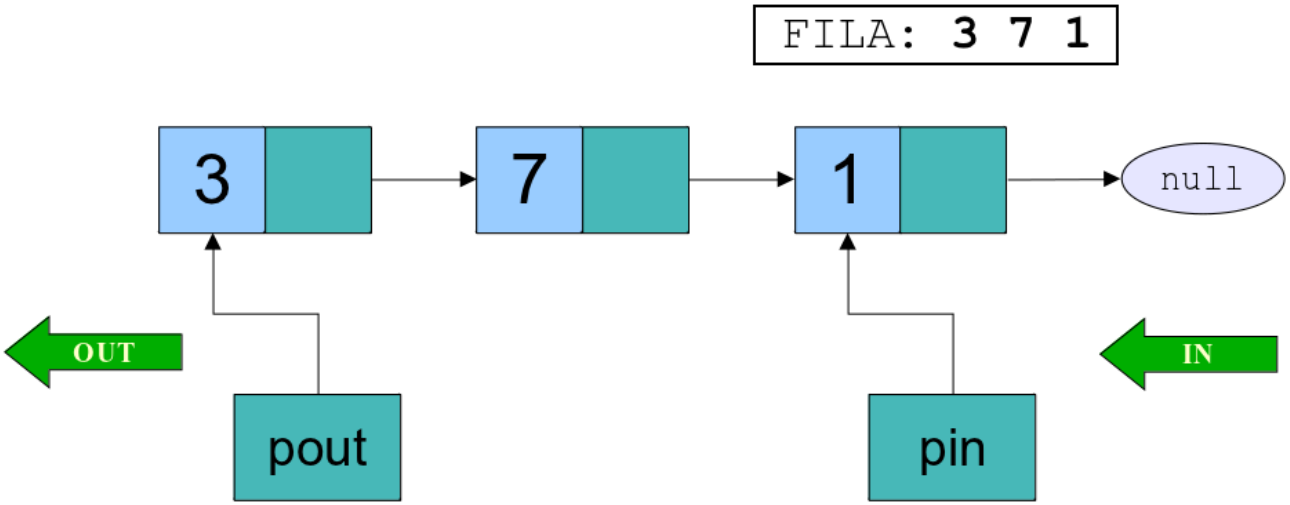
- Usa uma gestão *FIFO* (*First In First Out*).
- O primeiro elemento introduzido é o primeiro a remover, por isso tem que ficar no primeiro nó da lista.
  - Método `out` corresponde a `removeFirst` da lista ligada.
- O último elemento introduzido fica armazenado no último nó da lista e será o último a ser removido.
  - Método `in` corresponde a `addLast` da lista ligada.



Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Fila: implementação em lista ligada

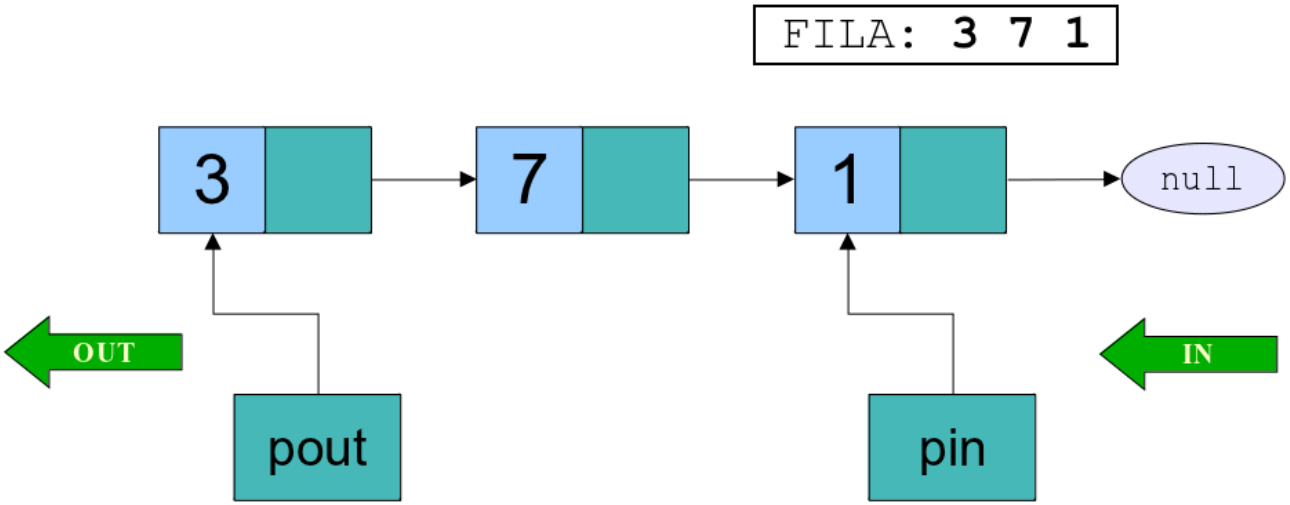
- Usa uma gestão *FIFO* (*First In First Out*).
- O primeiro elemento introduzido é o primeiro a remover, por isso tem que ficar no primeiro nó da lista.
  - Método `out` corresponde a `removeFirst` da lista ligada.
- O último elemento introduzido fica armazenado no último nó da lista e será o último a ser removido.
  - Método `in` corresponde a `addLast` da lista ligada.



Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Fila: implementação em lista ligada

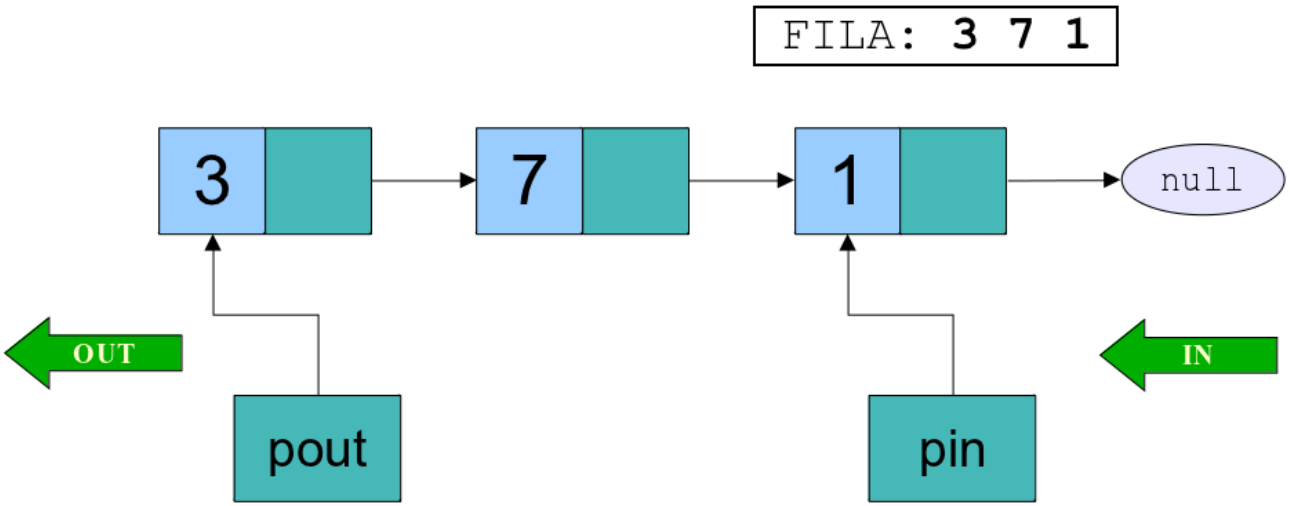
- Usa uma gestão *FIFO* (*First In First Out*).
- O primeiro elemento introduzido é o primeiro a remover, por isso tem que ficar no primeiro nó da lista.
  - Método `out` corresponde a `removeFirst` da lista ligada.
- O último elemento introduzido fica armazenado no último nó da lista e será o último a ser removido.
  - Método `in` corresponde a `addLast` da lista ligada.



Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Fila: implementação em lista ligada

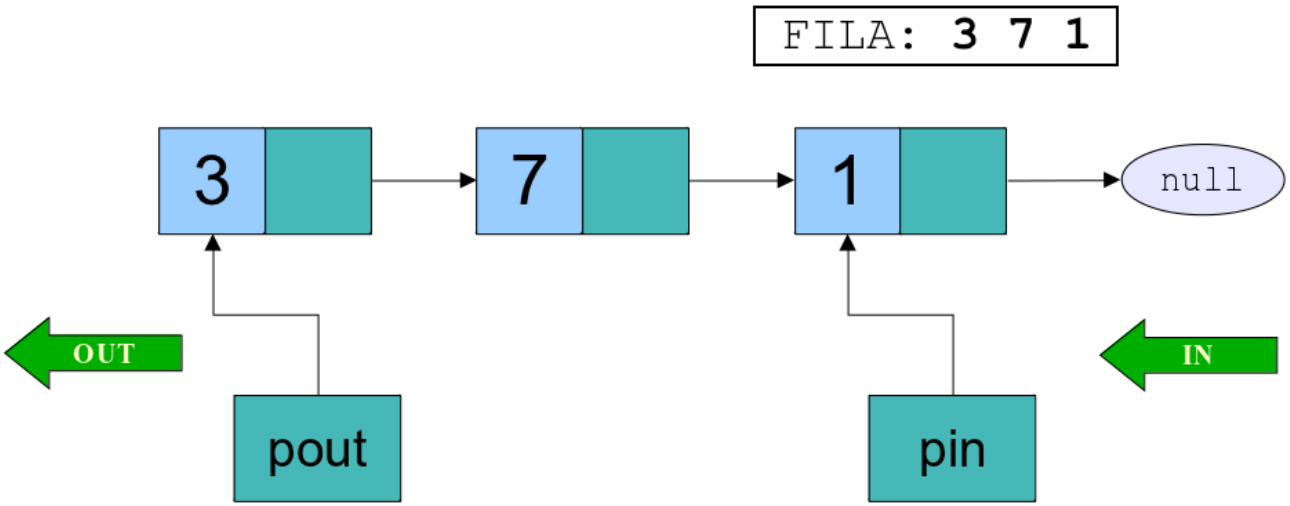
- Usa uma gestão *FIFO* (*First In First Out*).
- O primeiro elemento introduzido é o primeiro a remover, por isso tem que ficar no primeiro nó da lista.
  - Método `out` corresponde a `removeFirst` da lista ligada.
- O último elemento introduzido fica armazenado no último nó da lista e será o último a ser removido.
  - Método `in` corresponde a `addLast` da lista ligada.



Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Fila: implementação em lista ligada

- Usa uma gestão *FIFO* (*First In First Out*).
- O primeiro elemento introduzido é o primeiro a remover, por isso tem que ficar no primeiro nó da lista.
  - Método `out` corresponde a `removeFirst` da lista ligada.
- O último elemento introduzido fica armazenado no último nó da lista e será o último a ser removido.
  - Método `in` corresponde a `addLast` da lista ligada.



Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Fila genérica: implementação em lista ligada

```
public class Queue<E> {

   private LinkedList<E> list = new LinkedList<E>();

   public void in(E element) {
      list.addLast(element);
   }

   public E peek() {
      return list.first();
   }

   public void out() {
      list.removeFirst();
   }

   public int size() {
      return list.size();
   }

   public boolean isEmpty() {
      return list.isEmpty();
   }

}
```


Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Fila genérica: implementação em lista ligada

```
public class Queue<E> {

   private LinkedList<E> list = new LinkedList<E>();

   public void in(E element) {
      list.addLast(element);
   }

   public E peek() {
      return list.first();
   }

   public void out() {
      list.removeFirst();
   }

   public int size() {
      return list.size();
   }

   public boolean isEmpty() {
      return list.isEmpty();
   }

}
```

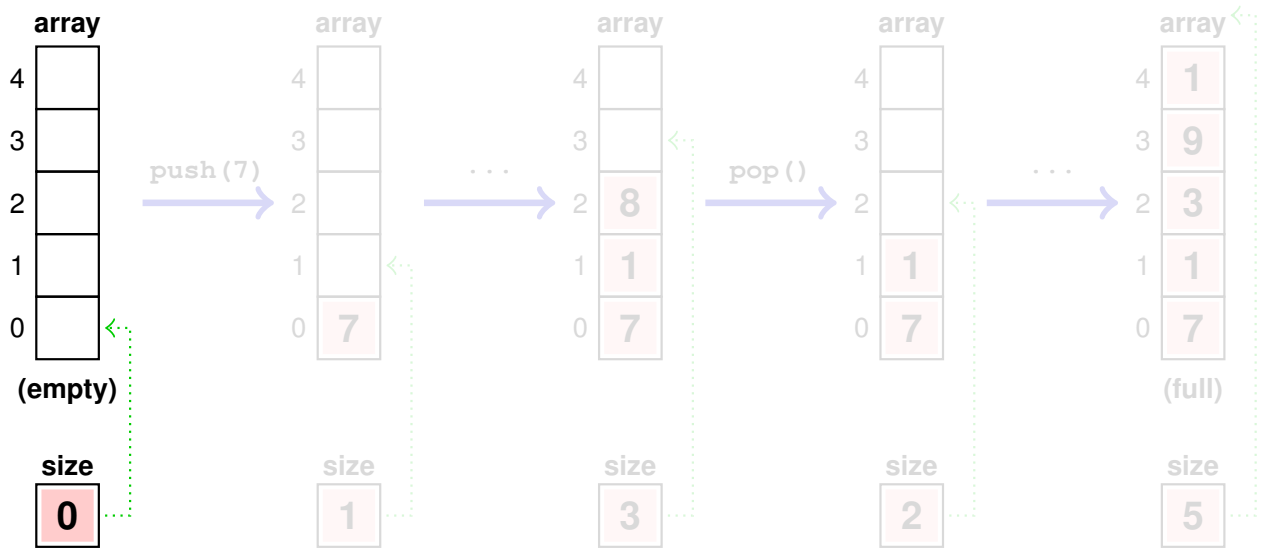

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilha: implementação em vector

- Precisamos de dois atributos:
  - O vector que armazena os elementos
  - O número de elementos, que funciona também como índice da primeira posição livre

Pilha: implementação em vector

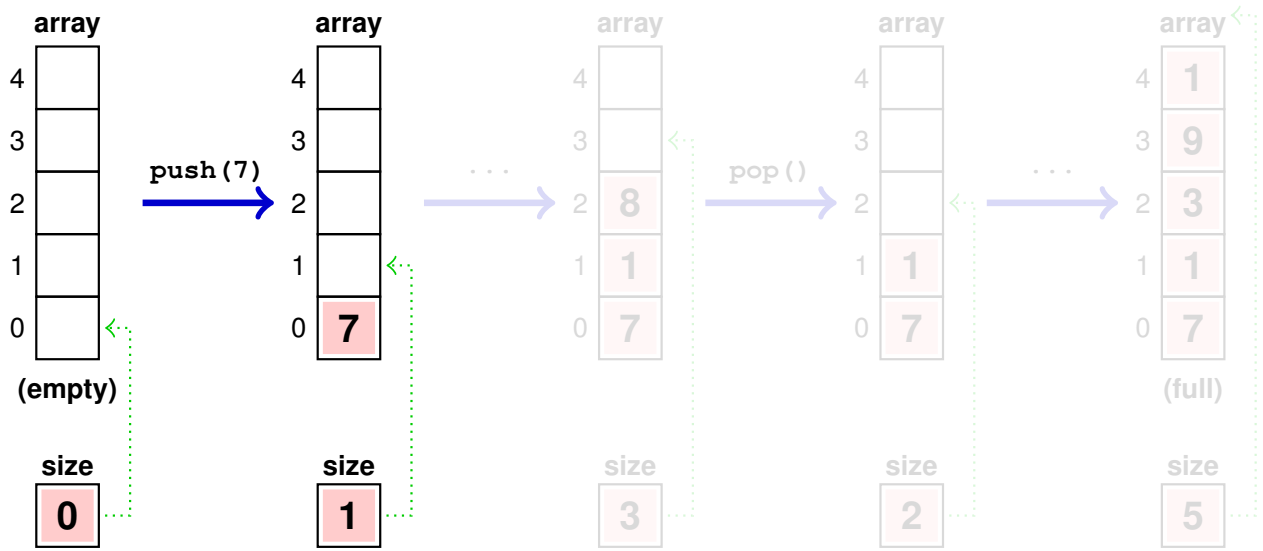
- Precisamos de dois atributos:
  - O vector que armazena os elementos
  - O número de elementos, que funciona também como índice da primeira posição livre



Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

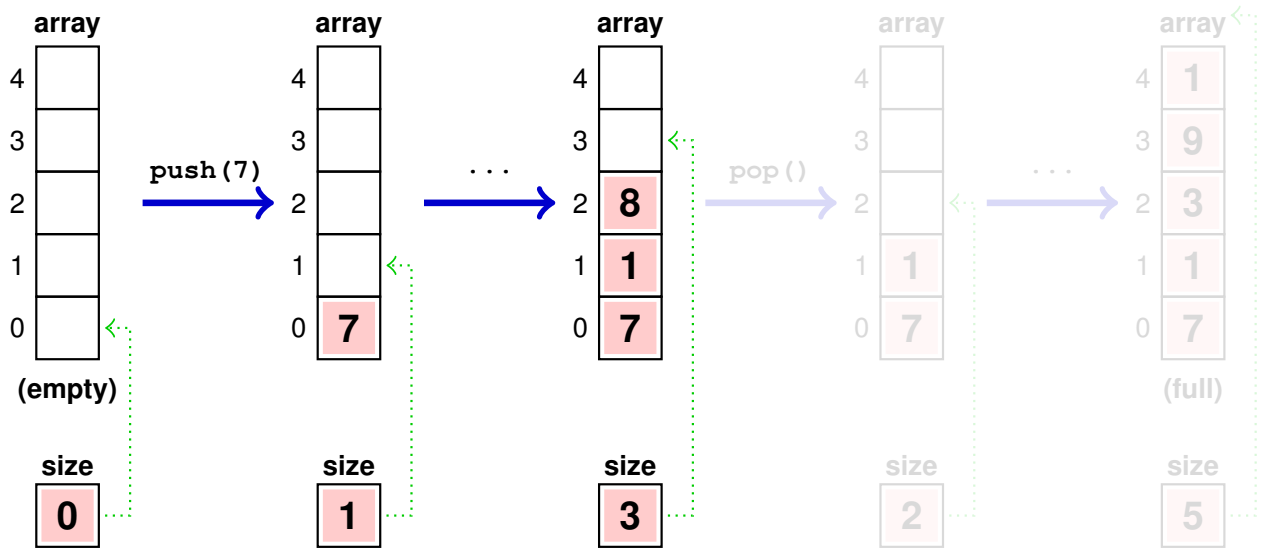
Pilha: implementação em vector

- Precisamos de dois atributos:
  - O vector que armazena os elementos
  - O número de elementos, que funciona também como índice da primeira posição livre



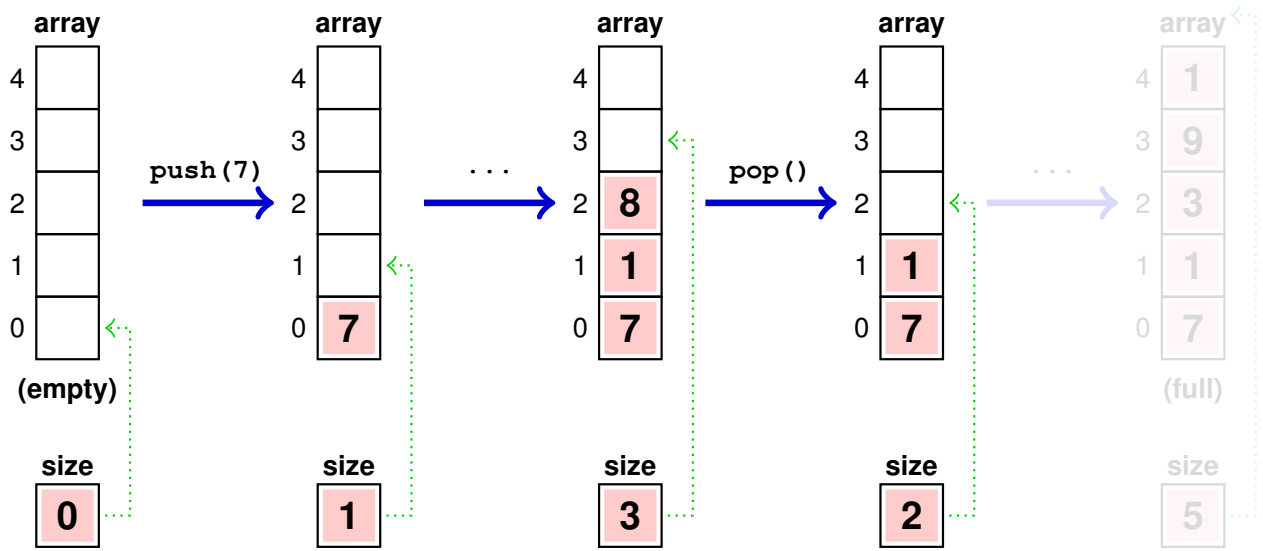
Pilha: implementação em vector

- Precisamos de dois atributos:
  - O vector que armazena os elementos
  - O número de elementos, que funciona também como índice da primeira posição livre



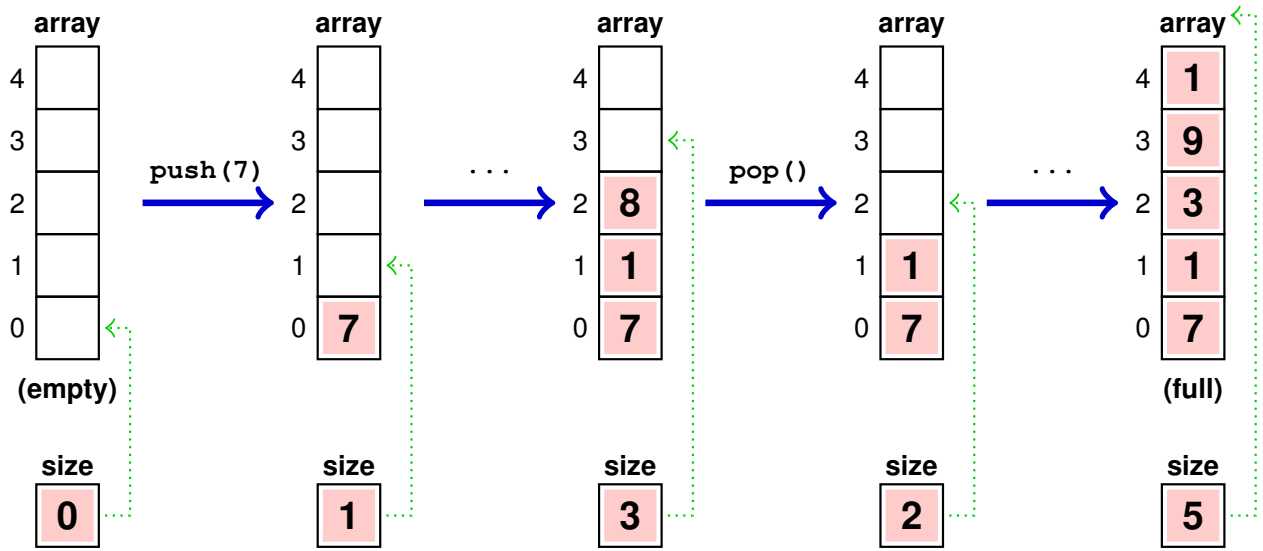
Pilha: implementação em vector

- Precisamos de dois atributos:
  - O vector que armazena os elementos
  - O número de elementos, que funciona também como índice da primeira posição livre



Pilha: implementação em vector

- Precisamos de dois atributos:
  - O vector que armazena os elementos
  - O número de elementos, que funciona também como índice da primeira posição livre



Pilha genérica: implementação em vector

```
public class Stack<E> {

   private E[] array;
   private int size;

   public Stack(int maxSize) {
      assert maxSize >= 0;
      array = (E[]) new Object[maxSize];
      size = 0;
   }

   public void push(E e) {
      assert !isFull();
      array[size] = e;
      size++;
      assert !isEmpty() && top() == e;
   }

   public void pop() {
      assert !isEmpty();
      size--;
      assert !isFull();
   }

   public E top() {
      assert !isEmpty();
      return array[size-1];
   }

   public boolean isEmpty() {
      return size == 0;
   }

   public boolean isFull() {
      return size == array.length;
   }

   public int size() {
      return size;
   }

   public void clear() {
      size = 0;
      assert isEmpty();
   }

}
```

Pilha genérica: implementação em vector

```
public class Stack<E> {

   private E[] array;
   private int size;

   public Stack(int maxSize) {
      assert maxSize >= 0;
      array = (E[]) new Object[maxSize];
      size = 0;
   }

   public void push(E e) {
      assert !isFull();
      array[size] = e;
      size++;
      assert !isEmpty() && top() == e;
   }

   public void pop() {
      assert !isEmpty();
      size--;
      assert !isFull();
   }
```

```
   public E top() {
      assert !isEmpty();
      return array[size-1];
   }

   public boolean isEmpty() {
      return size == 0;
   }

   public boolean isFull() {
      return size == array.length;
   }

   public int size() {
      return size;
   }

   public void clear() {
      size = 0;
      assert isEmpty();
   }

}
```


Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Fila: implementação em vector

- A forma mais eficiente de implementar é uma estrutura conhecida como *buffer circular*.
- Requer 4 atributos:
  - O vector que armazena os elementos.
  - O número de elementos.
  - O índice do próximo elemento a ser retirado (*cabeça* da fila).
  - O índice do próximo elemento a ser ocupado (*cauda* da fila).
- Sempre que se insere ou retira um elemento, incrementa-se o índice respetivo em *aritmética modular*.
  - Ou seja, quando o índice atinge o limite, é reposto a zero.

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Fila: implementação em vector

- A forma mais eficiente de implementar é uma estrutura conhecida como *buffer circular*.
- Requer 4 atributos:
  - O vector que armazena os elementos.
  - O número de elementos.
  - O índice do próximo elemento a ser retirado (*cabeça* da fila).
  - O índice do próximo elemento a ser ocupado (*cauda* da fila).
- Sempre que se insere ou retira um elemento, incrementa-se o índice respetivo em *aritmética modular*.
  - Ou seja, quando o índice atinge o limite, é reposto a zero.

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Fila: implementação em vector

- A forma mais eficiente de implementar é uma estrutura conhecida como *buffer circular*.
- Requer 4 atributos:
  - O vector que armazena os elementos.
  - O número de elementos.
  - O índice do próximo elemento a ser retirado (*cabeça* da fila).
  - O índice do próximo elemento a ser ocupado (*cauda* da fila).
- Sempre que se insere ou retira um elemento, incrementa-se o índice respetivo em *aritmética modular*.
  - Ou seja, quando o índice atinge o limite, é reposto a zero.

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

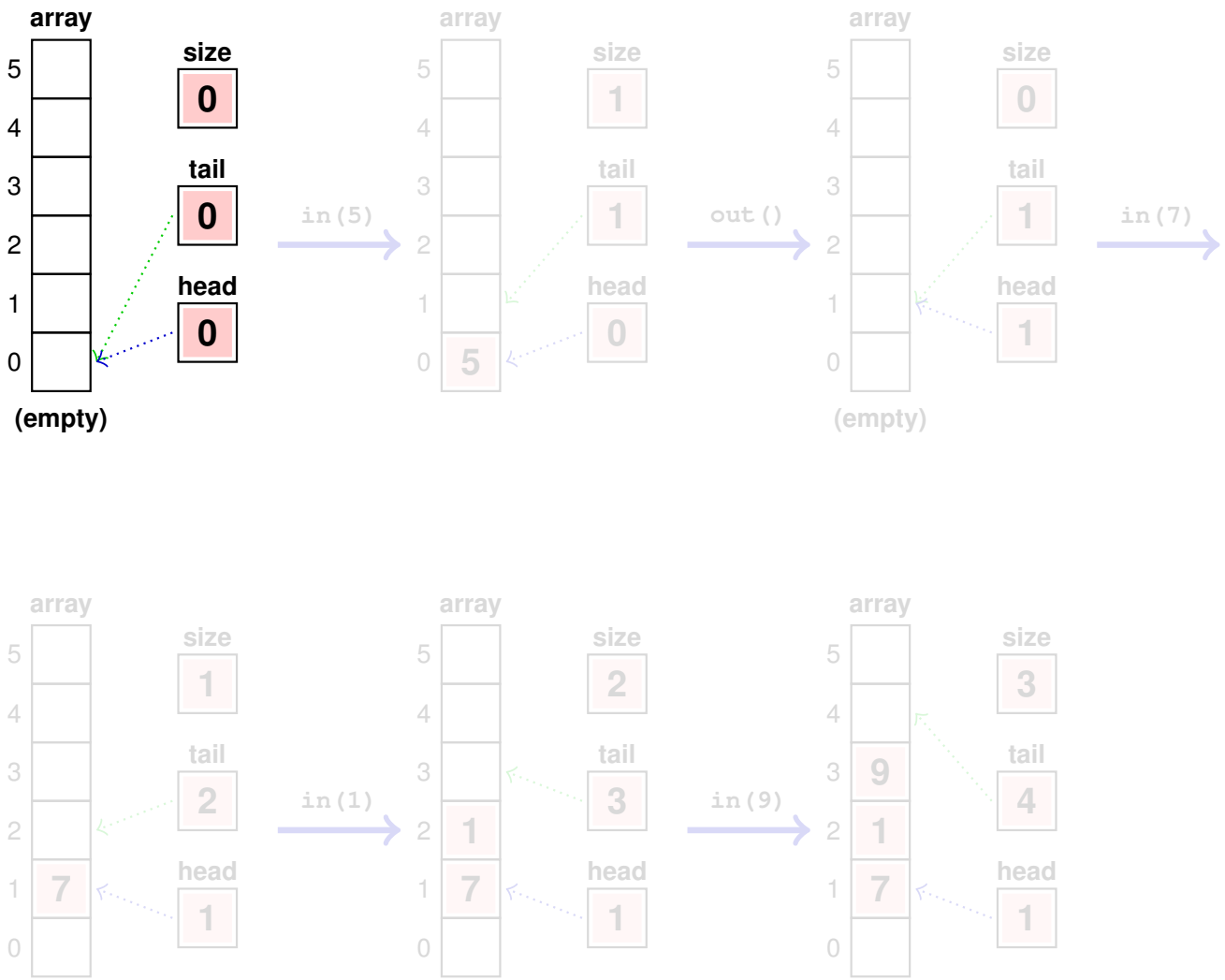
Fila: implementação em vector

- A forma mais eficiente de implementar é uma estrutura conhecida como *buffer circular*.
- Requer 4 atributos:
  - O vector que armazena os elementos.
  - O número de elementos.
  - O índice do próximo elemento a ser retirado (*cabeça* da fila).
  - O índice do próximo elemento a ser ocupado (*cauda* da fila).
- Sempre que se insere ou retira um elemento, incrementa-se o índice respetivo em *aritmética modular*.
  - Ou seja, quando o índice atinge o limite, é reposto a zero.

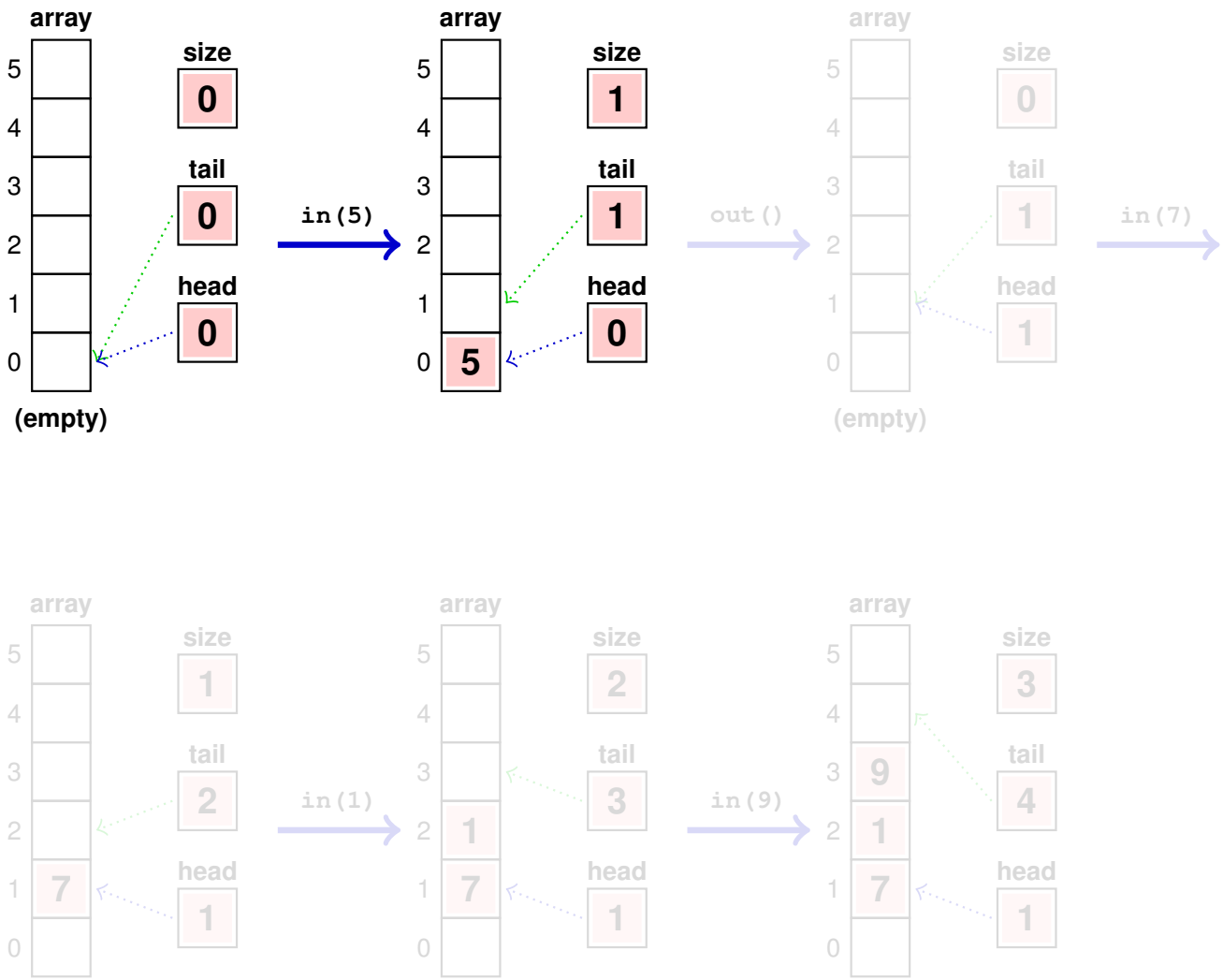
Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Fila: exemplo

Fila: exemplo

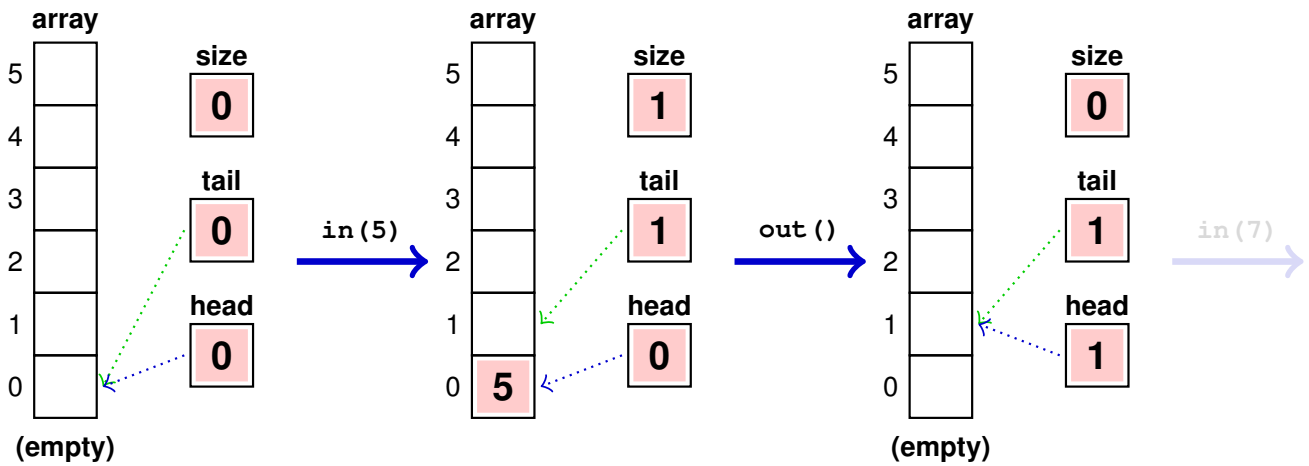


Fila: exemplo

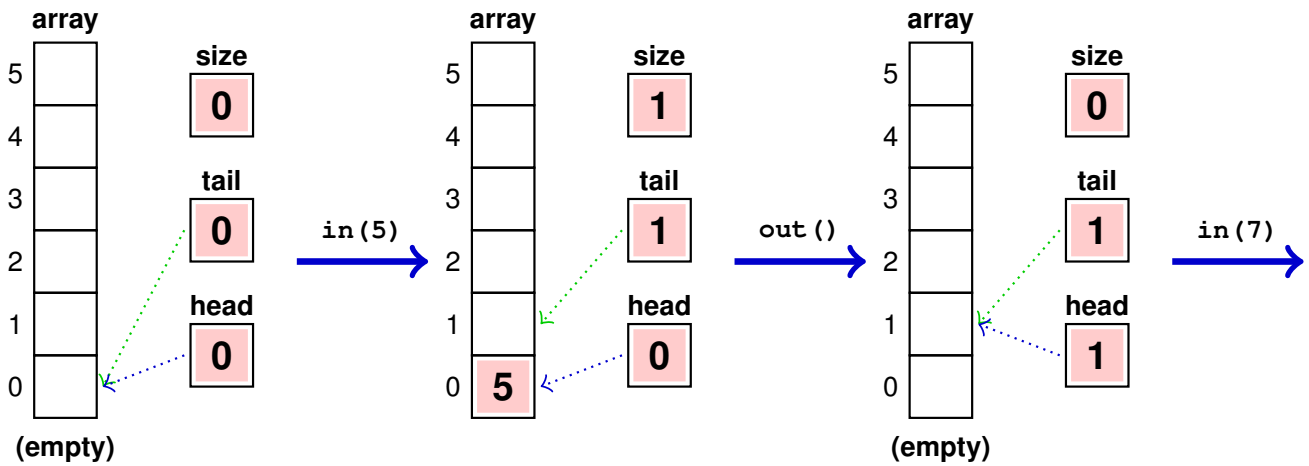


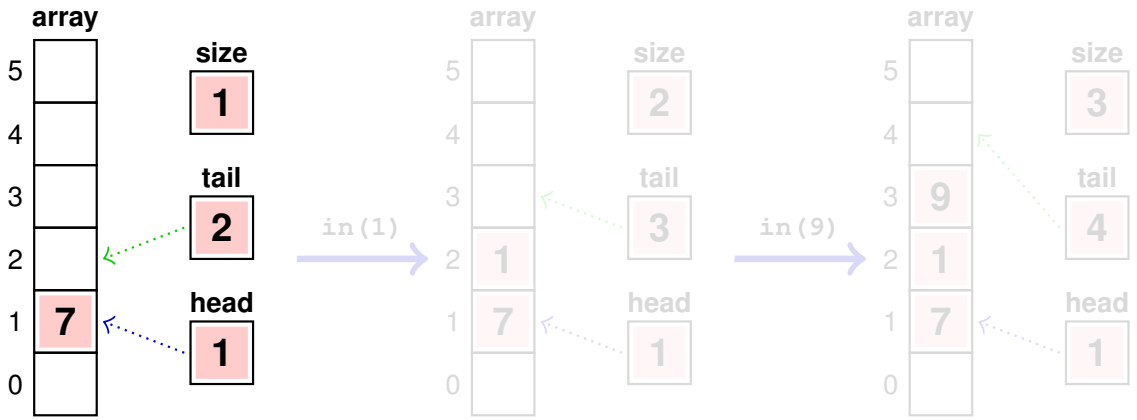
Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Fila: exemplo

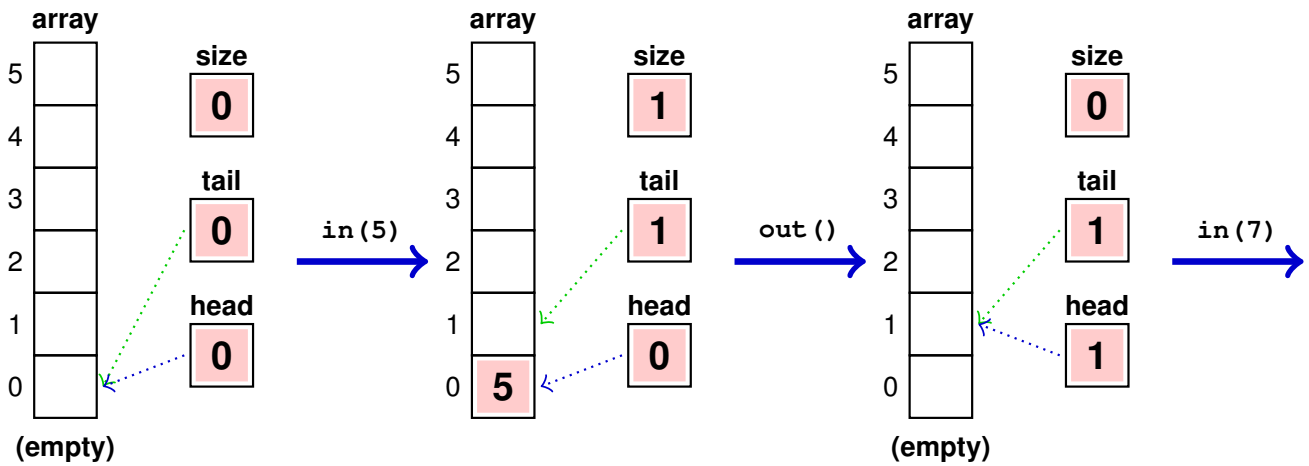


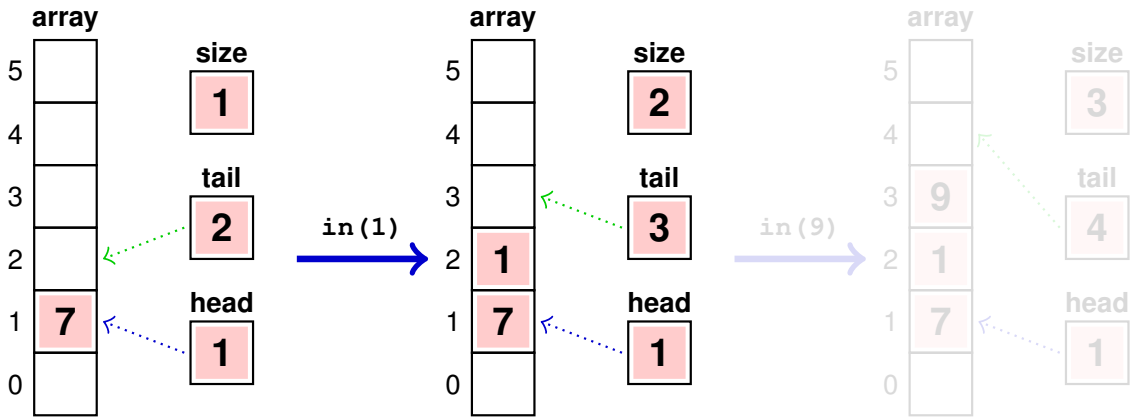
Fila: exemplo



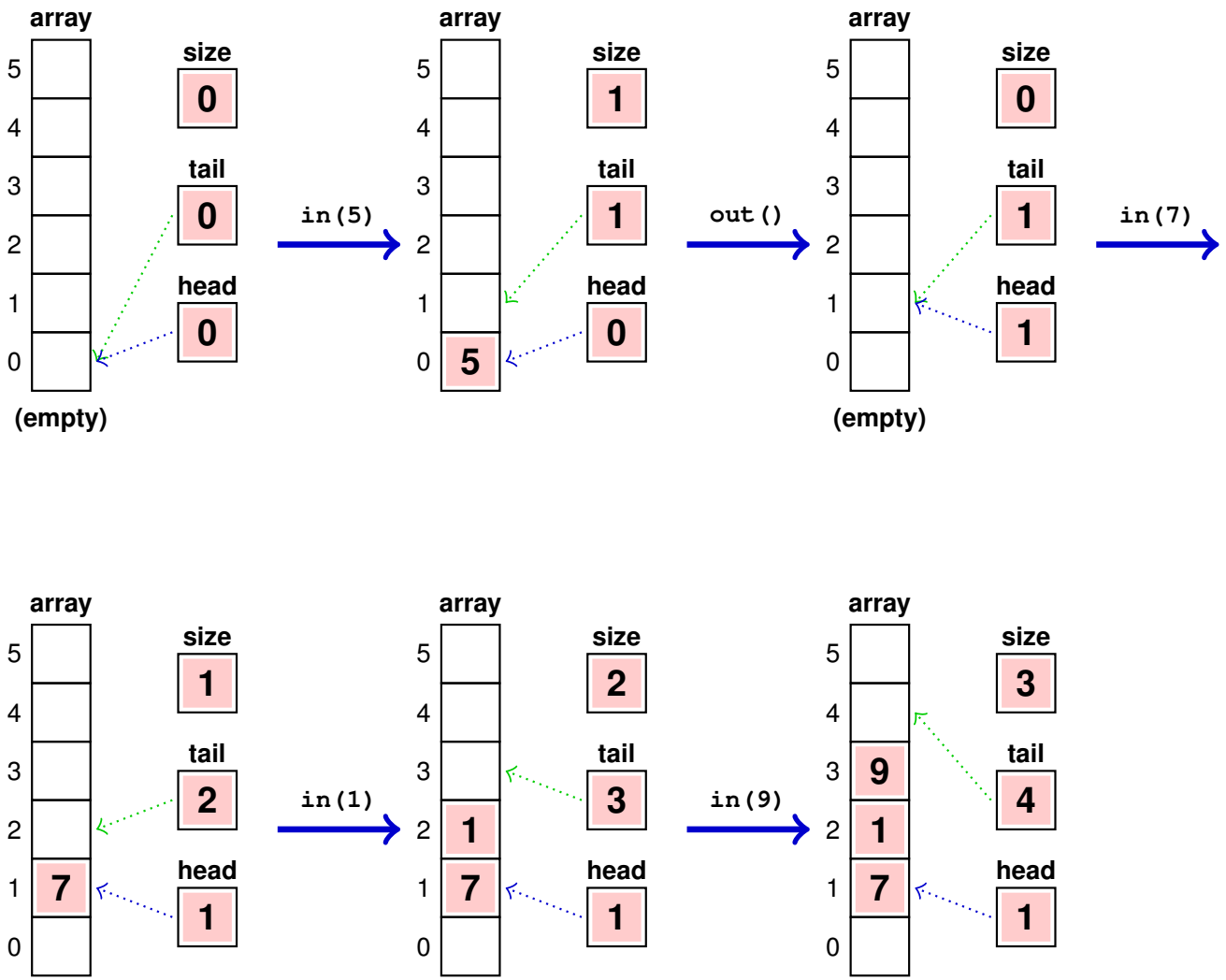


Fila: exemplo





Fila: exemplo

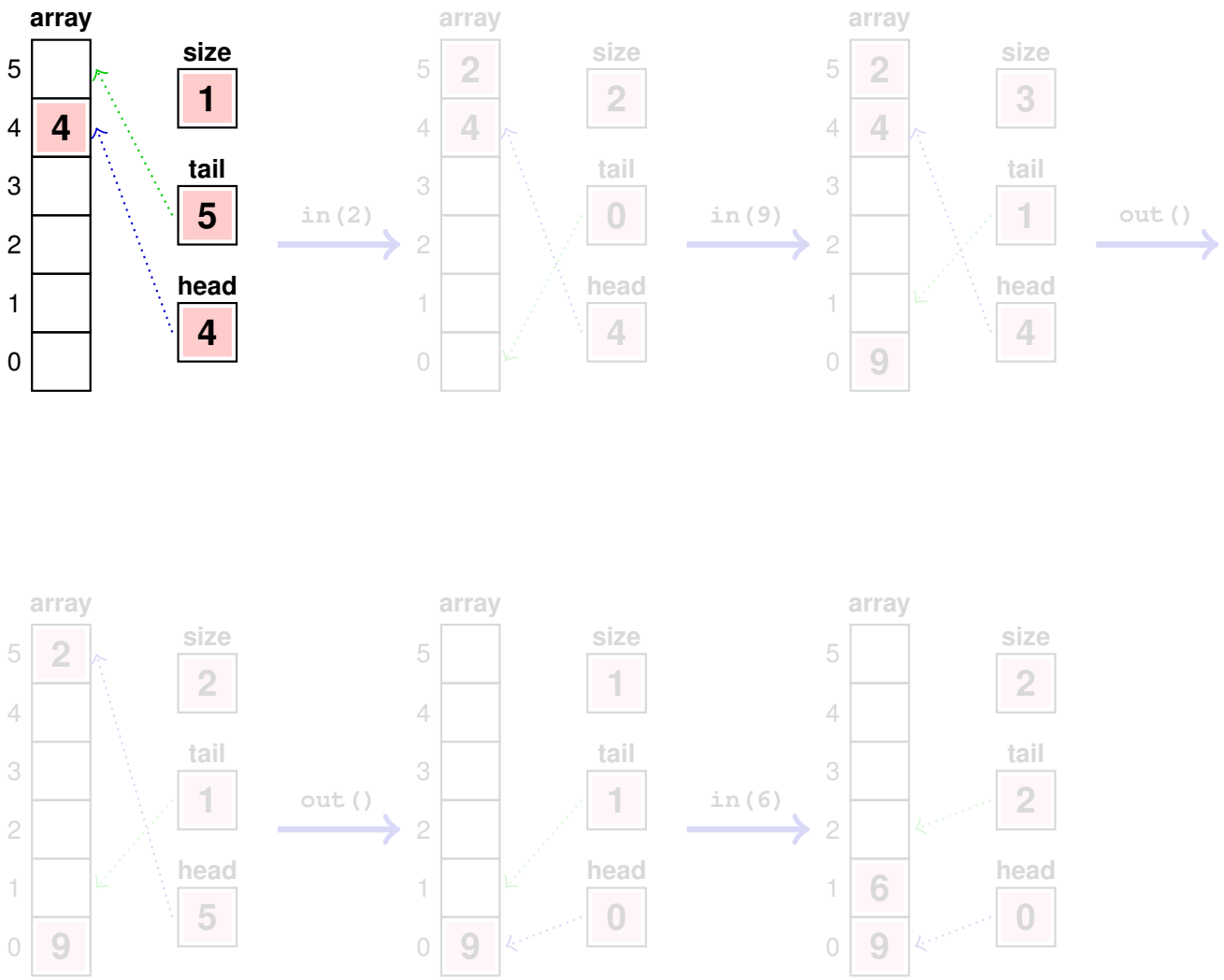


Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Fila: exemplo - gestão circular

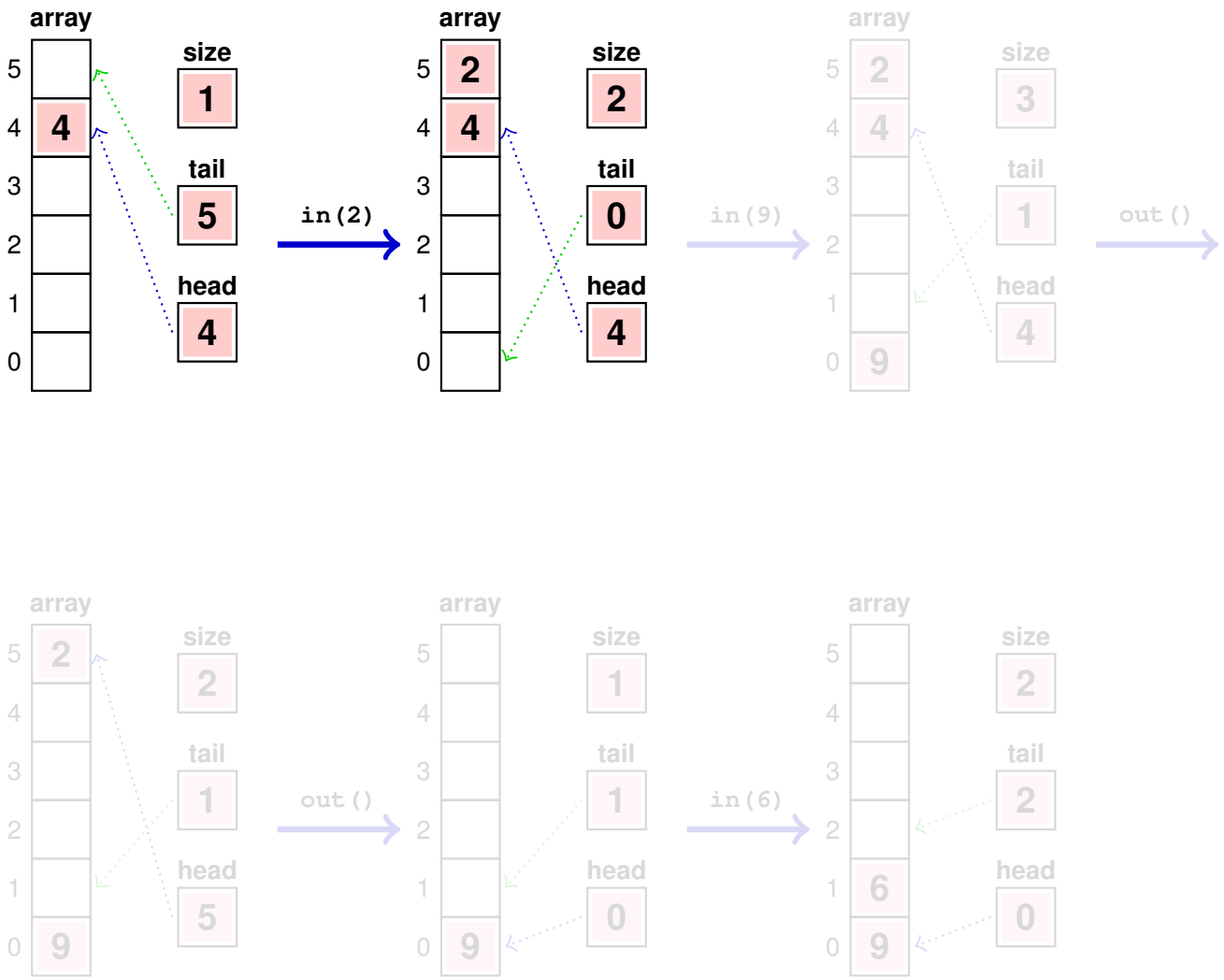
Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Fila: exemplo - gestão circular

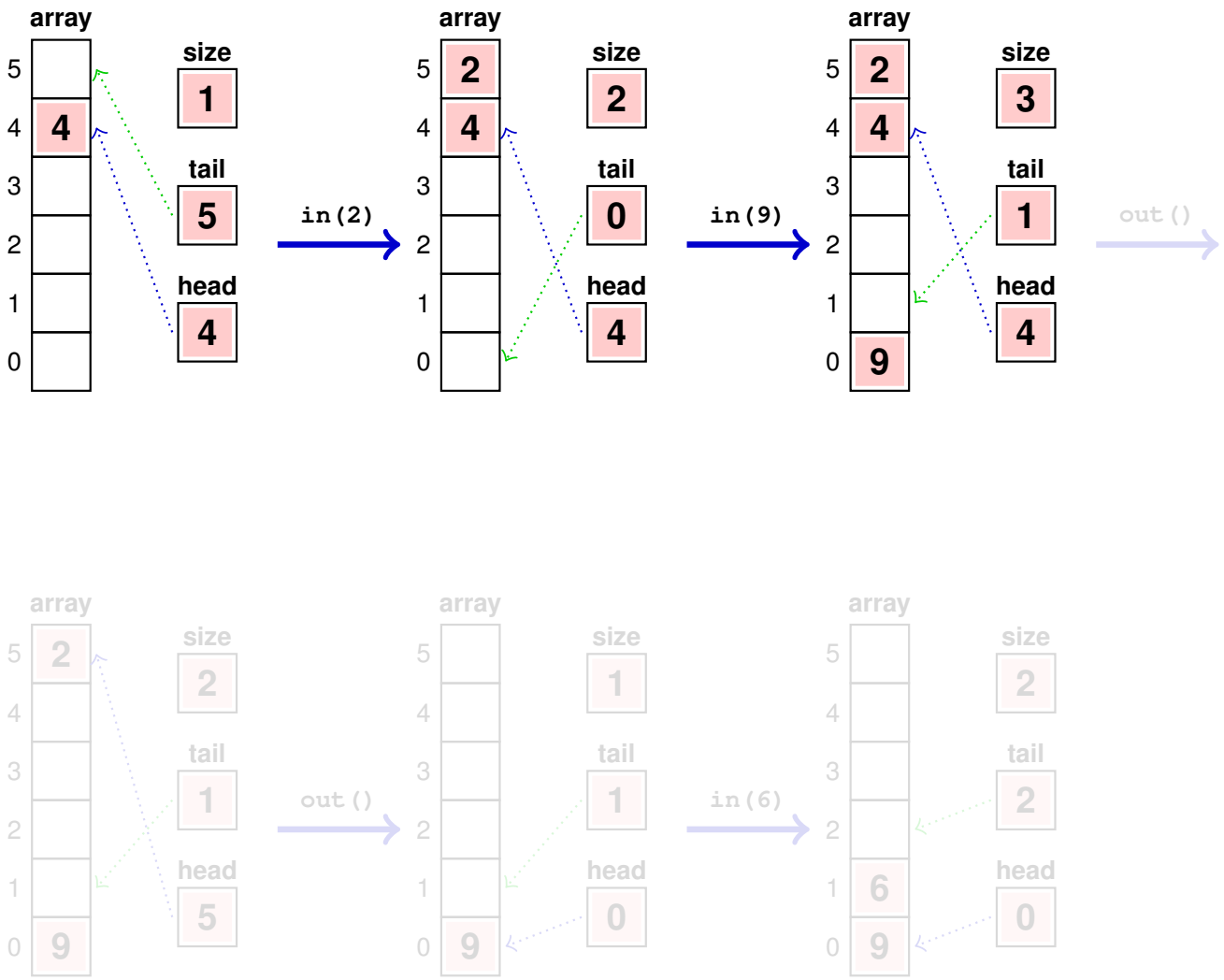


Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Fila: exemplo - gestão circular

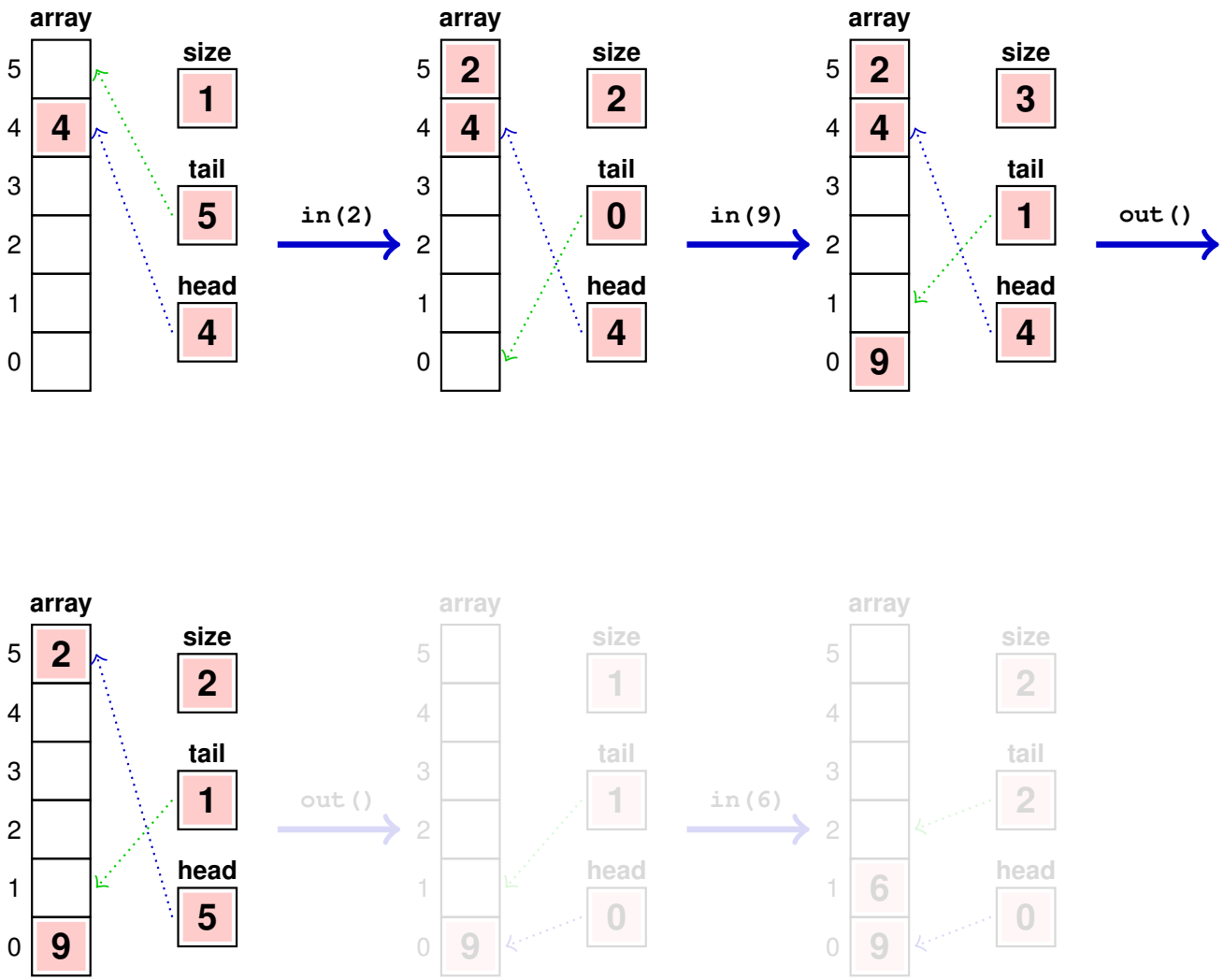


Fila: exemplo - gestão circular



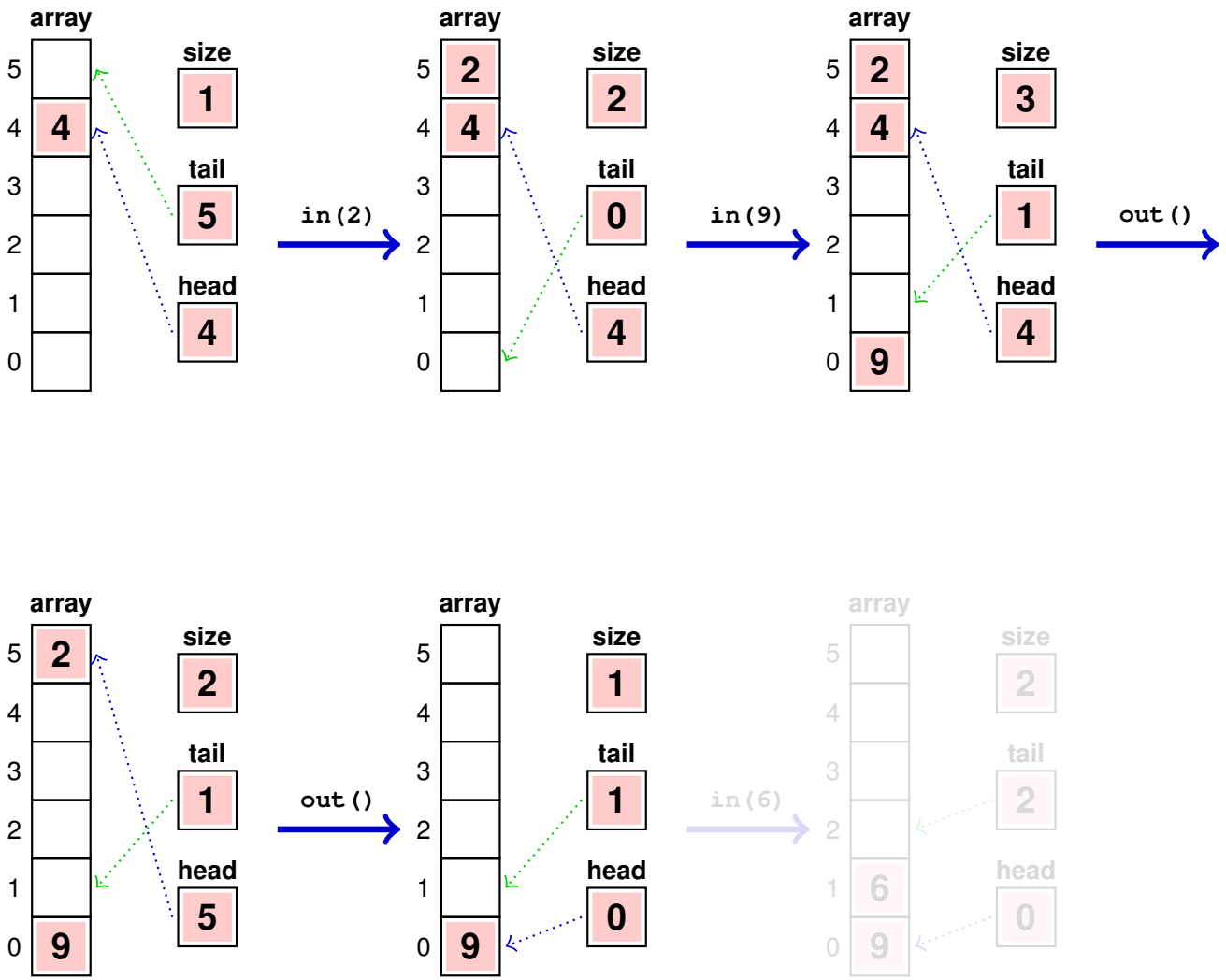
Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Fila: exemplo - gestão circular



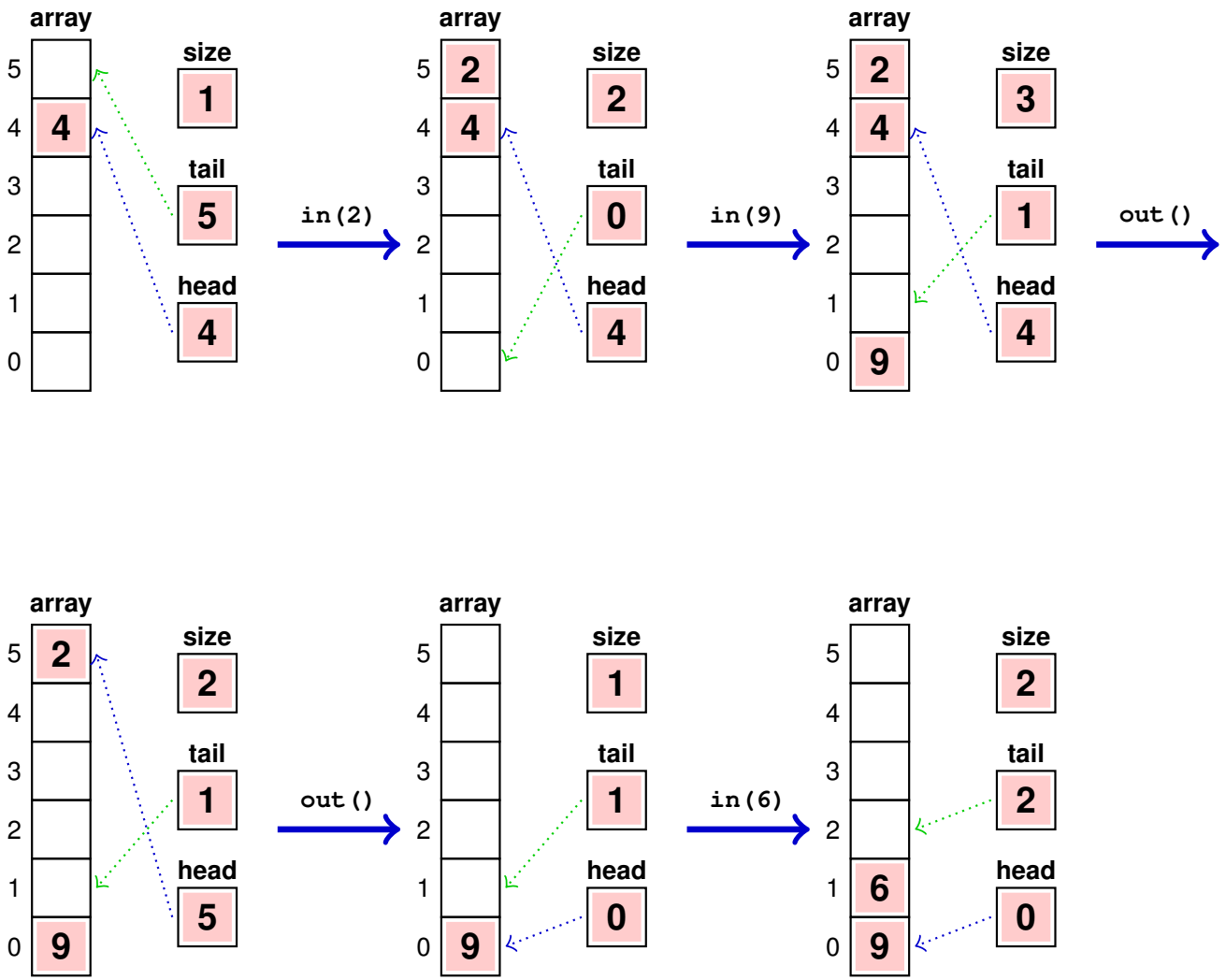
Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Fila: exemplo - gestão circular



Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

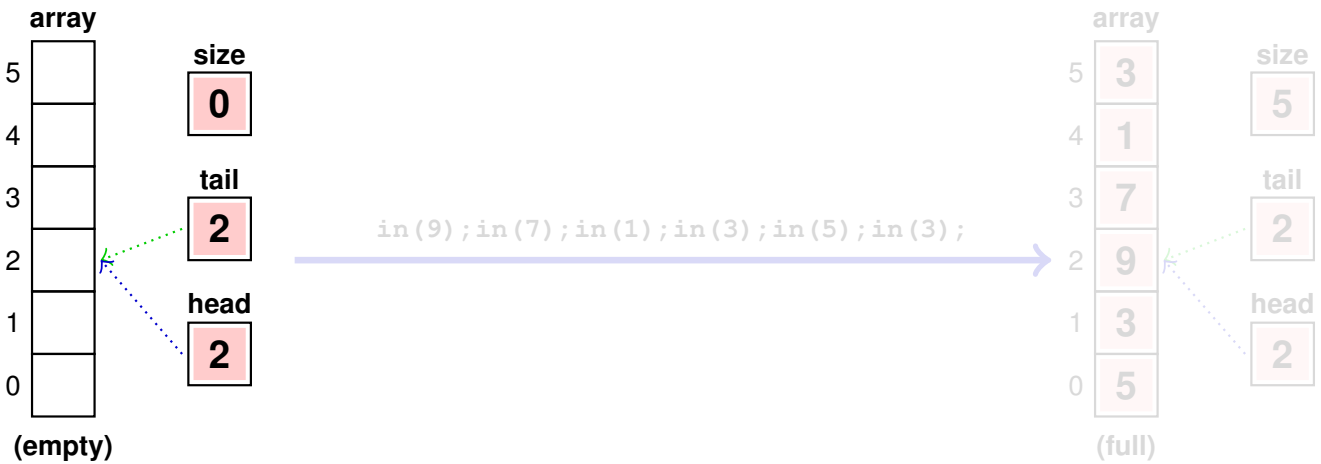
Fila: exemplo - gestão circular



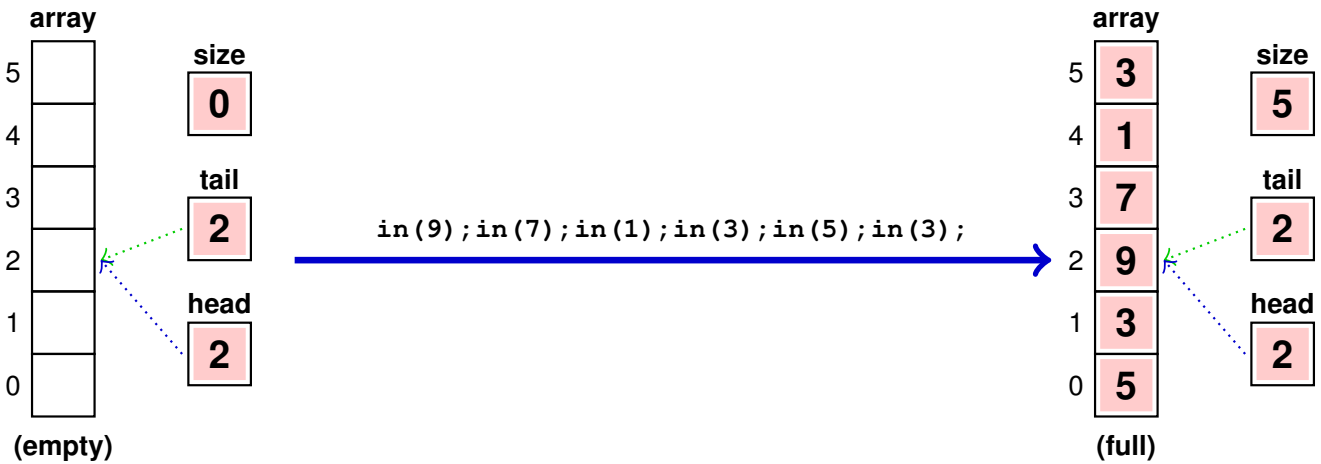
Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Fila: exemplo - empty/full

Fila: exemplo - empty/full



Fila: exemplo - empty/full



Fila genérica: implementação em vector

```
public class Queue<E> {

   private E[] array;
   private int size;
   private int head;
   private int tail;

   public Queue(int maxSize) {
      assert maxSize >= 0;

      array = (T[]) new Object[maxSize];
      size = head = tail = 0;
   }

   public void in(E e) {
      assert !isFull();
      array[tail] = e;
      tail = nextPosition(tail);
      size++;
   }

   public void out() {
      assert !isEmpty();
      head = nextPosition(head);
      size--;
   }
```

```
   public E peek() {
      assert !isEmpty();
      return array[head];
   }

   public int size() {
      return size;
   }

   public boolean isEmpty() {
      return size == 0;
   }

   public boolean isFull() {
      return size == array.length;
   }

   public void clear() {
      head = tail = size = 0;
   }

   private int nextPosition(int p) {
      return (p + 1) % array.length;
   }

}
```


Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Fila genérica: implementação em vector

```
public class Queue<E> {

   private E[] array;
   private int size;
   private int head;
   private int tail;

   public Queue(int maxSize) {
      assert maxSize >= 0;

      array = (T[]) new Object[maxSize];
      size = head = tail = 0;
   }

   public void in(E e) {
      assert !isFull();
      array[tail] = e;
      tail = nextPosition(tail);
      size++;
   }

   public void out() {
      assert !isEmpty();
      head = nextPosition(head);
      size--;
   }
```

```
   public E peek() {
      assert !isEmpty();
      return array[head];
   }

   public int size() {
      return size;
   }

   public boolean isEmpty() {
      return size == 0;
   }

   public boolean isFull() {
      return size == array.length;
   }

   public void clear() {
      head = tail = size = 0;
   }

   private int nextPosition(int p) {
      return (p + 1) % array.length;
   }

}
```


Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Correspondência entre listas, pilhas e filas

Lista	descrição	Pilha	Fila
addLast	acrescenta um elemento no fim da lista	-	in
addFirst	acrescenta um elemento no início da lista	push	-
first	devolve o primeiro elemento da lista	top	peek
removeFirst	remove o primeiro elemento da lista	pop	out

- Os tipos de dados abstratos das pilhas e filas correspondem a subconjuntos do tipo de dados abstrato da lista ligada.
- Podemos dizer que os tipos de dados abstratos das pilhas e filas são *açúcar sintático* para certos perfis de utilização das listas.

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Correspondência entre listas, pilhas e filas

Lista	descrição	Pilha	Fila
addLast	acrescenta um elemento no fim da lista	-	in
addFirst	acrescenta um elemento no início da lista	push	-
first	devolve o primeiro elemento da lista	top	peek
removeFirst	remove o primeiro elemento da lista	pop	out

- Os tipos de dados abstratos das pilhas e filas correspondem a subconjuntos do tipo de dados abstrato da lista ligada.
- Podemos dizer que os tipos de dados abstratos das pilhas e filas são *açúcar sintático* para certos perfis de utilização das listas.

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilhas e filas: complexidade

- Implementação em lista ligada:
  - Todos os métodos do tipo de dados abstrato têm complexidade constante ($O(1)$).
- Implementação em vector com dimensão fixa:
  - Todos os métodos do tipo de dados abstrato têm complexidade constante ($O(1)$).
- Implementação em vector com re-dimensionamento:
  - Sempre que a pilha (ou fila) enche, temos que criar um novo vector e transferir a informação para esse vector.
  - Nestes casos, a operação push passa a ter complexidade linear ($O(n)$).
  - Os restantes métodos do tipo de dados abstrato têm complexidade constante ($O(1)$).

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilhas e filas: complexidade

- Implementação em lista ligada:
  - Todos os métodos do tipo de dados abstrato têm complexidade constante ($O(1)$).
- Implementação em vector com dimensão fixa:
  - Todos os métodos do tipo de dados abstrato têm complexidade constante ($O(1)$).
- Implementação em vector com re-dimensionamento:
  - Sempre que a pilha ou fila enche, temos que criar um novo vector e transferir a informação para esse vector.
  - Nesses casos, a operação `push` passa a ter complexidade linear ($O(n)$).
  - Os restantes métodos do tipo de dados abstrato têm complexidade constante ($O(1)$).

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilhas e filas: complexidade

- Implementação em lista ligada:
  - Todos os métodos do tipo de dados abstrato têm complexidade constante ($O(1)$).
- Implementação em vector com dimensão fixa:
  - Todos os métodos do tipo de dados abstrato têm complexidade constante ($O(1)$).
- Implementação em vector com re-dimensionamento:
  - Sempre que a pilha ou fila enche, temos que criar um novo vector e transferir a informação para esse vector.
  - Nesses casos, a operação `push` passa a ter complexidade linear ($O(n)$).
  - Os restantes métodos do tipo de dados abstrato têm complexidade constante ($O(1)$).

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilhas e filas: complexidade

- Implementação em lista ligada:
  - Todos os métodos do tipo de dados abstrato têm complexidade constante ($O(1)$).
- Implementação em vector com dimensão fixa:
  - Todos os métodos do tipo de dados abstrato têm complexidade constante ($O(1)$).
- Implementação em vector com re-dimensionamento:
  - Sempre que a pilha ou fila enche, temos que criar um novo vector e transferir a informação para esse vector.
  - Nesses casos, a operação `push` passa a ter complexidade linear ($O(n)$).
  - Os restantes métodos do tipo de dados abstrato têm complexidade constante ($O(1)$).

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilhas e filas: complexidade

- Implementação em lista ligada:
  - Todos os métodos do tipo de dados abstrato têm complexidade constante ($O(1)$).
- Implementação em vector com dimensão fixa:
  - Todos os métodos do tipo de dados abstrato têm complexidade constante ($O(1)$).
- Implementação em vector com re-dimensionamento:
  - Sempre que a pilha ou fila enche, temos que criar um novo vector e transferir a informação para esse vector.
  - Nesses casos, a operação `push` passa a ter complexidade linear ($O(n)$).
  - Os restantes métodos do tipo de dados abstrato têm complexidade constante ($O(1)$).

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilhas e filas: complexidade

- Implementação em lista ligada:
  - Todos os métodos do tipo de dados abstrato têm complexidade constante ($O(1)$).
- Implementação em vector com dimensão fixa:
  - Todos os métodos do tipo de dados abstrato têm complexidade constante ($O(1)$).
- Implementação em vector com re-dimensionamento:
  - Sempre que a pilha ou fila enche, temos que criar um novo vector e transferir a informação para esse vector.
  - Nesses casos, a operação `push` passa a ter complexidade linear ($O(n)$).
  - Os restantes métodos do tipo de dados abstrato têm complexidade constante ($O(1)$).

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilhas e filas: complexidade

- Implementação em lista ligada:
  - Todos os métodos do tipo de dados abstrato têm complexidade constante ($O(1)$).
- Implementação em vector com dimensão fixa:
  - Todos os métodos do tipo de dados abstrato têm complexidade constante ($O(1)$).
- Implementação em vector com re-dimensionamento:
  - Sempre que a pilha ou fila enche, temos que criar um novo vector e transferir a informação para esse vector.
  - Nesses casos, a operação `push` passa a ter complexidade linear ($O(n)$).
  - Os restantes métodos do tipo de dados abstrato têm complexidade constante ($O(1)$).

Pilhas e filas: complexidade

- Implementação em lista ligada:
  - Todos os métodos do tipo de dados abstrato têm complexidade constante ($O(1)$).
- Implementação em vector com dimensão fixa:
  - Todos os métodos do tipo de dados abstrato têm complexidade constante ($O(1)$).
- Implementação em vector com re-dimensionamento:
  - Sempre que a pilha ou fila enche, temos que criar um novo vector e transferir a informação para esse vector.
  - Nesses casos, a operação `push` passa a ter complexidade linear ($O(n)$).
  - Os restantes métodos do tipo de dados abstrato têm complexidade constante ($O(1)$).

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Pilhas e filas: complexidade

- Implementação em lista ligada:
  - Todos os métodos do tipo de dados abstrato têm complexidade constante ($O(1)$).
- Implementação em vector com dimensão fixa:
  - Todos os métodos do tipo de dados abstrato têm complexidade constante ($O(1)$).
- Implementação em vector com re-dimensionamento:
  - Sempre que a pilha ou fila enche, temos que criar um novo vector e transferir a informação para esse vector.
  - Nesses casos, a operação `push` passa a ter complexidade linear ($O(n)$).
  - Os restantes métodos do tipo de dados abstrato têm complexidade constante ($O(1)$).

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Lista biligada

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

- Estrutura de dados sequencial em que cada elemento da lista contém uma referência para o próximo elemento e outra para o anterior.
  - Cada uma dessas referências terá o valor `null` caso o elemento a que se refere não exista.
- Ao contrário da lista ligada, permite um acesso sequencial do fim para o início.
- Facilita a remoção do último elemento (`removeLast`).

Lista biligada

- Estrutura de dados sequencial em que cada elemento da lista contém uma referência para o próximo elemento e outra para o anterior.
  - Cada uma dessas referências terá o valor `null` caso o elemento a que se refere não exista.
- Ao contrário da lista ligada, permite um acesso sequencial do fim para o início.
- Facilita a remoção do último elemento (`removeLast`).

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Lista biligada

- Estrutura de dados sequencial em que cada elemento da lista contém uma referência para o próximo elemento e outra para o anterior.
  - Cada uma dessas referências terá o valor `null` caso o elemento a que se refere não exista.
- Ao contrário da lista ligada, permite um acesso sequencial do fim para o início.
- Facilita a remoção do último elemento (`removeLast`).

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Lista biligada

- Estrutura de dados sequencial em que cada elemento da lista contém uma referência para o próximo elemento e outra para o anterior.
  - Cada uma dessas referências terá o valor `null` caso o elemento a que se refere não exista.
- Ao contrário da lista ligada, permite um acesso sequencial do fim para o início.
- Facilita a remoção do último elemento (`removeLast`).

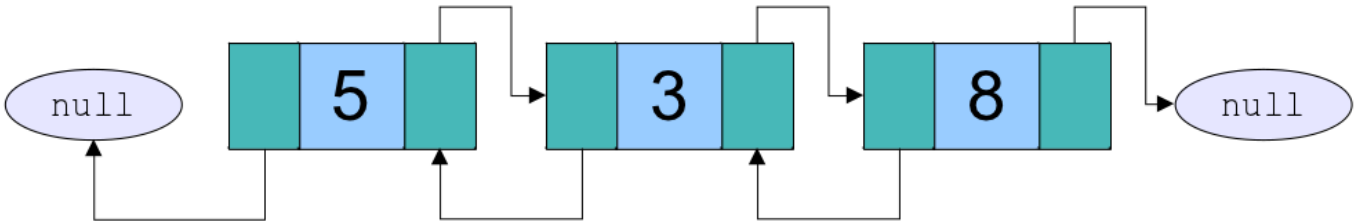
Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Lista biligada

- Estrutura de dados sequencial em que cada elemento da lista contém uma referência para o próximo elemento e outra para o anterior.
  - Cada uma dessas referências terá o valor `null` caso o elemento a que se refere não exista.
- Ao contrário da lista ligada, permite um acesso sequencial do fim para o início.
- Facilita a remoção do último elemento (`removeLast`).

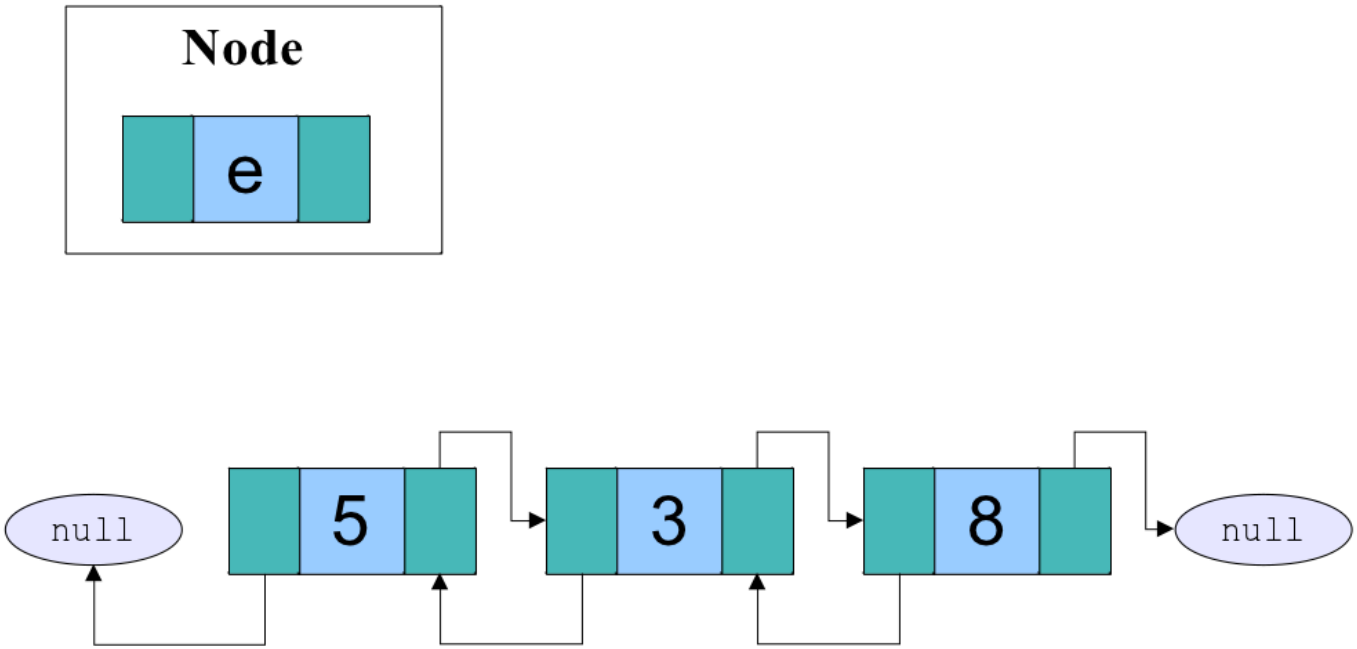
Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Lista biligada: nós e ligações



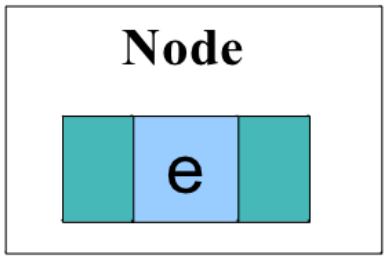
Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Lista biligada: nós e ligações

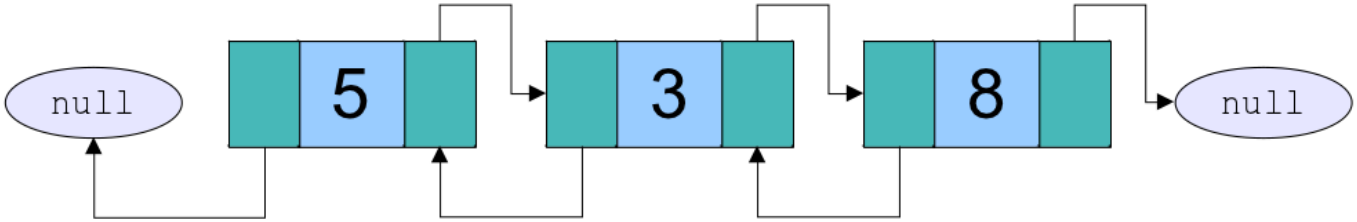


Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Lista biligada: nós e ligações

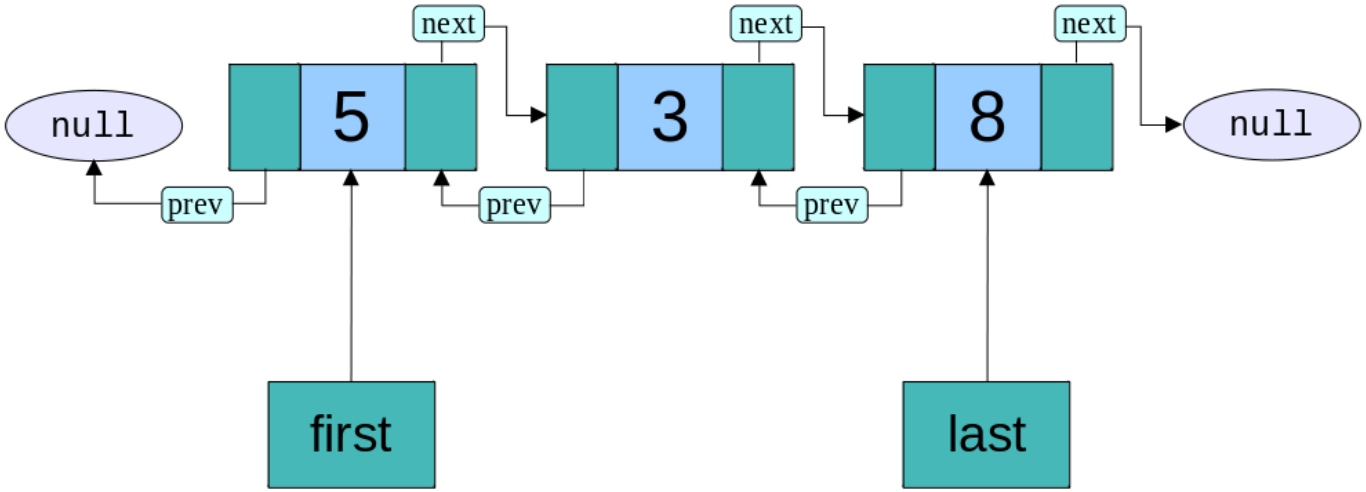



```
class Node
{
  Node prev;
  int e;
  Node next;
}
```



Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Lista biligada: primeiro e último elementos



Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Lista biligada: tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - LinkedList
- Serviços:
  - addFirst: insere um elemento no início da lista.
  - addLast: insere um elemento no fim da lista.
  - getFirst: devolve o primeiro elemento da lista.
  - getLast: devolve o último elemento lista.
  - removeFirst: retira o elemento no início da lista.
  - removeLast: retira o elemento no início da lista.
  - size: devolve a dimensão actual da lista.
  - isEmpty: verifica se a lista está vazia.
  - clear: limpa a lista (remove todos os elementos).

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Lista biligada: tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `LinkedList`
- Serviços:
  - `addFirst`: insere um elemento no início da lista.
  - `addLast`: insere um elemento no fim da lista.
  - `first`: devolve o primeiro elemento da lista.
  - `last`: devolve o último elemento lista.
  - `removeFirst`: retira o elemento no início da lista.
  - `removeLast`: retira o elemento no início da lista.
  - `size`: devolve a dimensão actual da lista.
  - `isEmpty`: verifica se a lista está vazia.
  - `clear`: limpa a lista (remove todos os elementos).

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Lista biligada: tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `LinkedList`
- Serviços:
  - `addFirst`: insere um elemento no início da lista.
  - `addLast`: insere um elemento no fim da lista.
  - `first`: devolve o primeiro elemento da lista.
  - `last`: devolve o último elemento lista.
  - `removeFirst`: retira o elemento no início da lista.
  - `removeLast`: retira o elemento no início da lista.
  - `size`: devolve a dimensão actual da lista.
  - `isEmpty`: verifica se a lista está vazia.
  - `clear`: limpa a lista (remove todos os elementos).

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Lista biligada: tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `LinkedList`
- Serviços:
  - `addFirst`: insere um elemento no início da lista.
  - `addLast`: insere um elemento no fim da lista.
  - `first`: devolve o primeiro elemento da lista.
  - `last`: devolve o último elemento lista.
  - `removeFirst`: retira o elemento no início da lista.
  - `removeLast`: retira o elemento no início da lista.
  - `size`: devolve a dimensão actual da lista.
  - `isEmpty`: verifica se a lista está vazia.
  - `clear`: limpa a lista (remove todos os elementos).

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Lista biligada: tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `LinkedList`
- Serviços:
  - `addFirst`: insere um elemento no início da lista.
  - `addLast`: insere um elemento no fim da lista.
  - `first`: devolve o primeiro elemento da lista.
  - `last`: devolve o último elemento lista.
  - `removeFirst`: retira o elemento no início da lista.
  - `removeLast`: retira o elemento no início da lista.
  - `size`: devolve a dimensão actual da lista.
  - `isEmpty`: verifica se a lista está vazia.
  - `clear`: limpa a lista (remove todos os elementos).

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Lista biligada: tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `LinkedList`
- Serviços:
  - `addFirst`: insere um elemento no início da lista.
  - `addLast`: insere um elemento no fim da lista.
  - `first`: devolve o primeiro elemento da lista.
  - `last`: devolve o último elemento lista.
  - `removeFirst`: retira o elemento no início da lista.
  - `removeLast`: retira o elemento no início da lista.
  - `size`: devolve a dimensão actual da lista.
  - `isEmpty`: verifica se a lista está vazia.
  - `clear`: limpa a lista (remove todos os elementos).

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Lista biligada: tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `LinkedList`
- Serviços:
  - `addFirst`: insere um elemento no início da lista.
  - `addLast`: insere um elemento no fim da lista.
  - `first`: devolve o primeiro elemento da lista.
  - `last`: devolve o último elemento lista.
  - `removeFirst`: retira o elemento no início da lista.
  - `removeLast`: retira o elemento no início da lista.
  - `size`: devolve a dimensão actual da lista.
  - `isEmpty`: verifica se a lista está vazia.
  - `clear`: limpa a lista (remove todos os elementos).

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Lista biligada: tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `LinkedList`
- Serviços:
  - `addFirst`: insere um elemento no início da lista.
  - `addLast`: insere um elemento no fim da lista.
  - `first`: devolve o primeiro elemento da lista.
  - `last`: devolve o último elemento lista.
  - `removeFirst`: retira o elemento no início da lista.
  - `removeLast`: retira o elemento no início da lista.
  - `size`: devolve a dimensão actual da lista.
  - `isEmpty`: verifica se a lista está vazia.
  - `clear`: limpa a lista (remove todos os elementos).

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Lista biligada: tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `LinkedList`
- Serviços:
  - `addFirst`: insere um elemento no início da lista.
  - `addLast`: insere um elemento no fim da lista.
  - `first`: devolve o primeiro elemento da lista.
  - `last`: devolve o último elemento lista.
  - `removeFirst`: retira o elemento no início da lista.
  - `removeLast`: retira o elemento no início da lista.
  - `size`: devolve a dimensão actual da lista.
  - `isEmpty`: verifica se a lista está vazia.
  - `clear`: limpa a lista (remove todos os elementos).

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Lista biligada: tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `LinkedList`
- Serviços:
  - `addFirst`: insere um elemento no início da lista.
  - `addLast`: insere um elemento no fim da lista.
  - `first`: devolve o primeiro elemento da lista.
  - `last`: devolve o último elemento lista.
  - `removeFirst`: retira o elemento no início da lista.
  - `removeLast`: retira o elemento no início da lista.
  - `size`: devolve a dimensão actual da lista.
  - `isEmpty`: verifica se a lista está vazia.
  - `clear`: limpa a lista (remove todos os elementos).

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Lista biligada: tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `LinkedList`
- Serviços:
  - `addFirst`: insere um elemento no início da lista.
  - `addLast`: insere um elemento no fim da lista.
  - `first`: devolve o primeiro elemento da lista.
  - `last`: devolve o último elemento lista.
  - `removeFirst`: retira o elemento no início da lista.
  - `removeLast`: retira o elemento no início da lista.
  - `size`: devolve a dimensão actual da lista.
  - `isEmpty`: verifica se a lista está vazia.
  - `clear`: limpa a lista (remove todos os elementos).

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Lista biligada: tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `LinkedList`
- Serviços:
  - `addFirst`: insere um elemento no início da lista.
  - `addLast`: insere um elemento no fim da lista.
  - `first`: devolve o primeiro elemento da lista.
  - `last`: devolve o último elemento lista.
  - `removeFirst`: retira o elemento no início da lista.
  - `removeLast`: retira o elemento no início da lista.
  - `size`: devolve a dimensão actual da lista.
  - `isEmpty`: verifica se a lista está vazia.
  - `clear`: limpa a lista (remove todos os elementos).

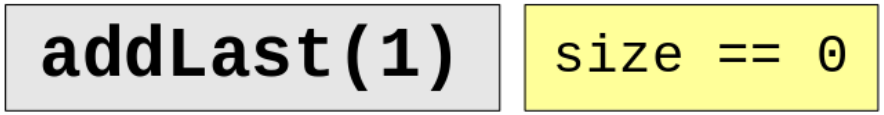
Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Lista biligada: tipo de dados abstrato

- Nome do módulo:
  - `LinkedList`
- Serviços:
  - `addFirst`: insere um elemento no início da lista.
  - `addLast`: insere um elemento no fim da lista.
  - `first`: devolve o primeiro elemento da lista.
  - `last`: devolve o último elemento lista.
  - `removeFirst`: retira o elemento no início da lista.
  - `removeLast`: retira o elemento no início da lista.
  - `size`: devolve a dimensão actual da lista.
  - `isEmpty`: verifica se a lista está vazia.
  - `clear`: limpa a lista (remove todos os elementos).

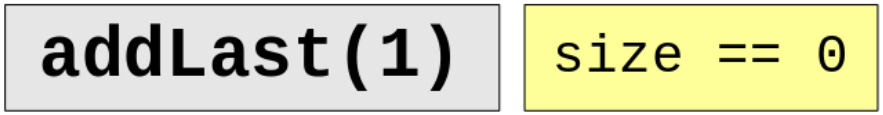
Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Lista biligada: novo elemento em lista vazia



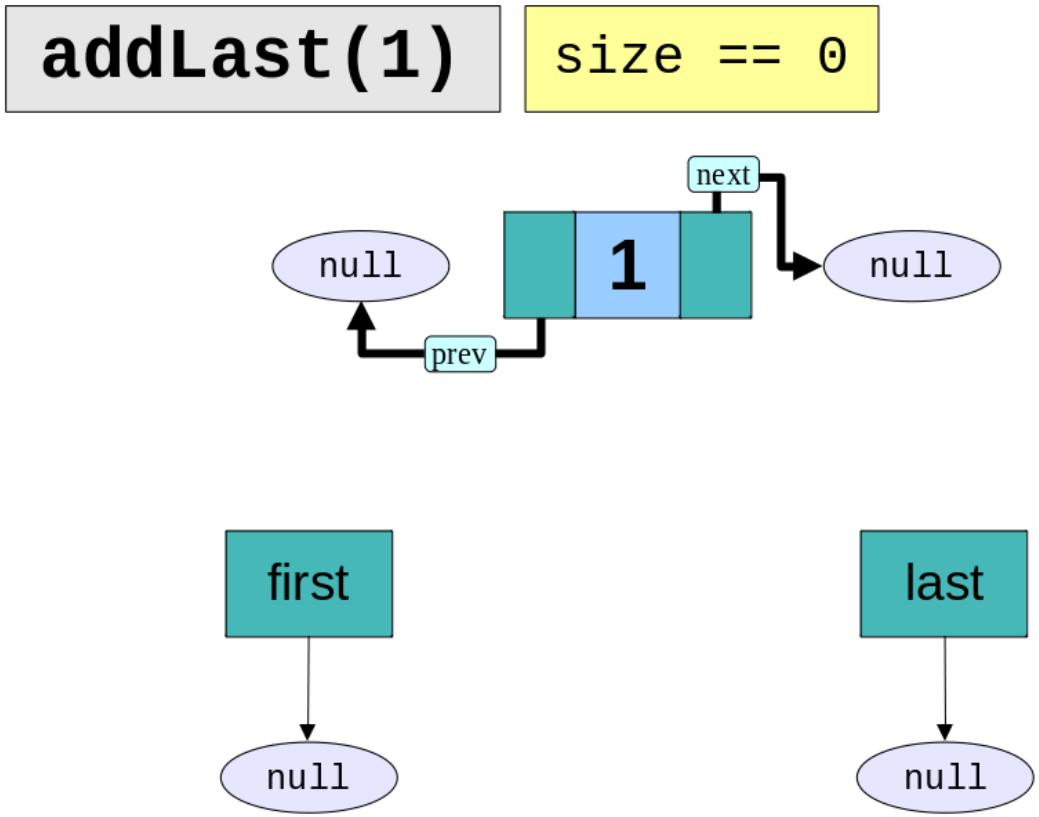
Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Lista biligada: novo elemento em lista vazia



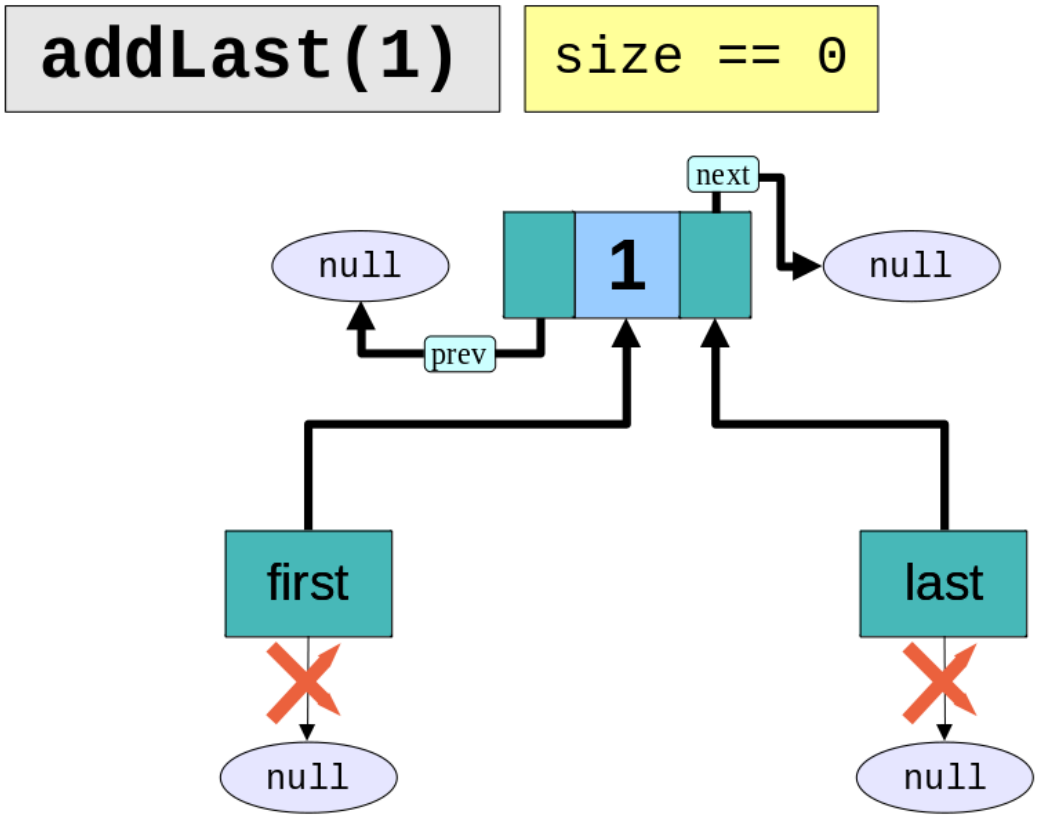
Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Lista biligada: novo elemento em lista vazia



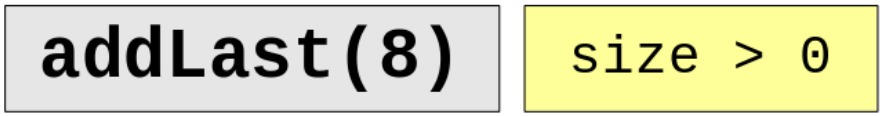
Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Lista biligada: novo elemento em lista vazia



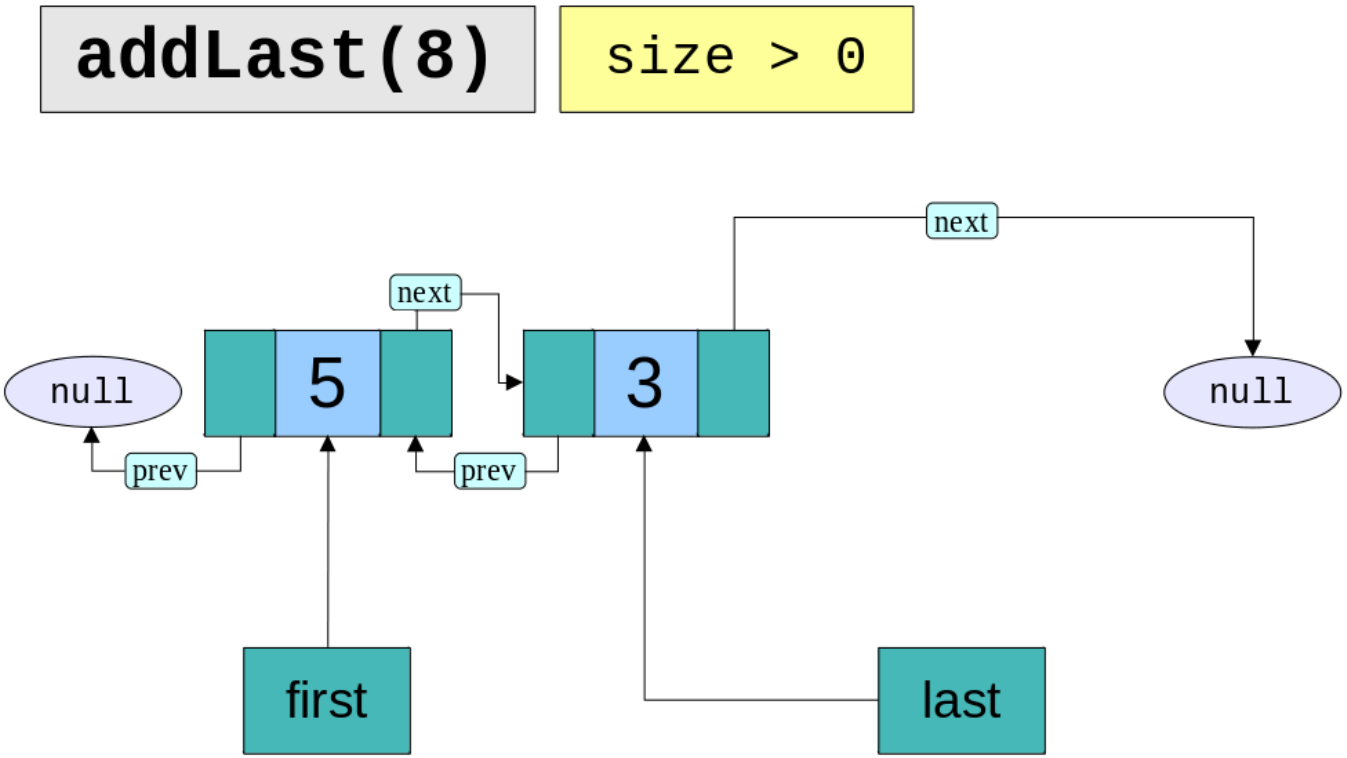
Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Lista biligada: novo elemento



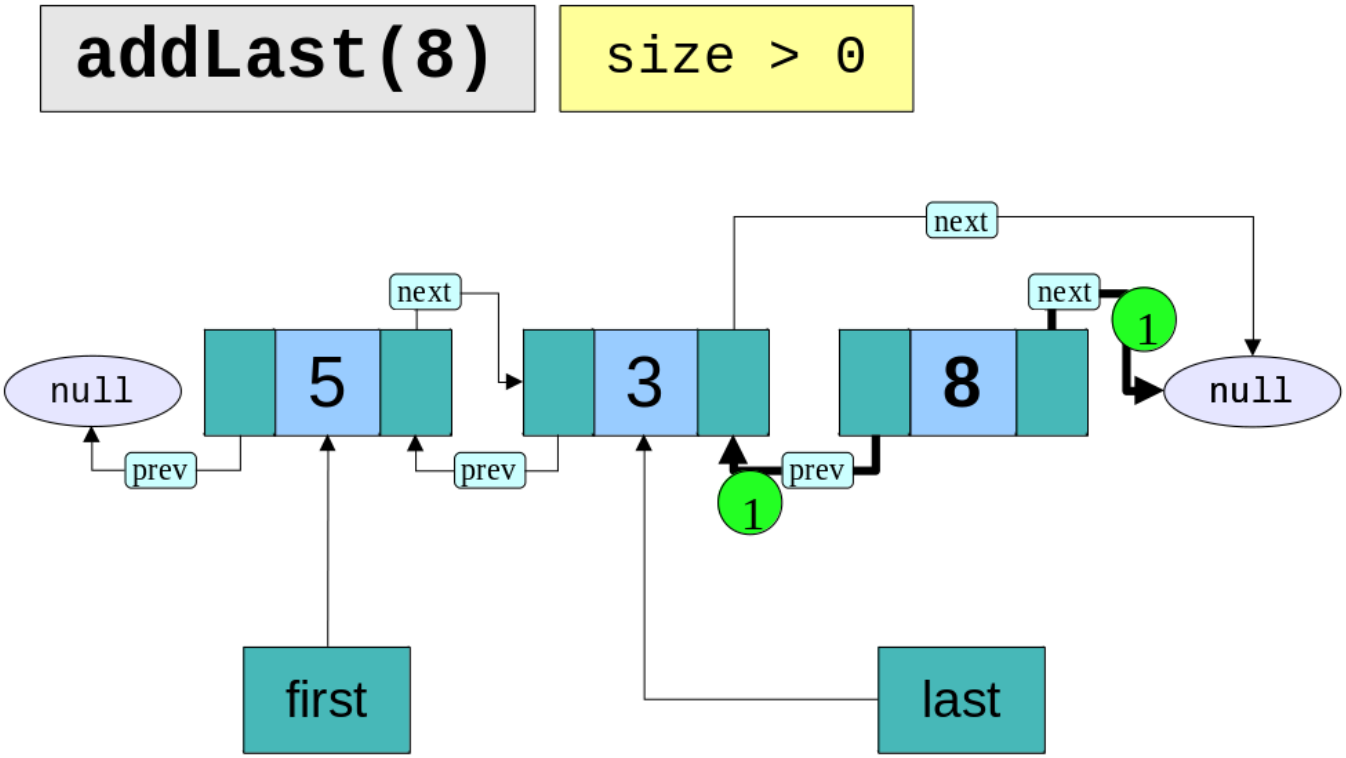
Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Lista biligada: novo elemento



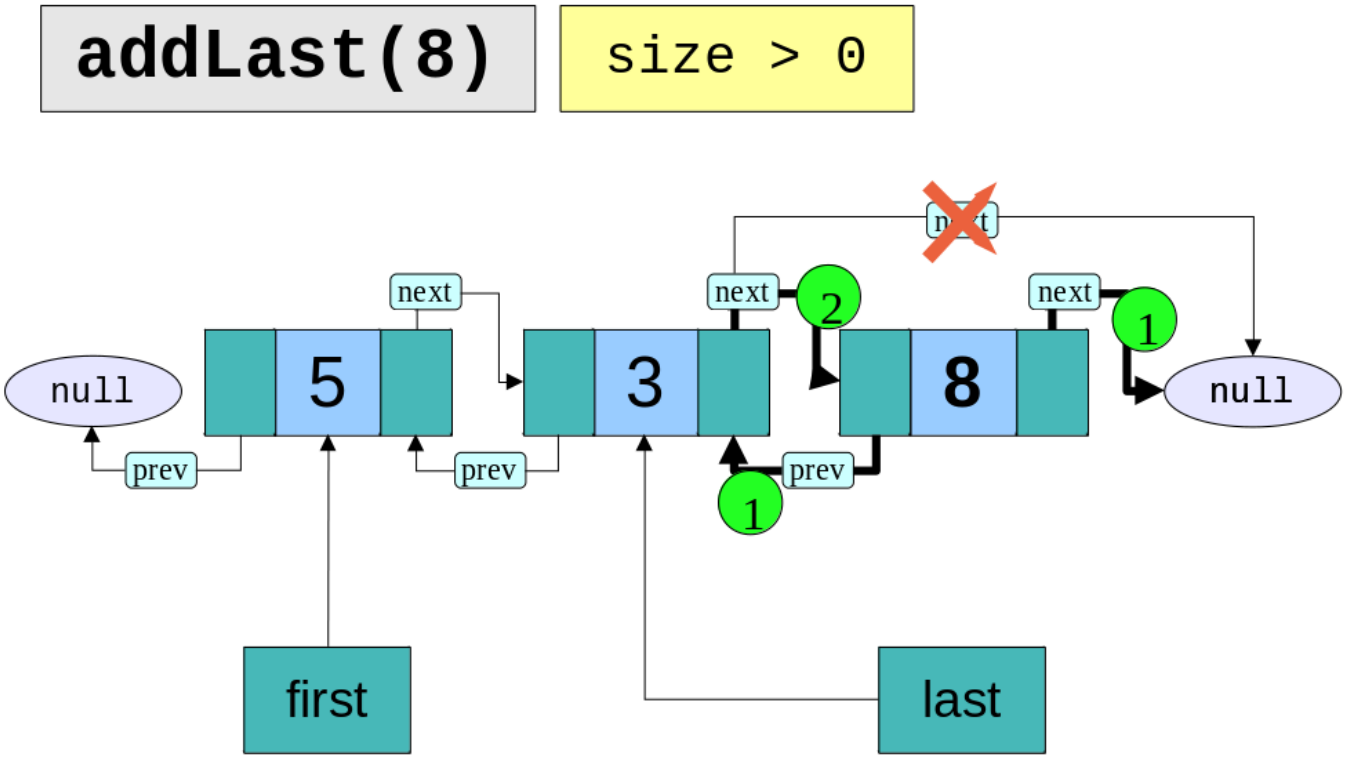
Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Lista biligada: novo elemento



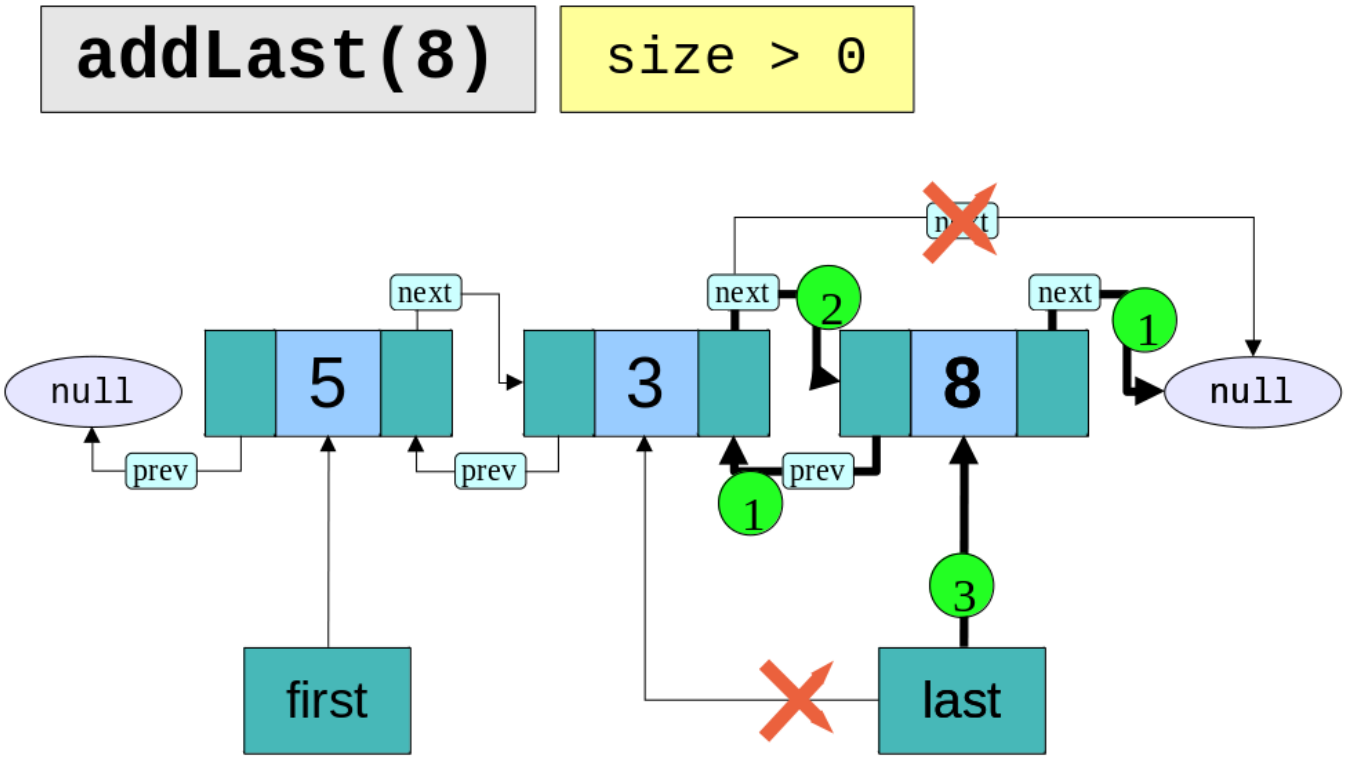
Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Lista biligada: novo elemento



Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Lista biligada: novo elemento



Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

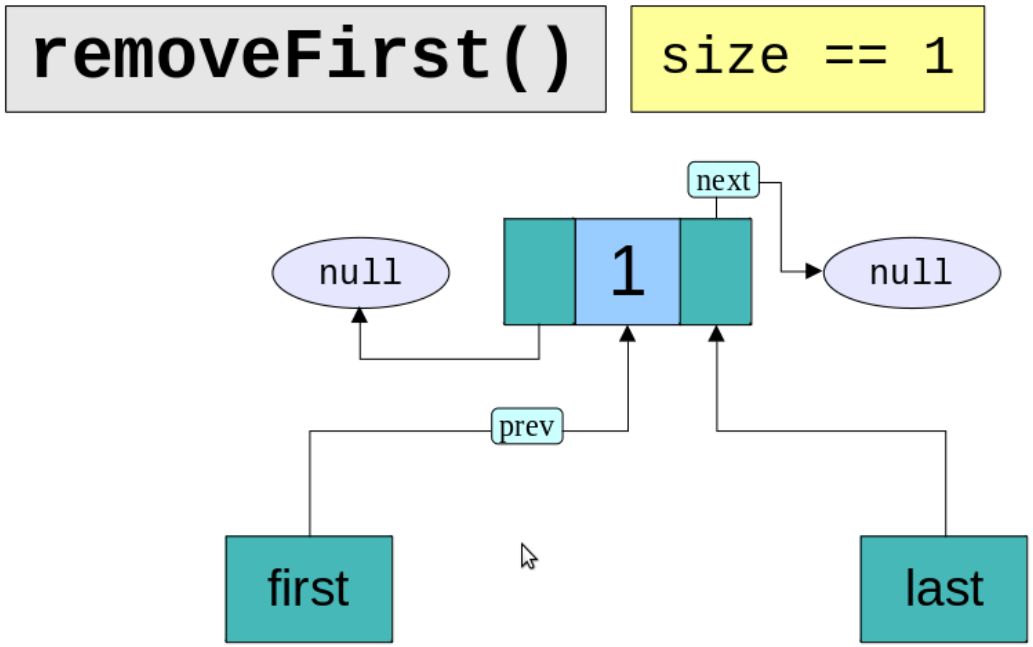
Lista biligada: remoção do último elemento

```
removeFirst()
```

```
size == 1
```

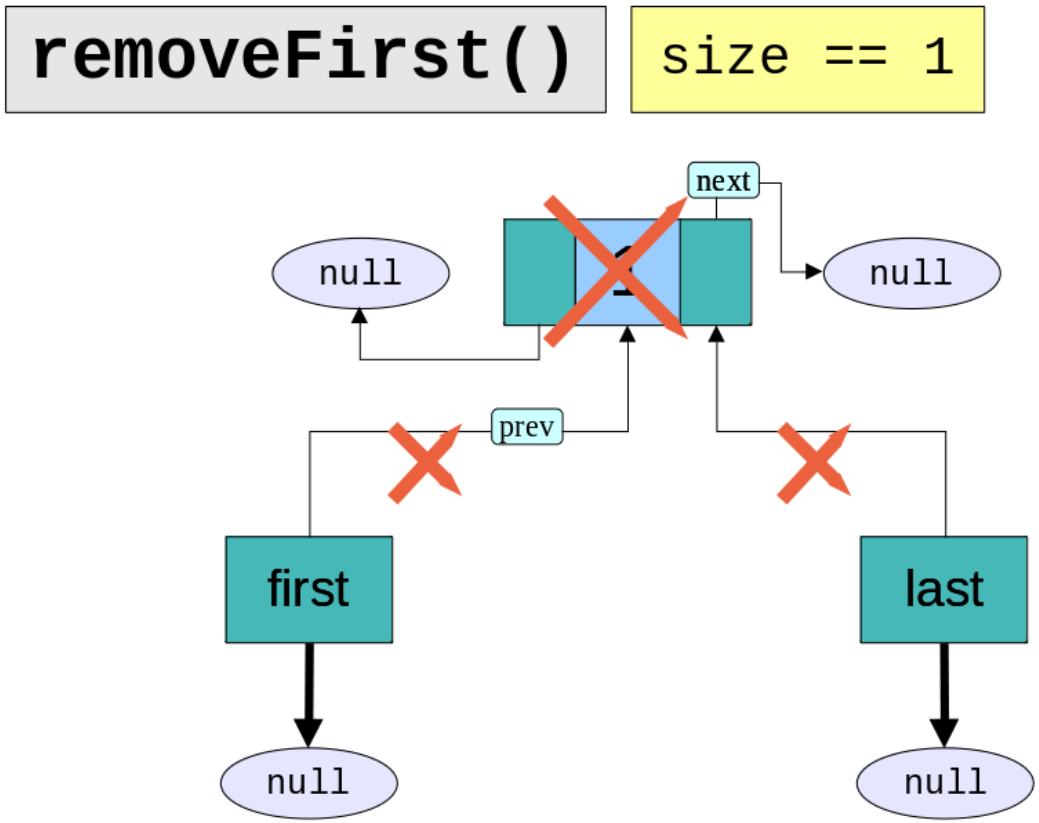

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Lista biligada: remoção do último elemento



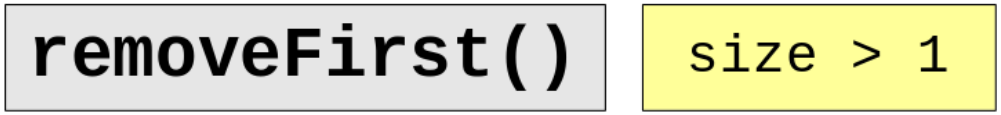
Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Lista biligada: remoção do último elemento



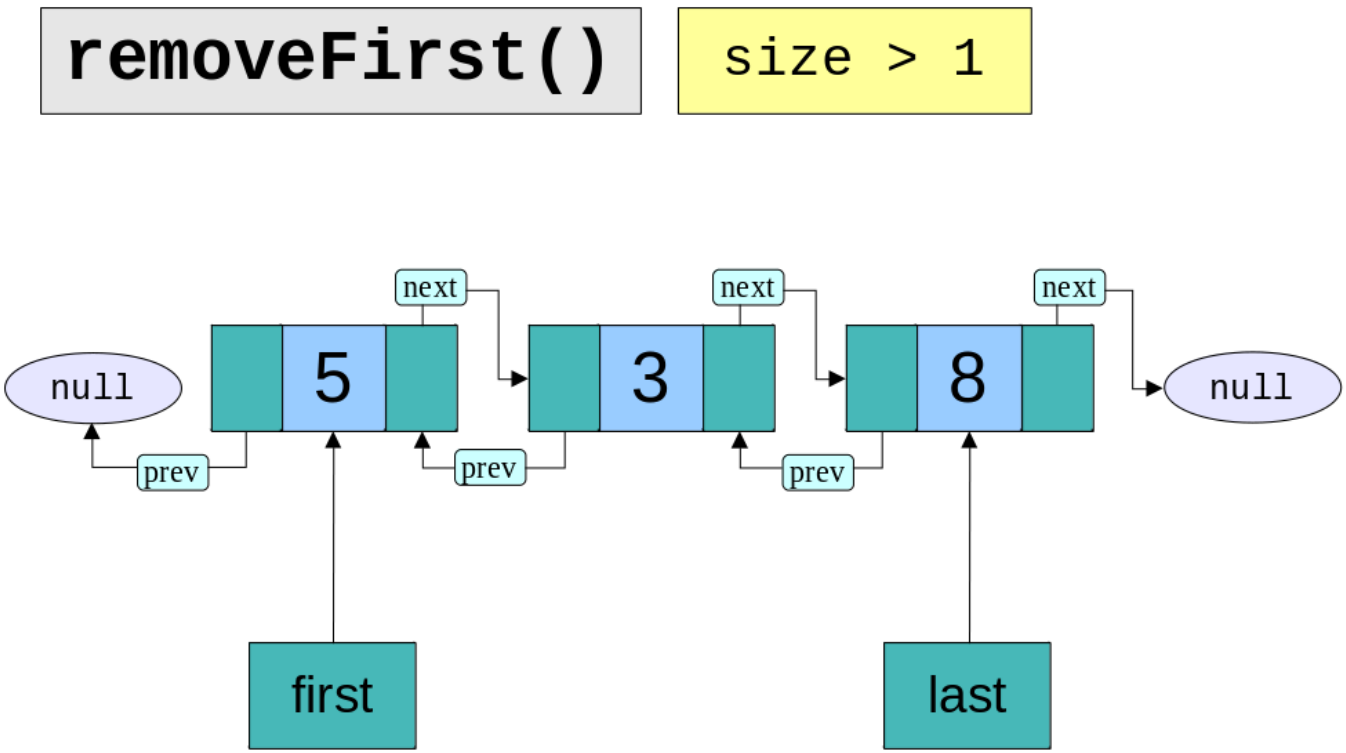
Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Lista biligada: remoção



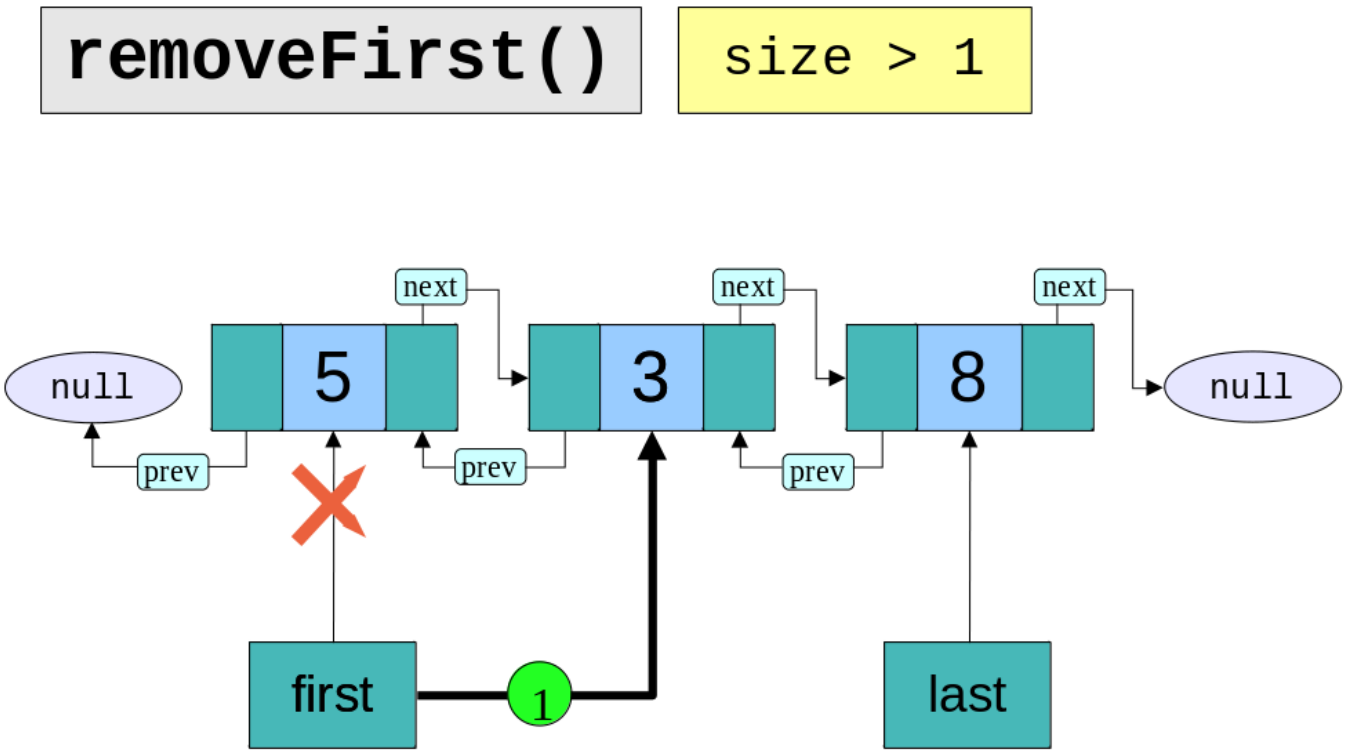
Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Lista biligada: remoção



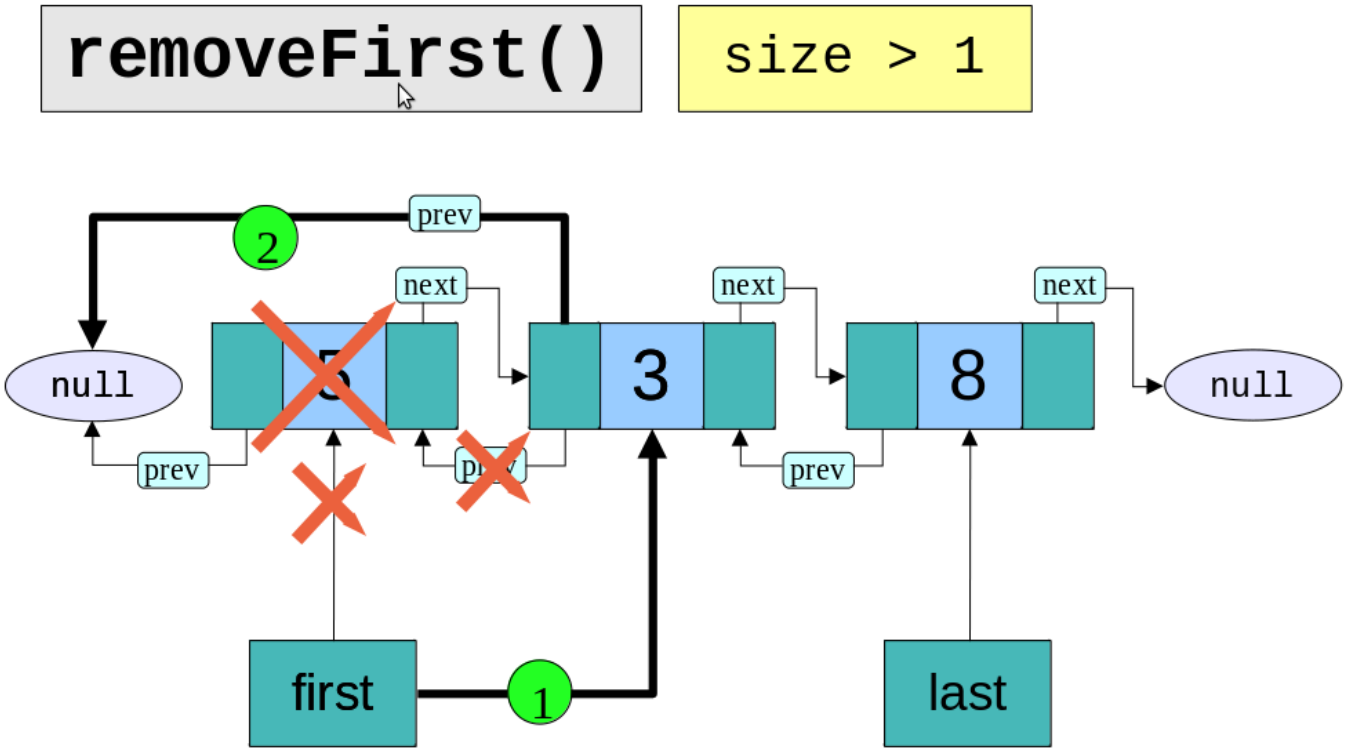
Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Lista biligada: remoção



Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Lista biligada: remoção



Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas

Tipos de Listas Ligadas

Tipo de Lista	Simples	Simples	Circular Simples	Biligada	Circular Biligada
Atributos / Operações	first	first last	last	first last	first (last)
insert first	$O(1)$	$O(1)$	$O(1)$	$O(1)$	$O(1)$
remove first	$O(1)$	$O(1)$	$O(1)$	$O(1)$	$O(1)$
insert last	$O(n)$	$O(1)$	$O(1)$	$O(1)$	$O(1)$
remove last	$O(n)$	$O(n)$	$O(n)$	$O(1)$	$O(1)$
scan forward	$O(n)$	$O(n)$	$O(n)$	$O(n)$	$O(n)$
scan backward	$O(n^2)$	$O(n^2)$	$O(n^2)$	$O(n)$	$O(n)$
insert middle	$O(n)$	$O(n)$	$O(n)$	$O(n)$	$O(n)$
remove middle	$O(n)$	$O(n)$	$O(n)$	$O(n)$	$O(n)$

Tipos de Listas Ligadas

Tipo de Lista	Simples	Simples	Circular Simples	Biligada	Circular Biligada
Atributos / **Operações**	first	first last	last	first last	first (last)
insert first	$O(1)$	$O(1)$	$O(1)$	$O(1)$	$O(1)$
remove first	$O(1)$	$O(1)$	$O(1)$	$O(1)$	$O(1)$
insert last	$O(n)$	$O(1)$	$O(1)$	$O(1)$	$O(1)$
remove last	$O(n)$	$O(n)$	$O(n)$	$O(1)$	$O(1)$
scan forward	$O(n)$	$O(n)$	$O(n)$	$O(n)$	$O(n)$
scan backward	$O(n^2)$	$O(n^2)$	$O(n^2)$	$O(n)$	$O(n)$
insert middle	$O(n)$	$O(n)$	$O(n)$	$O(n)$	$O(n)$
remove middle	$O(n)$	$O(n)$	$O(n)$	$O(n)$	$O(n)$

Pilhas e filas
Definições e tipos de dados abstratos
Implementação em lista ligada
Implementação em vector
Listas biligadas
Comparação entre diferentes tipos de listas ligadas