

Estrutura de Dados

Claudio Cesar de Sá, Alessandro Ferreira Leite, Lucas Hermman Negri,
Gilmário Barbosa

Departamento de Ciência da Computação
Centro de Ciências e Tecnologias
Universidade do Estado de Santa Catarina

29 de julho de 2017

Sumário (1)

O Curso

- Ferramentas

- Metodologia e avaliação

- Dinâmica

- Referências

Ponteiros

Ponteiro

Ponteiros e Matrizes

- Indireção Múltipla

Ponteiro para Funções

Alocação dinâmica

Sumário (2)

Pilha

Introdução

Filas

Listas

Lista Lineares Estáticas

Tabelas Hash

Introdução as Tabelas Hash

Tabelas de endereço direto

Tabelas hash

Funções de Hash

Funções para chaves inteiras

Sumário (3)

Funções para cadeias de caracteres

Resolução de Colisões

Encadeamento

Endereçamento aberto

Agradecimentos

Vários autores e colaboradores ...

- Ao Google Images ...

Disciplina

Estrutura de Dados – EDA001

- **Turma:**
- **Professor:** Claudio Cesar de Sá
 - `claudio.sa@udesc.br`
 - Sala 13 Bloco F
- **Carga horária:** 72 horas-aula • Teóricas: 36 • Práticas: 36
- **Curso:** BCC
- **Requisitos:** LPG, Linux, LMA, conhecimento da linguagem C
- **Período:** 2º semestre de 2017
- **Horários:**
 - 3ª 15h20 (2 aulas) - F-205 – aula expositiva
 - 5ª 15h20 (2 aulas) - F-205 – lab

Ementa

Ementa

Representação e manipulação de tipos abstratos de dados. Estruturas lineares. Introdução a estruturas hierárquicas. Métodos de classificação. Análise de eficiência. Aplicações.

Objetivos (1)

- **Geral:**
FALTANDO

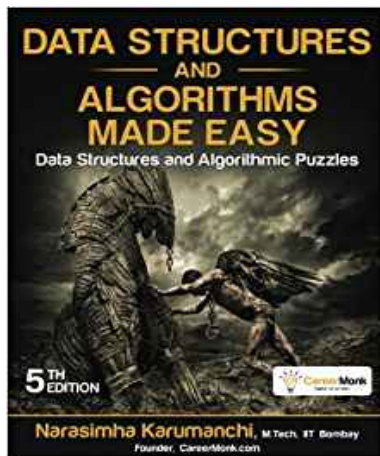
Objetivos (2)

- ***Específicos:***

- ☐ FALTANDO

- ☐

Livros que estarei usando ...



Conteúdo programático

- FALTANDO

Bibliografia UDESC

- FALTANDO

Conteúdo programático

- FALTANDO

Ferramentas

- Linguagem C
- Codeblock
- Linux

Metodologia e avaliação (1)

Metodologia:

As aulas serão expositivas e práticas. A cada novo assunto tratado, exemplos são demonstrados utilizando ferramentas computacionais adequadas para consolidar os conceitos tratados.

Metodologia e avaliação (2)

Avaliação

- Tres provas – $\approx 90\%$
 - P_1 : xx/set
 - P_2 : yy/out
 - P_2 : zz/nov(provão: todo conteúdo)
- Exercícios de laboratório – $\approx \%$
- Presença e participação
- Média para aprovação: 6,0 (seis)
Nota maior ou igual a 6,0, repito a mesma no Exame Final. Caso contrário, regras da UDESC

Dinâmica de Aula

- Teoria na 3a. feira
- Prática na 5a. feira
- E/ou 50% do tempo em teoria, 50% implementações

Bibliografia (1)

Básica:

- FALTANDO
- FALTANDO
- FALTANDO
- FALTANDO
- FALTANDO
- `https://github.com/claudiosa/CCS/tree/master/estrutura_dados_EDA`

Complementar:

- FALTANDO
- FALTANDO
- FALTANDO

Capítulo xxxxx – Ponteiros (1)

Pontos fundamentais a serem cobertos:

1. **Pré-requisito: prática na linguagem C**
2. Uso de Memória
3. Alocação de memória Estática x Dinâmica
4. Alocação dinâmica de memória
5. Funções para alocação de memória
6. Utilizando as funções para alocação de memória
7. Alocação de memória e estruturas em C
8. Ponteiros para ponteiros

asciiville^{v2}

<http://asciiville.com>

J.T. Presta
12/29/11

"Null Pointer"

© J.T. Presta. All rights reserved.



Motivação aos Ponteiros (1)

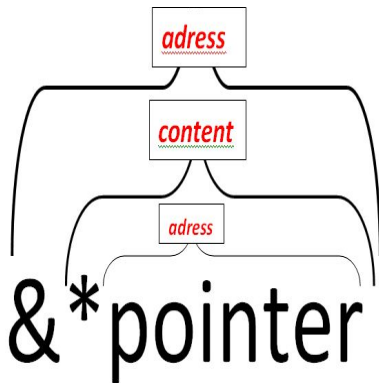


Figura: A história está por vir ...

Observem o seguinte código

```
void b(int a) {  
    a++;  
    printf("%d\n", a);  
}  
  
int main(int argc, char *argv[]) {  
    int a = 5;  
    printf("%d\n", a);  
    b(a);  
    printf("%d\n", a);  
}
```

Observem o seguinte código

```
void b(int a) {  
    a++;  
    printf("%d\n", a);  
}
```

```
int main(int argc, char *argv[]) {  
    int a = 5;  
    printf("%d\n", a);  
    b(a);  
    printf("%d\n", a);  
}
```

- Ao executarmos esse código, qual será a sua saída?

```
void bb(int *a) {  
    ++(*a);  
    printf( "%d\n" ,*a );  
}
```

```
int main(int argc , char *argv[]) {  
    int a = 5;  
    printf( "%d\n" , a );  
    bb(&a);  
    printf( "%d\n" , a );  
}
```



```
void bb(int *a) {  
    ++(*a);  
    printf( "%d\n" ,*a );  
}
```

```
int main(int argc , char *argv[]) {  
    int a = 5;  
    printf( "%d\n" , a );  
    bb(&a);  
    printf( "%d\n" , a );  
}
```

- Qual é a saída do código acima?
- Qual(is) é(são) a(s) diferença(s) para o código anterior?

Ponteiro

- O correto entendimento e uso de ponteiros é crítico para uma programação bem-sucedida em C.

Ponteiro

- O correto entendimento e uso de ponteiros é crítico para uma programação bem-sucedida em C.
- Ponteiros são muito utilizados em C, em parte porque eles são, às vezes, a única forma de expressar uma computação.

Ponteiro

- O correto entendimento e uso de ponteiros é crítico para uma programação bem-sucedida em C.
- Ponteiros são muito utilizados em C, em parte porque eles são, às vezes, a única forma de expressar uma computação.
- Em alguns casos, o uso de ponteiro resulta em um código mais compacto e eficiente que obtido de outras formas.

Ponteiro

- O correto entendimento e uso de ponteiros é crítico para uma programação bem-sucedida em C.
- Ponteiros são muito utilizados em C, em parte porque eles são, às vezes, a única forma de expressar uma computação.
- Em alguns casos, o uso de ponteiro resulta em um código mais compacto e eficiente que obtido de outras formas.
- Ponteiros e vetores são intimamente, relacionados.

Ponteiro

- Basicamente há três, razões para utilizar ponteiros:

Ponteiro

- Basicamente há três, razões para utilizar ponteiros:
 1. Ponteiros fornecem os meios pelos quais as funções podem modificar seus argumentos;

Ponteiro

- Basicamente há três, razões para utilizar ponteiros:
 1. Ponteiros fornecem os meios pelos quais as funções podem modificar seus argumentos;
 2. Ponteiros são usados para suportar as rotinas de alocação dinâmica em C;

Ponteiro

- Basicamente há três, razões para utilizar ponteiros:
 1. Ponteiros fornecem os meios pelos quais as funções podem modificar seus argumentos;
 2. Ponteiros são usados para suportar as rotinas de alocação dinâmica em C;
 3. O uso de ponteiros pode aumentar a eficiência de certas rotinas.

Ponteiro

- Basicamente há três, razões para utilizar ponteiros:
 1. Ponteiros fornecem os meios pelos quais as funções podem modificar seus argumentos;
 2. Ponteiros são usados para suportar as rotinas de alocação dinâmica em C;
 3. O uso de ponteiros pode aumentar a eficiência de certas rotinas.
- Por outro lado, ponteiros podem ser comparados ao uso do comando **goto**, como uma forma diferente de escrever códigos impossíveis de entender.

Ponteiros e endereços

- Em uma máquina típica, a memória é organizada como um vetor de células consecutivas numeradas ou endereçadas, que podem ser manipuladas individualmente ou em grupos contínuos.

Ponteiros e endereços

- Em uma máquina típica, a memória é organizada como um vetor de células consecutivas numeradas ou endereçadas, que podem ser manipuladas individualmente ou em grupos contínuos.
- Uma situação comum é que qualquer *byte* pode ser um *char*, um par de células de um *byte* pode ser tratado como um inteiro *short*, etc.

Ponteiros e endereços

- Em uma máquina típica, a memória é organizada como um vetor de células consecutivas numeradas ou endereçadas, que podem ser manipuladas individualmente ou em grupos contínuos.
- Uma situação comum é que qualquer *byte* pode ser um *char*, um par de células de um *byte* pode ser tratado como um inteiro *short*, etc.
- Um ponteiro é um grupo de células que podem conter um endereço.

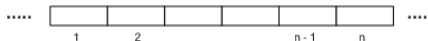


Figura: Representação da memória de uma máquina típica

Ponteiro

Definição

- É uma **variável que contém um endereço de memória**. Esse endereço é normalmente a posição de memória de uma outra variável.

Ponteiro

Definição

- É uma **variável que contém um endereço de memória**. Esse endereço é normalmente a posição de memória de uma outra variável.
- Se uma variável contém o endereço de uma outra, então a primeira é dita um ponteiro para a segunda.

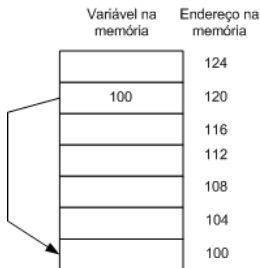


Figura: Representação de ponteiro

Variáveis ponteiro

1. A linguagem C permite o armazenamento e a manipulação de valores de endereço de memória.

Variáveis ponteiro

1. A linguagem C permite o armazenamento e a manipulação de valores de endereço de memória.
2. Para cada tipo existente(int,long,float,double, char), há um tipo ponteiro capaz de armazenar endereços de memória em que existem valores do tipo correspondente armazenados.

Variáveis ponteiro

1. A linguagem C permite o armazenamento e a manipulação de valores de endereço de memória.
2. Para cada tipo existente(int,long,float,double, char), há um tipo ponteiro capaz de armazenar endereços de memória em que existem valores do tipo correspondente armazenados.
3. Um ponteiro proporciona um modo de acesso a variáveis sem referenciá-las diretamente.

Algumas das razões para utilizar ponteiros são

1. Ponteiros fornecem maneiras com as quais as funções podem realmente modificar os argumentos que recebem.

Algumas das razões para utilizar ponteiros são

1. Ponteiros fornecem maneiras com as quais as funções podem realmente modificar os argumentos que recebem.
2. Para criar estruturas de dados complexas, como listas encadeadas e árvores binárias, onde uma estrutura de dados deve conter referências sobre outra.

Algumas das razões para utilizar ponteiros são

1. Ponteiros fornecem maneiras com as quais as funções podem realmente modificar os argumentos que recebem.
2. Para criar estruturas de dados complexas, como listas encadeadas e árvores binárias, onde uma estrutura de dados deve conter referências sobre outra.
3. Para comunicar informações sobre a memória, como na função **malloc** que retorna a localização de memória livre através do uso de ponteiro.

Algumas das razões para utilizar ponteiros são

1. Ponteiros fornecem maneiras com as quais as funções podem realmente modificar os argumentos que recebem.
2. Para criar estruturas de dados complexas, como listas encadeadas e árvores binárias, onde uma estrutura de dados deve conter referências sobre outra.
3. Para comunicar informações sobre a memória, como na função **malloc** que retorna a localização de memória livre através do uso de ponteiro.
4. Notações de ponteiros compilam mais rapidamente tornando o código mais eficiente.

Algumas das razões para utilizar ponteiros são

1. Ponteiros fornecem maneiras com as quais as funções podem realmente modificar os argumentos que recebem.
2. Para criar estruturas de dados complexas, como listas encadeadas e árvores binárias, onde uma estrutura de dados deve conter referências sobre outra.
3. Para comunicar informações sobre a memória, como na função **malloc** que retorna a localização de memória livre através do uso de ponteiro.
4. Notações de ponteiros compilam mais rapidamente tornando o código mais eficiente.
5. Para manipular matrizes mais facilmente através de movimentação de ponteiros para elas (ou parte delas), em vez de a própria matriz.

Variáveis do tipo ponteiro

- A linguagem C não reserva uma palavra especial para a declaração de ponteiros.

Variáveis do tipo ponteiro

- A linguagem C não reserva uma palavra especial para a declaração de ponteiros.
- As variáveis do tipo ponteiro são declaradas da seguinte forma: *tipo* com os nomes das variáveis precedidos pelo caractere ***.

```
int *a , *b ;
```

Variáveis do tipo ponteiro

- A linguagem C não reserva uma palavra especial para a declaração de ponteiros.
- As variáveis do tipo ponteiro são declaradas da seguinte forma: *tipo* com os nomes das variáveis precedidos pelo caractere *****.

```
int *a , *b ;
```

- A instrução acima declara que ***a** e ***b** são do tipo **int** e que ***a** e ***b** são ponteiros, isto é **a** e **b** contém endereços de variáveis do tipo **int**.

Operadores de ponteiros

- A linguagem C oferece dois operadores unários para trabalharem com ponteiros.

Operador	significado
&	("endereço de")
*	("conteúdo de")

Operadores de ponteiros

- O operador & (“endereço de”), aplicado a variáveis, resulta no endereço da posição da memória reservada para a variável. Por exemplo,

`a = &b;`

Operadores de ponteiros

- O operador & (“endereço de”), aplicado a variáveis, resulta no endereço da posição da memória reservada para a variável. Por exemplo,

`a = &b;`

- coloca em **a** o endereço da memória que contém a variável **b**.

Operadores de ponteiros

- O operador & (“endereço de”), aplicado a variáveis, resulta no endereço da posição da memória reservada para a variável. Por exemplo,

`a = &b;`

- coloca em **a** o endereço da memória que contém a variável **b**.
- O endereço não tem relação algum com o valor da variável **b**.

Operadores de ponteiros

- O operador & (“endereço de”), aplicado a variáveis, resulta no endereço da posição da memória reservada para a variável. Por exemplo,

`a = &b;`

- coloca em **a** o endereço da memória que contém a variável **b**.
- O endereço não tem relação algum com o valor da variável **b**.
- Após as declarações as duas variáveis armazenam “lixos”, pois não foram inicializadas.

Operadores de ponteiros

- O operador * (“conteúdo de”), aplicado a variáveis do **tipo ponteiro**, acessa o **conteúdo do endereço da memória** pela variável ponteiro, isto é, devolve o conteúdo da variável apontada pelo operando. Por exemplo:

`a = *b;`

Operadores de ponteiros

- O operador * (“conteúdo de”), aplicado a variáveis do **tipo ponteiro**, acessa o **conteúdo do endereço da memória** pela variável ponteiro, isto é, devolve o conteúdo da variável apontada pelo operando. Por exemplo:

`a = *b;`

- Coloca o valor de **b** em **a**, ou seja, **a** recebe o valor que está no endereço **b**.

Atribuição e acessos de endereço

```
/* a recebe o valor 5*/  
a = 5;
```

```
/* p recebe o endereço de a (p aponta para a). */  
p = &a;
```

```
/* conteúdo de p recebe o valor 10 */  
*p = 10;
```

Atribuição e acessos de endereço

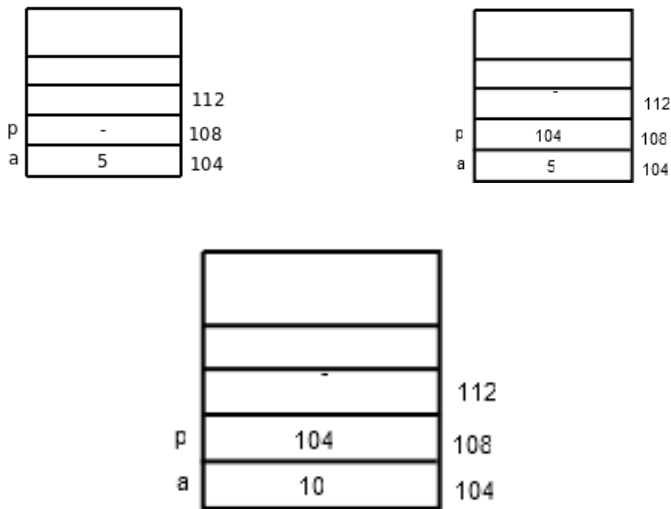


Figura: Efeito da atribuição de variáveis na pilha de execução

Atribuição de ponteiros

- Assim como ocorre com qualquer variável, também podemos atribuir um valor a um ponteiro. Exemplo:

```
void main(void) {  
    int a = 10;  
    int *b, *c;  
    b = &a;  
    c = b;  
    printf("%p", c);  
}
```

	Variável na memória	Endereço na memória
		124
		120
		116
		112
c	104	108
b	100	104
a	10	100

Operações com ponteiros

- **Incremento/Decremento:**

Operações com ponteiros

■ **Incremento/Decremento:**

- Podemos incrementar um ponteiro através da adição regular ou pelo operador de incremento (`++`).

Operações com ponteiros

■ Incremento/Decremento:

- Podemos incrementar um ponteiro através da adição regular ou pelo operador de incremento ($++$).
- Incrementar um ponteiro acarreta na movimentação do mesmo para o próximo tipo apontado.

Operações com ponteiros

■ Incremento/Decremento:

- Podemos incrementar um ponteiro através da adição regular ou pelo operador de incremento (`++`).
- Incrementar um ponteiro acarreta na movimentação do mesmo para o próximo tipo apontado.
- Se **pa** é um ponteiro para inteiro com valor 200, depois de executada a instrução: **pa++**, o valor de **pa** será 202 e não 201.

Operações com ponteiros

■ Incremento/Decremento:

- Podemos incrementar um ponteiro através da adição regular ou pelo operador de incremento (`++`).
- Incrementar um ponteiro acarreta na movimentação do mesmo para o próximo tipo apontado.
- Se **pa** é um ponteiro para inteiro com valor 200, depois de executada a instrução: **pa++**, o valor de **pa** será 202 e não 201.
- Com isso, cada vez que incrementamos **pa** ele apontará para o próximo tipo apontado.

Operações com ponteiros

■ Incremento/Decremento:

- Podemos incrementar um ponteiro através da adição regular ou pelo operador de incremento ($++$).
- Incrementar um ponteiro acarreta na movimentação do mesmo para o próximo tipo apontado.
- Se **pa** é um ponteiro para inteiro com valor 200, depois de executada a instrução: **pa++**, o valor de **pa** será 202 e não 201.
- Com isso, cada vez que incrementamos **pa** ele apontará para o próximo tipo apontado.
- O mesmo é verdadeiro para o operador de decremento.

Operações com ponteiros

- **Comparações entre ponteiros:**

Operações com ponteiros

- **Comparações entre ponteiros:**

- Ponteiros podem ser comparados:

`if (pa <> pb)`

Operações com ponteiros

■ Comparações entre ponteiros:

- Ponteiros podem ser comparados:

if (pa \diamond pb)

- Testes relacionais com \geq , \leq , $>$, $<$ são aceitos entre ponteiros, desde que os operandos sejam ponteiros.

Operações com ponteiros

■ Comparações entre ponteiros:

- Ponteiros podem ser comparados:

if (pa \diamond pb)

- Testes relacionais com \geq , \leq , $>$, $<$ são aceitos entre ponteiros, desde que os operandos sejam ponteiros.
- O tipo dos operandos devem ser o mesmo, para não obter resultados sem sentido.

Operações com ponteiros

■ Comparações entre ponteiros:

- Ponteiros podem ser comparados:

`if (pa <> pb)`

- Testes relacionais com `>=`, `<=`, `>`, `<` são aceitos entre ponteiros, desde que os operandos sejam ponteiros.
- O tipo dos operandos devem ser o mesmo, para não obter resultados sem sentido.
- Variáveis ponteiros podem ser testadas quanto à igualdade (`==`) ou desigualdade (`!=`) onde os operandos são ponteiros, ou um dos operandos `NULL`.

Operações com ponteiros

- **Atribuição:**

Operações com ponteiros

■ Atribuição:

- Um endereço pode ser atribuído a um ponteiro através do operador unário & junto a uma variável simples. Exemplo:

```
pa = &a;
```

Operações com ponteiros

■ Atribuição:

- Um endereço pode ser atribuído a um ponteiro através do operador unário & junto a uma variável simples. Exemplo:

`pa = &a;`

■ Leitura de valores:

Operações com ponteiros

■ Atribuição:

- Um endereço pode ser atribuído a um ponteiro através do operador unário & junto a uma variável simples. Exemplo:

`pa = &a ;`

■ Leitura de valores:

- O operador (*) devolve o valor guardado no endereço apontado.

Operações com ponteiros

■ Atribuição:

- Um endereço pode ser atribuído a um ponteiro através do operador unário & junto a uma variável simples. Exemplo:

`pa = &a ;`

■ Leitura de valores:

- O operador (*) devolve o valor guardado no endereço apontado.

■ Leitura do endereço do ponteiro:

Operações com ponteiros

■ Atribuição:

- Um endereço pode ser atribuído a um ponteiro através do operador unário & junto a uma variável simples. Exemplo:

`pa = &a;`

■ Leitura de valores:

- O operador (*) devolve o valor guardado no endereço apontado.

■ Leitura do endereço do ponteiro:

- Os ponteiros variáveis também têm um endereço e um valor.

Operações com ponteiros

■ Atribuição:

- Um endereço pode ser atribuído a um ponteiro através do operador unário & junto a uma variável simples. Exemplo:

`pa = &a;`

■ Leitura de valores:

- O operador (*) devolve o valor guardado no endereço apontado.

■ Leitura do endereço do ponteiro:

- Os ponteiros variáveis também têm um endereço e um valor.
- O operador (&) retorna a posição da memória onde o ponteiro está localizado. Em resumo:

Operações com ponteiros

■ Atribuição:

- Um endereço pode ser atribuído a um ponteiro através do operador unário & junto a uma variável simples. Exemplo:

```
pa = &a;
```

■ Leitura de valores:

- O operador (*) devolve o valor guardado no endereço apontado.

■ Leitura do endereço do ponteiro:

- Os ponteiros variáveis também têm um endereço e um valor.
- O operador (&) retorna a posição da memória onde o ponteiro está localizado. Em resumo:
 1. O nome do ponteiro retorna o endereço para o qual ele aponta.

Operações com ponteiros

■ Atribuição:

- Um endereço pode ser atribuído a um ponteiro através do operador unário & junto a uma variável simples. Exemplo:

`pa = &a;`

■ Leitura de valores:

- O operador (*) devolve o valor guardado no endereço apontado.

■ Leitura do endereço do ponteiro:

- Os ponteiros variáveis também têm um endereço e um valor.
- O operador (&) retorna a posição da memória onde o ponteiro está localizado. Em resumo:
 1. O nome do ponteiro retorna o endereço para o qual ele aponta.
 2. O operador (&) junto ao nome do ponteiro retorna o endereço do ponteiro.

Operações com ponteiros

■ Atribuição:

- Um endereço pode ser atribuído a um ponteiro através do operador unário & junto a uma variável simples. Exemplo:

```
pa = &a;
```

■ Leitura de valores:

- O operador (*) devolve o valor guardado no endereço apontado.

■ Leitura do endereço do ponteiro:

- Os ponteiros variáveis também têm um endereço e um valor.
- O operador (&) retorna a posição da memória onde o ponteiro está localizado. Em resumo:
 1. O nome do ponteiro retorna o endereço para o qual ele aponta.
 2. O operador (&) junto ao nome do ponteiro retorna o endereço do ponteiro.
 3. O operador (*) junto ao nome do ponteiro retorna o conteúdo da variável apontada.

Chamada por referência

- A passagem de argumentos para funções em C são feitas por valor (“chamada por valor”).
- Na passagem de parâmetro por valor a função chamada **não pode alterar** uma variável da função chamadora.

Atribuição e acessos de endereço

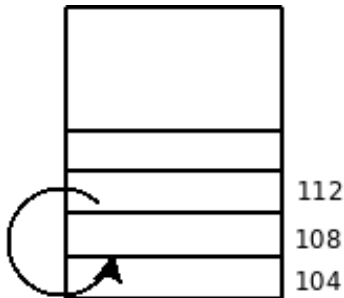


Figura: Representação gráfica do valor de um ponteiro

Chamada por referência

/ Ordena o vetor v de tamanho n, v[0 .. n-1] em ordem crescente */*

```
void ordenacaoSelecao(int n, int v[]){
```

```
    int i, j;
```

```
    for(i = 0; i < n - 1; i++)
```

```
        for(j = i + 1; j < n; j++)
```

```
            if (v[j] < v[i])
```

```
                troca(v[i], v[j]);
```

```
}
```

```
void troca(int x, int y) {
```

```
    int tmp = x;
```

```
    x = y;
```

```
    y = tmp;
```

```
}
```

Chamada por referência

- O código anterior cumpre o seu objetivo?

Chamada por referência

- O código anterior cumpre o seu objetivo?
- Por causa da chamada por valor, a função **troca** não afeta os argumentos **x** e **y** da rotina que chama, ou seja, o código está **ERRADO**.

Chamada por referência

- O código anterior cumpre o seu objetivo?
- Por causa da chamada por valor, a função **troca** não afeta os argumentos **x** e **y** da rotina que chama, ou seja, o código está **ERRADO**.
- Para obter o efeito desejado é necessário passar os endereços dos valores a serem permutados:

Chamada por referência

- O código anterior cumpre o seu objetivo?
- Por causa da chamada por valor, a função **troca** não afeta os argumentos **x** e **y** da rotina que chama, ou seja, o código está **ERRADO**.
- Para obter o efeito desejado é necessário passar os endereços dos valores a serem permutados:
 - `troca(&v[i], &v[j]);`

Chamada por referência

- O código anterior cumpre o seu objetivo?
- Por causa da chamada por valor, a função **troca** não afeta os argumentos **x** e **y** da rotina que chama, ou seja, o código está **ERRADO**.
- Para obter o efeito desejado é necessário passar os endereços dos valores a serem permutados:
 - `troca(&v[i], &v[j]);`
- O que muda na função troca?

Chamada por referência

```
/* Ordena o vetor v de tamanho n, v[0 .. n-1]  
* em ordem crescente.  
*/  
void ordenacaoSelecao(int n, int v[]){  
    int i, j;  
    for(i = 0; i < n - 1; i++)  
        for(j = i + 1; j < n; j++)  
            if (v[j] < v [i])  
                troca(&v[i],&v[j]);  
}  
/*Permuta x e y*/  
void troca(int *x, int *y) {  
    int tmp = *x;  
    *x = *y;  
    *y = tmp;  
}
```

Passagem por referência

- No código anterior os argumentos da função **troca** foram declarados como ponteiros.
- Os parâmetros ponteiros da função **troca** são ditos como de **entrada e saída**.
- Dessa forma, qualquer modificação realizada em **troca** fica visível à função que chamou.
- Para que uma função gere o efeito de chamada por referência, os ponteiros devem ser utilizados na declaração dos argumentos e a função chamadora deve mandar endereços como argumentos.

Ponteiros e matrizes

- Em C, há um estreito relacionamento entre ponteiros e matrizes.

Ponteiros e matrizes

- Em C, há um estreito relacionamento entre ponteiros e matrizes.
- O compilador transforma matrizes em ponteiros após a compilação do código.

Ponteiros e matrizes

- Em C, há um estreito relacionamento entre ponteiros e matrizes.
- O compilador transforma matrizes em ponteiros após a compilação do código.
- Qualquer operação que possa ser feita com índices de uma matriz pode ser feita com ponteiros.

Ponteiros e matrizes

- Em C, há um estreito relacionamento entre ponteiros e matrizes.
- O compilador transforma matrizes em ponteiros após a compilação do código.
- Qualquer operação que possa ser feita com índices de uma matriz pode ser feita com ponteiros.
- O nome de uma matriz é um endereço, ou seja, um ponteiro.

Ponteiros e matrizes

- Em C, há um estreito relacionamento entre ponteiros e matrizes.
- O compilador transforma matrizes em ponteiros após a compilação do código.
- Qualquer operação que possa ser feita com índices de uma matriz pode ser feita com ponteiros.
- O nome de uma matriz é um endereço, ou seja, um ponteiro.
- Ponteiros e matrizes são idênticos na maneira de acessar a memória.

Ponteiros e matrizes

- Em C, há um estreito relacionamento entre ponteiros e matrizes.
- O compilador transforma matrizes em ponteiros após a compilação do código.
- Qualquer operação que possa ser feita com índices de uma matriz pode ser feita com ponteiros.
- O nome de uma matriz é um endereço, ou seja, um ponteiro.
- Ponteiros e matrizes são idênticos na maneira de acessar a memória.
- Um **ponteiro variável** é um endereço onde é armazenado um outro endereço.

Exemplo de programas com matrizes

*/*imprime os valores da matriz*/*

```
main(){  
    int nums [5] = {100,200,90,20,10};  
    int d;  
    for(d = 0; d < 5; d++)  
        printf("%d\n", nums[d]);  
}
```

*/*usa ponteiros para imprimir os valores da matriz*/*

```
main(){  
    int nums [5] = {100,200,90,20,10};  
    int d;  
    for(d = 0; d < 5; d++)  
        printf("%d\n", *(nums + d));  
}
```

Ponteiros e matrizes

- O segundo programa é idêntico ao primeiro, exceto pela expressão ***(nums + d)**.

Ponteiros e matrizes

- O segundo programa é idêntico ao primeiro, exceto pela expressão ***(nums + d)**.
- O efeito de ***(nums + d)** é o mesmo que **nums[d]**.

Ponteiros e matrizes

- O segundo programa é idêntico ao primeiro, exceto pela expressão ***(nums + d)**.
- O efeito de ***(nums + d)** é o mesmo que **nums[d]**.
- A expressão ***(nums + d)** é o endereço do elemento de índice **d** da matriz.

Ponteiros e matrizes

- O segundo programa é idêntico ao primeiro, exceto pela expressão **`*(nums + d)`**.
- O efeito de **`*(nums + d)`** é o mesmo que **`nums[d]`**.
- A expressão **`*(nums + d)`** é o endereço do elemento de índice **`d`** da matriz.
- Se cada elemento da matriz é um inteiro e $d = 3$, então serão pulados 6 bytes para atingir o elemento de índice 3.

Ponteiros e matrizes

- O segundo programa é idêntico ao primeiro, exceto pela expressão **`*(nums + d)`**.
- O efeito de **`*(nums + d)`** é o mesmo que **`nums[d]`**.
- A expressão **`*(nums + d)`** é o endereço do elemento de índice **`d`** da matriz.
- Se cada elemento da matriz é um inteiro e $d = 3$, então serão pulados 6 bytes para atingir o elemento de índice 3.
- Assim, a expressão **`*(nums + d)`** não significa avançar 3 *bytes*, além *nums* e sim 3 elementos da matriz.

Indireção múltipla

O que é indireção múltipla?

- Indireção múltipla ou ponteiro de ponteiros é quando temos um ponteiro apontando para outro ponteiro que aponta para o valor final.

Indireção múltipla

O que é indireção múltipla?

- Indireção múltipla ou ponteiro de ponteiros é quando temos um ponteiro apontando para outro ponteiro que aponta para o valor final.
- O valor normal de um ponteiro é o endereço de uma variável que contém o valor desejado.

Indireção múltipla

O que é indireção múltipla?

- Indireção múltipla ou ponteiro de ponteiros é quando temos um ponteiro apontando para outro ponteiro que aponta para o valor final.
- O valor normal de um ponteiro é o endereço de uma variável que contém o valor desejado.
- No caso de um ponteiro para um ponteiro, o primeiro contém o endereço do segundo que aponta para a variável que contém o valor desejado.

Indireção múltipla

O que é indireção múltipla?

- Indireção múltipla ou ponteiro de ponteiros é quando temos um ponteiro apontando para outro ponteiro que aponta para o valor final.
- O valor normal de um ponteiro é o endereço de uma variável que contém o valor desejado.
- No caso de um ponteiro para um ponteiro, o primeiro contém o endereço do segundo que aponta para a variável que contém o valor desejado.
- A indireção múltipla pode ser levada a qualquer dimensão desejada.

Indireção múltipla



Figura: Indireção simples

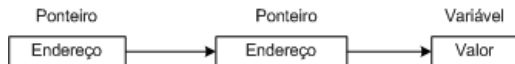


Figura: Indireção múltipla

Indireção múltipla

Declaração

- Uma variável que é um ponteiro para um ponteiro deve ser declarada como tal.

Indireção múltipla

Declaração

- Uma variável que é um ponteiro para um ponteiro deve ser declarada como tal.
- A declaração de ponteiro de ponteiro é realizada colocando-se um * adicional na frente do nome da variável. Exemplo:

```
int  **a;  
float **b;
```

Indireção múltipla

Declaração

- Uma variável que é um ponteiro para um ponteiro deve ser declarada como tal.
- A declaração de ponteiro de ponteiro é realizada colocando-se um * adicional na frente do nome da variável. Exemplo:

```
int  **a;  
float **b;
```

- No primeiro exemplo, temos a declaração de um ponteiro para um ponteiro de inteiro (**int**).

Indireção múltipla

Declaração

- Uma variável que é um ponteiro para um ponteiro deve ser declarada como tal.
- A declaração de ponteiro de ponteiro é realizada colocando-se um * adicional na frente do nome da variável. Exemplo:

```
int **a;  
float **b;
```

- No primeiro exemplo, temos a declaração de um ponteiro para um ponteiro de inteiro (**int**).
- É importante salientar que **a** não é um ponteiro para um número inteiro, mas um ponteiro para um ponteiro inteiro.

Exemplo de indireção múltipla

```
int main(void) {  
    int x, *a, **b;  
    x = 4;  
    a = &x;  
    b = &a;  
    printf("%d", **b);  
}
```

Ponteiro para funções

- Um recurso muito poderoso da linguagem C, é o ponteiro para função.

Ponteiro para funções

- Um recurso muito poderoso da linguagem C, é o ponteiro para função.
- Embora uma função não seja uma variável, ela tem uma posição física na memória que pode ser atribuída a um ponteiro. Exemplo:

```
int main(){  
    int (*func)(const char*, ...);  
    func = printf;  
    (*func)("0%d\n", 1);  
}
```

Ponteiro para funções

- Um recurso muito poderoso da linguagem C, é o ponteiro para função.
- Embora uma função não seja uma variável, ela tem uma posição física na memória que pode ser atribuída a um ponteiro. Exemplo:

```
int main(){
    int (*func)(const char*, ...);
    func = printf;
    (*func)("%d\n", 1);
}
```

- No código acima, a instrução

```
int (*func)(const char*, ...);
```

declara uma função do tipo **int**. Nesse exemplo, estamos declarando que **func** é uma função do tipo ponteiro para inteiro que aponta para o endereço da função *printf*, através da instrução:

```
func = printf;
```

Ponteiro para funções

- A declaração anterior é possível e válida, porque quando compilamos uma função, o código-fonte é transformado em código-objeto e um ponto de entrada é estabelecido.

Ponteiro para funções

- A declaração anterior é possível e válida, porque quando compilamos uma função, o código-fonte é transformado em código-objeto e um ponto de entrada é estabelecido.
- Quando é feita uma chamada à função, enquanto o programa está sendo executado, é efetuado uma chamada em linguagem de máquina para esse ponto de entrada.

Ponteiro para funções

- A declaração anterior é possível e válida, porque quando compilamos uma função, o código-fonte é transformado em código-objeto e um ponto de entrada é estabelecido.
- Quando é feita uma chamada à função, enquanto o programa está sendo executado, é efetuado uma chamada em linguagem de máquina para esse ponto de entrada.
- Portanto, se um ponteiro contém o endereço do ponto de entrada de uma função, então ele pode ser usado para chamar essa função.

Ponteiro para funções

- A declaração anterior é possível e válida, porque quando compilamos uma função, o código-fonte é transformado em código-objeto e um ponto de entrada é estabelecido.
- Quando é feita uma chamada à função, enquanto o programa está sendo executado, é efetuado uma chamada em linguagem de máquina para esse ponto de entrada.
- Portanto, se um ponteiro contém o endereço do ponto de entrada de uma função, então ele pode ser usado para chamar essa função.
- Dessa forma, ao executarmos a instrução:

```
( *func ) ( "%d\n" , 1 );
```

estamos executando a função **printf**, logo, será apresentado na saída, o valor 1.

Ponteiro para funções

- O endereço de uma função é obtido usando o nome da função sem parênteses ou argumentos.

Ponteiro para funções

- O endereço de uma função é obtido usando o nome da função sem parênteses ou argumentos.
- Observe que não colocamos parênteses junto ao nome da função. Se eles estiverem presentes como em:

```
func = printf();
```

, estaríamos atribuindo a **func** o valor retornado pela função e não o endereço dela.

Ponteiro para funções

- O endereço de uma função é obtido usando o nome da função sem parênteses ou argumentos.
- Observe que não colocamos parênteses junto ao nome da função. Se eles estiverem presentes como em:

```
func = printf();
```

, estaríamos atribuindo a **func** o valor retornado pela função e não o endereço dela.

- O nome de uma função desacompanhado de parênteses é o endereço dela.

Ponteiro para funções

- Nesse exemplo, nada é obtido e bastante confusão é introduzida. Porém, há momentos em que é vantajoso passar funções arbitrárias para procedimentos, ou manter uma matriz de funções.

Ponteiro para funções

- Nesse exemplo, nada é obtido e bastante confusão é introduzida. Porém, há momentos em que é vantajoso passar funções arbitrárias para procedimentos, ou manter uma matriz de funções.
- Por exemplo, escolher o melhor algoritmo para resolver um problema.

Ponteiro para funções

```
/**  
 * Ordena o vetor v de tamanho n, utilizando  
 * o algoritmo de ordenacao implementado pela  
 * funcao: algOrdenacao.  
 */  
void ordenar(int v[], int n,  
             void (*algOrdenacao)(int v[], int n)){  
    (*algOrdenacao)(v,n);  
}
```

Ponteiro para funções

- Em resumo podemos:

1. Declarar um ponteiro para uma função.
2. Atribuir o endereço de uma função a um ponteiro.
3. Chamar a função através do ponteiro para ela.

- Mas não podemos:

1. Incrementar ou decrementar ponteiros para funções.
2. Incrementar ou decrementar nomes de funções.

Alocação dinâmica

- Na declaração de um vetor visto até agora é necessário conhecer e informar o número de elementos do vetor.

Alocação dinâmica

- Na declaração de um vetor visto até agora é necessário conhecer e informar o número de elementos do vetor.
- Esse pré-dimensionamento é um fator limitante, pois, nos obriga a conhecer de antemão a quantidade de elementos do vetor.

Alocação dinâmica

- Na declaração de um vetor visto até agora é necessário conhecer e informar o número de elementos do vetor.
- Esse pré-dimensionamento é um fator limitante, pois, nos obriga a conhecer de antemão a quantidade de elementos do vetor.
- Uma solução é dimensionar o vetor com um número muito alto, para não termos limitações no momento de utilização do programa.

Alocação dinâmica

- Na declaração de um vetor visto até agora é necessário conhecer e informar o número de elementos do vetor.
- Esse pré-dimensionamento é um fator limitante, pois, nos obriga a conhecer de antemão a quantidade de elementos do vetor.
- Uma solução é dimensionar o vetor com um número muito alto, para não termos limitações no momento de utilização do programa.
- Essa solução leva a um desperdício de memória.

Alocação dinâmica

- Na declaração de um vetor visto até agora é necessário conhecer e informar o número de elementos do vetor.
- Esse pré-dimensionamento é um fator limitante, pois, nos obriga a conhecer de antemão a quantidade de elementos do vetor.
- Uma solução é dimensionar o vetor com um número muito alto, para não termos limitações no momento de utilização do programa.
- Essa solução leva a um desperdício de memória.
- Qual a solução?

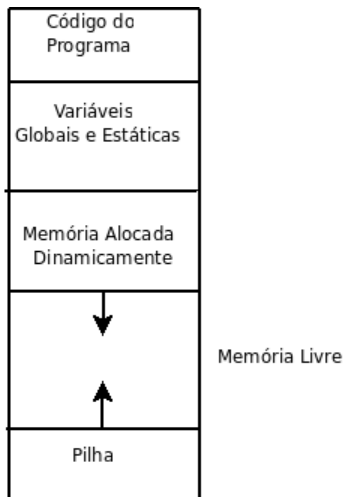
Alocação dinâmica

- Na declaração de um vetor visto até agora é necessário conhecer e informar o número de elementos do vetor.
- Esse pré-dimensionamento é um fator limitante, pois, nos obriga a conhecer de antemão a quantidade de elementos do vetor.
- Uma solução é dimensionar o vetor com um número muito alto, para não termos limitações no momento de utilização do programa.
- Essa solução leva a um desperdício de memória.
- Qual a solução?
 - Utilizar alocação dinâmica.

Alocação dinâmica

- Na declaração de um vetor visto até agora é necessário conhecer e informar o número de elementos do vetor.
- Esse pré-dimensionamento é um fator limitante, pois, nos obriga a conhecer de antemão a quantidade de elementos do vetor.
- Uma solução é dimensionar o vetor com um número muito alto, para não termos limitações no momento de utilização do programa.
- Essa solução leva a um desperdício de memória.
- Qual a solução?
 - Utilizar alocação dinâmica.
 - Isto é, requisitar espaços de memória em tempo de execução.

Uso da memória



Funções para alocação dinâmica de memória

- A função básica para alocar memória é **malloc**.

Funções para alocação dinâmica de memória

- A função básica para alocar memória é **malloc**.
- A função **malloc** recebe como parâmetro o número de *bytes* que se deseja alocar e retorna o endereço inicial da área de memória alocada.

Funções para alocação dinâmica de memória

- A função básica para alocar memória é **malloc**.
- A função **malloc** recebe como parâmetro o número de *bytes* que se deseja alocar e retorna o endereço inicial da área de memória alocada.
- O código seguinte realiza a alocação dinâmica de um vetor de inteiros com 10 elementos.

```
int *v;  
v = malloc(10*4);
```

Funções para alocação dinâmica de memória

- A função básica para alocar memória é **malloc**.
- A função **malloc** recebe como parâmetro o número de *bytes* que se deseja alocar e retorna o endereço inicial da área de memória alocada.
- O código seguinte realiza a alocação dinâmica de um vetor de inteiros com 10 elementos.

```
int *v;  
v = malloc(10*4);
```

- Após a execução, se a alocação for bem-sucedida, **v** armazenará o endereço inicial de uma área contínua de memória suficiente para armazenar 10 valores inteiros.

Funções para alocação dinâmica de memória

- A função básica para alocar memória é **malloc**.
- A função **malloc** recebe como parâmetro o número de *bytes* que se deseja alocar e retorna o endereço inicial da área de memória alocada.
- O código seguinte realiza a alocação dinâmica de um vetor de inteiros com 10 elementos.

```
int *v;  
v = malloc(10*4);
```

- Após a execução, se a alocação for bem-sucedida, **v** armazenará o endereço inicial de uma área contínua de memória suficiente para armazenar 10 valores inteiros.
- Podemos tratar **v** como tratamos um vetor declarado estaticamente.

Funções para alocação dinâmica de memória

- A função básica para alocar memória é **malloc**.
- A função **malloc** recebe como parâmetro o número de *bytes* que se deseja alocar e retorna o endereço inicial da área de memória alocada.
- O código seguinte realiza a alocação dinâmica de um vetor de inteiros com 10 elementos.

```
int *v;  
v = malloc(10*4);
```

- Após a execução, se a alocação for bem-sucedida, **v** armazenará o endereço inicial de uma área contínua de memória suficiente para armazenar 10 valores inteiros.
- Podemos tratar **v** como tratamos um vetor declarado estaticamente.
- Para ficarmos independente de compilador e máquinas, usamos o operador **sizeof()**.

```
int *v;  
v = malloc(10*sizeof(int));
```

Funções para alocação dinâmica de memória

- A função **malloc** pode ser utilizada para alocar espaço para armazenar valores de qualquer tipo.

Funções para alocação dinâmica de memória

- A função **malloc** pode ser utilizada para alocar espaço para armazenar valores de qualquer tipo.
- O retorno da função **malloc** é um ponteiro genérico, para um tipo qualquer, representado por **void***, que pode ser convertido para o tipo apropriado da atribuição.

Funções para alocação dinâmica de memória

- A função **malloc** pode ser utilizada para alocar espaço para armazenar valores de qualquer tipo.
- O retorno da função **malloc** é um ponteiro genérico, para um tipo qualquer, representado por **void***, que pode ser convertido para o tipo apropriado da atribuição.
- É comum fazer a conversão explicitamente, realizando um **cast** para o tipo correto. Exemplo:

```
int *v;  
v = (int*) malloc(10 * sizeof(int));
```


Funções para alocação dinâmica de memória

- A função **malloc** pode ser utilizada para alocar espaço para armazenar valores de qualquer tipo.
- O retorno da função **malloc** é um ponteiro genérico, para um tipo qualquer, representado por **void***, que pode ser convertido para o tipo apropriado da atribuição.
- É comum fazer a conversão explicitamente, realizando um **cast** para o tipo correto. Exemplo:

```
int *v;  
v = (int*) malloc(10 * sizeof(int));
```

- Se porventura, não houver espaço livre suficiente para realizar a alocação, a função retorna um endereço nulo, representado por **NULL**, definido em *stdlib.h*.

Funções para alocação dinâmica de memória

- A função **malloc** pode ser utilizada para alocar espaço para armazenar valores de qualquer tipo.
- O retorno da função **malloc** é um ponteiro genérico, para um tipo qualquer, representado por **void***, que pode ser convertido para o tipo apropriado da atribuição.
- É comum fazer a conversão explicitamente, realizando um **cast** para o tipo correto. Exemplo:

```
int *v;  
v = (int*) malloc(10 * sizeof(int));
```

- Se porventura, não houver espaço livre suficiente para realizar a alocação, a função retorna um endereço nulo, representado por **NULL**, definido em *stdlib.h*.
- Podemos verificar se a alocação foi realizada adequadamente, testando o retorno da função **malloc**. Exemplo:

```
v = (int*) malloc(10 * sizeof(int));  
if (v == NULL)  
    printf("Memoria insuficiente.\n");
```

Funções para alocação dinâmica de memória

- Para liberar um espaço de memória alocado dinamicamente, usamos a função **free()**.

Funções para alocação dinâmica de memória

- Para liberar um espaço de memória alocado dinamicamente, usamos a função **free()**.
- A função **free()** recebe como parâmetro o ponteiro da memória a ser liberado.

```
free ( v );
```

Funções para alocação dinâmica de memória

- Para liberar um espaço de memória alocado dinamicamente, usamos a função **free()**.
- A função **free()** recebe como parâmetro o ponteiro da memória a ser liberado.

```
free ( v );
```

- Só podemos passar para a função **free()** um endereço de memória que tenha sido alocado dinamicamente.

Funções para alocação dinâmica de memória

- Para liberar um espaço de memória alocado dinamicamente, usamos a função **free()**.
- A função **free()** recebe como parâmetro o ponteiro da memória a ser liberado.

```
free ( v );
```

- Só podemos passar para a função **free()** um endereço de memória que tenha sido alocado dinamicamente.
- Não podemos acessar o espaço de memória depois de liberado.

Funções para alocação dinâmica de memória

Função	Descrição
malloc (<i><qtd. bytes></i>)	Aloca uma área da memória e retorna a referência para o endereço inicial, se existir memória disponível. Caso contrário, retorna NULL .
sizeof (<i><tipo></i>)	Retorna a quantidade de memória necessária para alocar um determinado tipo.
free (<i><variável></i>)	Libera o espaço de memória ocupado por uma variável alocada dinamicamente.

Capítulo xxxxx – Pilha

Pontos fundamentais a serem cobertos:

1. Contexto e motivação
2. Definição
3. Implementações
4. Exercícios



Introdução

- Uma das estruturas de dados mais simples.
- É a estrutura de dados mais utilizada em programação.
- É uma metáfora emprestada do mundo real, que a computação utiliza para resolver muitos problemas de forma simplificada.

Definição

Definição

Um conjunto ordenado de itens no qual novos itens podem ser inseridos e a partir do qual podem ser eliminados em uma extremidade denominada **topo** da pilha.

Definição

Definição

Um conjunto ordenado de itens no qual novos itens podem ser inseridos e a partir do qual podem ser eliminados em uma extremidade denominada **topo** da pilha.

Definição

Uma seqüência de objetos, todos do mesmo tipo, sujeita às seguintes regras de comportamento:

1. Sempre que solicitado a remoção de um elemento, o elemento removido é o último da seqüência.
2. Sempre que solicitado a inserção de um novo elemento, o objeto é inserido no fim da seqüência (**topo**).

Pilha

- Uma pilha é um objeto dinâmico, constantemente mutável, onde elementos são inseridos e removidos.
- Em uma pilha, cada novo elemento é inserido no topo.
- Os elementos da pilha só podem ser retirado na ordem inversa à ordem em que foram inseridos
 - O primeiro que sai é o último que entrou.
 - Por essa razão, uma pilha é dita uma estrutura do tipo: **LIFO** (*last-in, first out*) ou UEPS (último a entrar é o primeiro a sair.)

Operações básicas

- As operações básicas que devem ser implementadas em uma estrutura do tipo pilha são:

Operação	Descrição
push(p , e)	empilha o elemento e , inserindo-o no topo da pilha p .
pop(p)	desempilha o elemento do topo da pilha p .

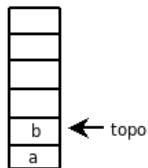
Tabela: Operações básicas da estrutura de dados pilha.

Exemplo

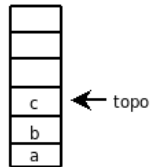
push(a)



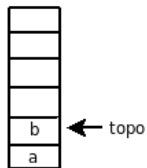
push(b)



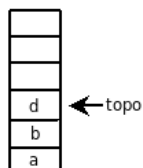
push(c)



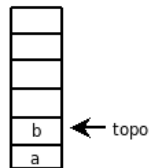
pop
retorna c



push(d)



pop()
retorna d



Operações auxiliares

- Além das operações básicas, temos as operações “*auxiliares*”. São elas:

Operação	Descrição
create	cria uma pilha vazia.
empty(p)	determina se uma pilha p está ou não vazia.
free(p)	libera o espaço ocupado na memória pela pilha p .

Tabela: Operações auxiliares da estrutura de dados pilha.

Interface do Tipo Pilha

```
/* Definicao da estrutura */  
typedef struct pilha Pilha;  
/* Aloca dinamicamente a estrutura pilha, inicializando  
  *seus campos e retorna seu ponteiro.* */  
Pilha* create(void);  
  
/* Insere o elemento e na pilha p.* */  
void push(Pilha *p, int e);  
  
/* Retira e retorna o elemento do topo da pilha p.* */  
int pop(Pilha *p);  
  
/* Informa se a pilha p esta ou nao vazia.* */  
int empty(Pilha *p);
```


Implementação de Pilha com Vetor

- Normalmente as aplicações que precisam de uma estrutura pilha, é comum saber de antemão o número máximo de elementos que precisam estar armazenados simultaneamente na pilha.
- Essa estrutura de pilha tem um limite conhecido.
- Os elementos são armazenados em um vetor.
- Essa implementação é mais simples.
- Os elementos inseridos ocupam as primeiras posições do vetor.

Implementação de Pilha com Vetor

■ Seja p uma pilha armazenada em um vetor VET de N elementos:

1. O elemento $vet[topo]$ representa o elemento do topo.
2. A parte ocupada pela pilha é $vet[0 \dots topo - 1]$.
3. A pilha está vazia se $topo = -1$.
4. Cheia se $topo = N - 1$.
5. Para desempilhar um elemento da pilha, não vazia, basta

$$x = vet[topo - -]$$

6. Para empilhar um elemento na pilha, em uma pilha não cheia, basta

$$vet[t + +] = e$$

Implementação de Pilha com Vetor

```
#define N 20 /* numero maximo de elementos*/
#include <stdio.h>
#include "pilha.h"

/* Define a estrutura da pilha*/
struct pilha{
    int topo; /* indica o topo da pilha */
    int elementos[N]; /* elementos da pilha*/
};

Pilha* create(void){
    Pilha* p = (Pilha*) malloc(sizeof(Pilha));
    p->topo = -1; /* inicializa a pilha com 0 elementos */
    return p;
}
```

Implementação de Pilha com Vetor

- Empilha um elemento na pilha

```
void push(Pilha *p, int e){  
    if (p->topo == N - 1){ /* capacidade esgotada */  
        printf("A pilha esta cheia");  
        exit(1);  
    }  
    /* insere o elemento na proxima posicao livre */  
    p->elementos[++p->topo] = e;  
}
```

Implementação de Pilha com Vetor

- Desempilha um elemento da pilha

```
int pop(Pilha *p)
{
    int e;
    if (empty(p)){
        printf("Pilha vazia.\n");
        exit(1);
    }

    /* retira o elemento do topo */
    e = p->elementos[p->topo--];
    return e;
}
```

Implementação de Pilha com Vetor

```
/**  
 * Verifica se a pilha p esta vazia  
 */  
int empty(Pilha *p)  
{  
    return (p->t == -1);  
}
```

Exemplo de uso

- Na área computacional existem diversas aplicações de pilhas.
- Alguns exemplos são: caminhamento em árvores, chamadas de sub-rotinas por um compilador ou pelo sistema operacional, inversão de uma lista, avaliar expressões, entre outras.
- Uma das aplicações clássicas é a conversão e a avaliação de expressões algébricas. Um exemplo, é o funcionamento das calculadoras da HP, que trabalham com expressões pós-fixadas.

Capítulo xxxxx – Filas

Pontos fundamentais a serem cobertos:

1. Contexto e motivação
2. Definição
3. Implementações
4. Exercícios



Introdução

- Assim como a estrutura de dados Pilha, Fila é outra estrutura de dados bastante utilizada em computação.
- Um exemplo é a implementação de uma fila de impressão.
- Se uma impressora é compartilhada por várias máquinas, normalmente adota-se uma estratégia para determinar a ordem de impressão dos documentos.
- A maneira mais simples é tratar todas as requisições com a mesma prioridade e imprimir os documentos na ordem em que foram submetidos
 - o primeiro submetido é o primeiro a ser impresso.

Fila

Definição

Um conjunto ordenado de itens a partir do qual podem-se eliminar itens numa extremidade (chamada de **início** da fila) e no qual podem-se inserir itens na outra extremidade (chamada **final** da fila).

Representação

- Os nós de uma fila são armazenados em endereços contínuos.
- A Figura 8 ilustra uma fila com três elementos.



Figura: Exemplo de representação de fila.

- Após a retirada de um elemento (*primeiro*) temos:



Figura: Representação de uma fila após a remoção do elemento "A".

Representação

- Após a inclusão de dois elementos temos:

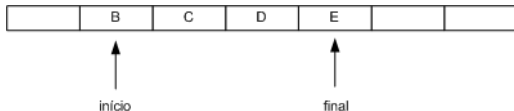


Figura: Representação de uma fila após a inclusão de dois elementos “D” e “E”.

- Como podemos observar, a operação de inclusão e retirada de um item da fila incorre na mudança do endereço do ponteiro que informa onde é o início e o término da fila.

Representação

- Em uma fila, o **primeiro** elemento inserido é o primeiro a ser removido.
- Por essa razão, uma fila é chamada **fifo**(*first-in first-out*) – primeiro que entra é o primeiro a sair – ao contrário de uma pilha que é **lifo** (*last-in, first-out*)
- Para exemplificar a implementação em C, vamos considerar que o conteúdo armazenado na fila é do tipo inteiro.
- A estrutura de fila possui a seguinte representação:

```
struct fila {  
    int elemento[N];  
    int ini, n;  
}  
typedef struct fila Fila;
```

- Trata-se de uma estrutura heterogênea constituída de membros distintos entre si. Os membros são as variáveis **ini** e **fim**, que serve para armazenar respectivamente, o início e o fim da fila e o vetor **elemento** de inteiros que armazena os itens da fila.

Operações Primitivas

- As operações básicas que devem ser implementadas em uma estrutura do tipo Fila são:

Operação	Descrição
criar()	aloca dinamicamente a estrutura da fila.
insere(f, e)	adiciona um novo elemento (e), no final da fila f .
retira(f)	remove o elemento do início da fila f .

Tabela: Operações básicas da estrutura de dados fila.

Operações auxiliares

- Além das operações básicas, temos as operações “auxiliares”. São elas:

Operação	Descrição
vazia(f)	informa se a fila está ou não vazia.
libera(f)	destrói a estrutura, e assim libera toda a memória alocada.

Tabela: Operações auxiliares da estrutura de dados fila.

Interface do Tipo Fila

```
typedef struct fila Fila;  
/* Aloca dinamicamente a estrutura Fila , inicializando seus  
 * campos e retorna seu ponteiro. A fila depois de criada  
 * estarah vazia.*/  
Fila* criar(void);  
  
/* Insere o elemento e no final da fila f, desde que,  
 * a fila nao esteja cheia.*/  
void insere(Fila* f, int e);  
  
/* Retira o elemento do inicio da fila , e fornece o  
 * valor do elemento retirado como retorno , desde que a fila  
 * nao esteja vazia*/  
int retira(Fila* f);  
  
/* Verifica se a fila f estah vazia*/  
int vazia(Fila* f);  
  
/* Libera a memoria alocada pela fila f*/  
void libera(Fila* f);
```


Implementação de Fila com Vetor

- Assim como nos casos da pilha e lista, a implementação de fila será feita usando um vetor para armazenar os elementos.
- Isso implica, que devemos fixar o número máximo de elementos na fila.
- O processo de inserção e remoção em extremidades opostas fará a fila “andar” no vetor.
- Por exemplo, se inserirmos os elementos 8, 7, 4, 3 e depois retiramos dois elementos, a fila não estará mais nas posições iniciais do vetor.

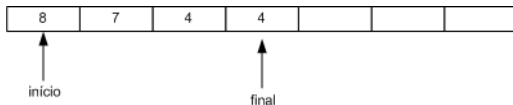


Figura: Fila após inserção de quatro elementos.

Implementação de Fila com Vetor

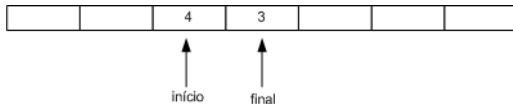


Figura: Fila após retirar dois elementos.

- Com essa estratégia, é fácil observar que, em um dado instante, a parte ocupada pelo vetor pode chegar a última posição.
- Uma solução seria ao remover um elemento da fila, deslocar a fila inteira no sentido do início do vetor.
- Entretanto, esse método é bastante ineficiente, pois cada retirada implica em deslocar cada elemento restante da fila. Se uma fila tiver 500 ou 1000 elementos, evidentemente esse seria um preço muito alto a pagar.

Implementação de Fila com Vetor

- Para reaproveitar as primeiras posições do vetor sem implementar uma “re-arrumação” dos elementos, podemos incrementar as posições do vetor de forma “circular”.
- Para essa implementação, os índices do vetor são incrementados de maneira que seus valores progridam “circularmente”.
- Dessa forma, se temos 100 posições no vetor, os índices assumem os seguintes valores:

$0, 1, 2, 3, \dots, 98, 99, 0, 1, 2, 3, \dots, 98, 99, \dots$

Função de Criação

- A função que cria uma fila, deve criar e retornar o ponteiro de uma fila vazia;
- A função deve informar onde é o início da fila, ou seja, fazer $f \rightarrow ini = 0$, como podemos ver no código abaixo.
- A complexidade de tempo para criar a fila é constante, ou seja, $O(1)$.

```
/* Aloca dinamicamente a estrutura Fila , inicializando seus  
* campos e retorna seu ponteiro. A fila depois de criada  
* estarah vazia .  
*/  
Fila* criar(void)  
{  
    Fila* f = malloc(sizeof(Fila));  
    f->n = 0;  
    f->ini = 0;  
    return f;  
}
```

Função de Inserção

- Para inserir um elemento na fila, usamos a próxima posição livre do vetor, indicada por **n**.
- Devemos assegurar que há espaço para inserção do novo elemento no vetor, haja vista se tratar de um vetor com capacidade limitada.
- A complexidade de tempo para inserir um elemento na fila é constante, ou seja, $O(1)$.

```
/* Insere o elemento e no final da fila f.*/
void insere(Fila* f, int e)
{
    int fim;
    if (f->n == N){
        printf("Fila cheia!\n");
    } else {
        fim = (f->ini + f->n) % N;
        f->elementos[fim] = e;
        f->n++;
    }
}
```

Função de Remoção

- A função para retirar o elemento do início da fila fornece o valor do elemento retirado como retorno.
- Para remover um elemento, devemos verificar se a fila está ou não vazia.
- A complexidade de tempo para remover um elemento da fila é constante, ou seja, $O(1)$.

```
int  retira(Fila* f)
{
    int e;
    if (vazia(f))
        printf("Fila vazia!\n");
    else{
        e = f->elementos[f->ini];
        f->ini = (f->ini + 1) % N;
        f->n--;
    }
    return e;
}
```

Exemplo de Uso da Fila

```
#define N 10
#include <stdio.h>
#include "fila.h"

int main(void)
{
    Fila* f = criar();

    int i;
    for (i = 0; i < N; i++)
        insere(f, i * 2);

    printf("\nElementos removidos: ");

    for (i = 0; i < N/2; i++)
        printf("%d ", retira(f));

    system("pause");
}
```

Referências

1. Tenenbaum, A. M., Langsam, Y., and Augestein, M. J. (1995). Estruturas de Dados Usando C. MAKRON Books, pp. 207-250.
2. Wirth, N. (1989). Algoritmos e Estrutura de dados. LTC, pp. 151-165.

Capítulo xxxxx – Listas

Pontos fundamentais a serem cobertos:

- 1.
- 2.
- 3.

Introdução

- Uma seqüência de nós ou elementos dispostos em uma ordem estritamente linear.
- Cada elemento da lista é acessível um após o outro, em ordem.
- Pode ser implementada de várias maneiras
 1. Em um vetor
 2. Em uma estrutura que tem um vetor de tamanho fixo e uma variável para armazenar o tamanho da lista.

Definição

Definição

Um conjunto de nós, $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, organizados estruturalmente de forma a refletir as posições relativas dos mesmos. Se $n > 0$, então x_1 é o primeiro nó.

Seja L uma lista de n nós, e x_k um nó $\in L$ e k a posição do nó em L . Então, x_k é precedido pelo nó x_{k-1} e seguido pelo nó x_{k+1} . O último nó de L é x_{n-1} . Quando $n = 0$, dizemos que a lista está vazia.

Representação

- Os nós de uma lista são armazenados em endereços contínuos.
- A relação de ordem é representada pelo fato de que se o endereço do nó x_i é conhecido, então o endereço do nó x_{i+1} também pode ser determinado.
- A Figura 13 apresenta a representação de uma lista linear de n nós, com endereços representados por k

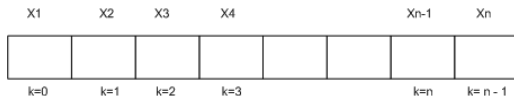


Figura: Exemplo de representação de lista.

Representação

- Para exemplificar a implementação em C, vamos considerar que o conteúdo armazenado na lista é do tipo inteiro.
- A estrutura da lista possui a seguinte representação:

```
struct lista {  
    int cursor;  
    int elemento[N];  
}  
typedef struct lista Lista;
```

- Trata-se de uma estrutura heterogênea constituída de membros distintos entre si. Os membros são as variáveis *cursor*, que serve para armazenar a quantidade de elementos da lista e o vetor *elemento* de inteiros que armazena os nós da lista.

Representação

- Para atribuirmos um valor a algum membro da lista devemos utilizar a seguinte notação:

`Lista->elemento[0] = 1` – atribui o valor 1 ao primeiro elemento

`Lista->elemento[n-1] = 4` – atribui o valor 4 ao último elemento

Operações Primitivas

- As operações básicas que devem ser implementadas em uma estrutura do tipo Lista são:

Operação	Descrição
criar()	cria uma lista vazia.
inserir(l,e)	insere o elemento e no final da lista l.
remover(l,e)	remove o elemento e da lista l.
imprimir(l)	imprime os elementos da lista l.
pesquisar(l,e)	pesquisa o elemento e na lista l.

Tabela: Operações básicas da estrutura de dados lista.

Operações auxiliares

- Além das operações básicas, temos as operações “auxiliares”. São elas:

Operação	Descrição
empty(l)	determina se a lista <i>l</i> está ou não vazia.
destroy(l)	libera o espaço ocupado na memória pela lista <i>l</i> .

Tabela: Operações auxiliares da estrutura de dados lista.

Interface do Tipo Lista

```
/* Aloca dinamicamente a estrutura lista , inicializando  
 * seus campos e retorna seu ponteiro. A lista depois  
 * de criada terah tamanho igual a zero.*/
```

```
Lista* criar(void);
```

```
/* Insere o elemento e no final da lista l, desde que,  
 * a lista nao esteja cheia.*/
```

```
void inserir(Lista* l, int e);
```

```
/* Remove o elemento e da lista l,  
 * desde que a lista nao esteja vazia e o elemento  
 * e esteja na lista. A funcao retorna 0 se o elemento  
 * nao for encontrado na lista ou 1 caso contrario. */
```

```
void remover(Lista* l, int e);
```

```
/* Pesquisa na lista l o elemento e. A funcao retorna  
 * o endereco(indice) do elemento se ele pertencer a lista  
 * ou -1 caso contrario.*/
```

```
int pesquisar(Lista* l, int e);
```

```
/* Apresenta os elementos da lista l. */
```

```
void imprimir(Lista* l);
```

Implementação da Lista

- A utilização de vetores para implementar a lista traz algumas vantagens como:
 1. Os elementos são armazenados em posições contíguas da memória;
 2. Economia de memória, pois os ponteiros para o próximo elemento da lista são explícitos.
- No entanto, as desvantagens são:
 1. Custo de inserir/remover elementos da lista;
 2. Limitação da quantidade de elementos da lista.

Função de Criação

- A função que cria uma lista, deve criar e retornar uma lista vazia;
- A função deve atribuir o valor zero ao tamanho da lista, ou seja, fazer $l \rightarrow cursor = 0$, como podemos ver no código abaixo.
- A complexidade de tempo para criar a lista é constante, ou seja, $O(1)$.

```
/*
```

```
 * Aloca dinamicamente a estrutura lista , inicializando s
```

```
 * campos e retorna seu ponteiro. A lista depois de criad
```

```
 * terah tamanho igual a zero.
```

```
*/
```

```
Lista* criar(void){
```

```
    Lista* l = (Lista*) malloc(sizeof(Lista));
```

```
    l->cursor = 0;
```

```
    return l;
```

```
}
```

Função de Inserção

- A inserção de qualquer elemento ocorre no final da lista, desde que a lista não esteja cheia.
- Com isso, para inserir um elemento basta atribuímos o valor ao elemento cujo índice é o valor referenciado pelo campo *cursor*, e incrementar o valor do cursor, ou seja fazer $l \rightarrow elemento[l \rightarrow cursor++] = valor$, como podemos verificar no código abaixo, a uma complexidade de tempo constante, $O(1)$.

```
/*  
 * Insere o elemento e no final da lista l, desde que,  
 * a lista nao esteja cheia.  
 */  
void inserir(Lista* l, int e){  
    if (l == NULL || l->cursor == N){  
        printf("Error. A lista esta cheia\n");  
    }else{  
        l->elemento[l->cursor++] = e;  
    }  
}
```

Função de Remoção

- Para remover um elemento da lista, primeiro precisamos verificar se ele está na lista, para assim removê-lo, e deslocar os seus sucessores, quando o elemento removido não for o último.
- A complexidade de tempo da função de remoção é $O(n)$, pois é necessário movimentar os n elementos para remover um elemento e ajustar a lista.

```
/* remove um elemento da lista */
void remover(Lista* l, int e){
    int i, d = pesquisar(l,e);
    if (d != -1){
        for(i = d; i < l->cursor; i++)
        {
            l->elemento[i] = l->elemento[i + 1];
        }
        l->cursor--;
    }
}
```

Função de Pesquisa

- Para pesquisar um elemento qualquer na lista é necessário compará-lo com os elementos existentes, utilizando alguns dos algoritmos de busca conhecidos;
- A complexidade de tempo dessa função depende do algoritmo de busca implementado. Se utilizarmos a busca seqüencial, a complexidade da função será $O(n)$. No entanto, é possível baixá-lo para $O(n \log n)$.

```
int  pesquisar(Lista* l, int e){  
    if (l == NULL)  
        return ;  
  
    int i = 0;  
    while (i <= l->cursor && l->elemento[i] != e)  
        i++;  
  
    return i > l->cursor ? -1 : i;  
}
```

Função de Impressão

- A impressão da lista ocorre através da apresentação de todos os elementos compreendidos entre o intervalo: $[0..l- > cursor]$.
- A complexidade de tempo da função de impressão é $O(n)$, pois no pior caso, quando lista estiver cheia, é necessário percorrer os n elementos da lista.

```
/* Apresenta os elementos da lista l. */
void imprimir(Lista* l){
    int i;
    for(i = 0; i < l->cursor; i++)
        printf("%d_", l->elemento[i]);
    printf("\n");
}
```

Exemplo de Uso da Lista

```
#include <stdio.h>
#include "list.h"

int main(void)
{
    Lista* l = criar();
    int i, j = 4;

    /* Inseri 5 elementos na lista */
    for (i = 0; i < 5; i++)
        inserir(l, j * i);

    /* Apresenta os elementos inseridos na lista */
    imprimir(l);
    /* Remove o segundo elemento da lista */
    remover(l, j);
    /* Apresenta os elementos da lista */
    imprimir(l);
}
```


Referências

1. Tenenbaum, A. M., Langsam, Y., and Augestein, M. J. (1995). Estruturas de Dados Usando C. MAKRON Books, pp. 207-250.
2. Wirth, N. (1989). Algoritmos e Estrutura de dados. LTC, pp. 151-165.

Capítulo xxxxx – Tabelas Hash

Pontos fundamentais a serem cobertos:

- 1.
- 2.
- 3.

Definição

Uma tabela hash é uma estrutura utilizada no mapeamento de chaves para seus respectivos valores. Por exemplo, um dicionário é uma estrutura que mapeia (relaciona) palavras aos seus significados.

Operações Básicas

Uma tabela hash atua como uma estrutura de dicionário ou vetor associativo, e suporta as seguintes operações básicas [?]:

- Inserção
- Busca
- Remoção

Sob hipóteses razoáveis (veremos adiante), todas as três operações podem ser implementadas com complexidade computacional próxima de $O(1)$.

Tabelas de endereço direto

- Utilizável quando o universo de chaves é suficientemente pequeno e representado por inteiros
- Para uma caso simplificado sem colisões de chaves, equivale ao uso de vetores, onde cada posição do vetor corresponde ao espaço na tabela para a entrada de chave igual à posição

Exemplo de tabela de endereço direto

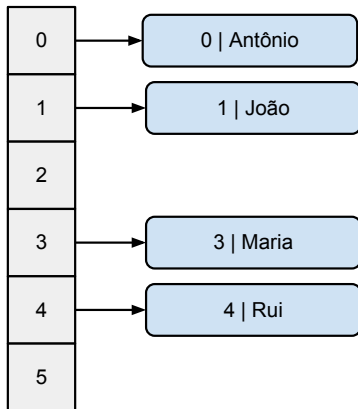


Figura: Tabela de endereço direto

Tabela de endereço direto - Inserção

```
INSERÇÃO(TABELA, DADO) {  
    TABELA[ DADO->CHAVE ] = DADO  
}
```

Tabela de endereço direto - Busca

```
BUSCA(TABELA, CHAVE) {  
    return TABELA[ CHAVE ]  
}
```


Tabela de endereço direto - Remoção

```
REMOÇÃO(TABELA, CHAVE) {  
    TABELA[ CHAVE ] = NULO  
}
```

Tabelas hash

No endereçamento direto teremos problemas nos seguintes casos:

- O universo (a faixa) de chaves é muito grande
- Os dados que deverão ser armazenados não possuem chaves numéricas

A solução está no uso de uma função de hash que faça o mapeamento de uma chave para um endereço válido de uma tabela.

Exemplo de tabela hash

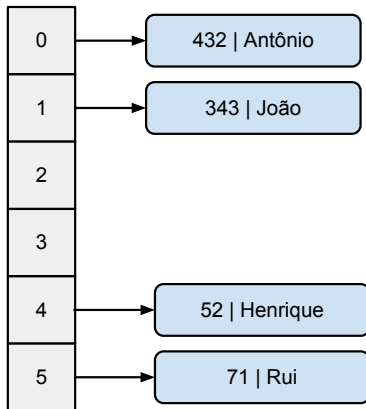


Figura: Tabela hash

Tabela hash - Inserção

```
INSERÇÃO(TABELA, DADO) {  
    ENDEREÇO = HASH( DADO->CHAVE )  
    TABELA[ ENDEREÇO ] = DADO  
}
```

Tabela hash - Busca

```
BUSCA(TABELA, CHAVE) {  
    ENDEREÇO = HASH( CHAVE )  
    return TABELA[ ENDEREÇO ]  
}
```

Tabela hash - Remoção

```
REMOÇÃO(TABELA, CHAVE) {  
    ENDEREÇO = HASH( CHAVE )  
    TABELA[ ENDEREÇO ] = NULO  
}
```

Funções de hash

Necessidade: mapeamento da chave para um endereço.

Muitas vezes os dados que serão armazenados não possuem chaves numéricas (ou sua faixa é muito grande) e é necessário mapear um dado de outro tipo (como uma cadeia de caracteres) para um endereço.

Funções de hash

Necessidade: boa distribuição de endereços.

Na maioria das situações práticas, salvo aquelas nas quais os dados são conhecidos com antecedência e é possível realizar um hashing perfeito, uma função de hash irá retornar o mesmo endereço para diferentes dados em algum momento, gerando uma colisão.

Construção de uma boa função de hash

Logo, a função de hash utilizada deve:

- Mapear a chave para um endereço válido
- Ter uma boa distribuição de forma a minimizar as colisões
- Ser eficiente

Hash de chaves inteiras

Exemplos de funções de hash para chaves inteiras [?]:

- Método da divisão
- Método da multiplicação

Aqui definimos M como o número de endereços na tabela.

Funções de hash - método da divisão

```
HASH(CHAVE, M) {  
    return CHAVE mod M  
}
```

Método da divisão

Características:

- Método simples e rápido de ser computado
- Pode ter uma distribuição ruim dependendo do valor de M^1

¹ex.: M não deve ser uma potência de 2

Funções de hash - método da multiplicação

```
HASH(CHAVE, M) {  
    AUX = M * ( (CHAVE * TAXA) mod 1)  
    return floor( AUX )  
}
```

Método da multiplicação

Características:

- A distribuição não é dependente do valor de M
- Funciona com qualquer valor de TAXA, mas a literatura sugere um valor próximo a

$$(\sqrt{5} - 1)/2 = 0,6180339887...$$

Para cadeias de caracteres

- Somatório (ruim)
- djb2

Funções de hash - somatório

```
HASH(CHAVE, M) {  
    AUX = 0  
  
    PARA CADA CARACTERE C EM CHAVE {  
        AUX = AUX + C  
    }  
  
    return AUX mod M  
}
```


Funções de hash - djb2

```
HASH(CHAVE, M) {  
    AUX = 5381  
  
    PARA CADA CARACTERE C EM CHAVE {  
        AUX = AUX * 33 + C  
    }  
  
    return AUX mod M  
}
```

Resolução de Colisões

- Salvo situações especiais, chaves diferentes serão mapeadas para a mesma posição, causando assim uma *colisão*
- Boas funções de *hash* diminuem o número de colisões, mas em uma situação normal elas irão ocorrer, logo a tabela deve tratar colisões
- Dois métodos comuns: por encadeamento e por endereçamento aberto

Resolução de Colisões por Encadeamento

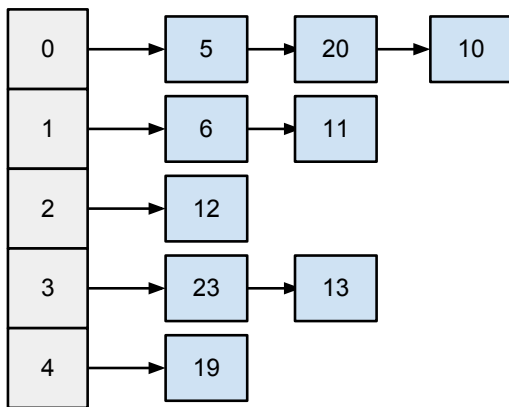


Figura: Resolução de colisões por encadeamento ($\text{end} = \text{chave} \bmod 5$)

Tabela hash (encadeamento) - Inserção

```
INSERÇÃO(TABELA, DADO) {  
    ENDEREÇO = HASH( DADO->CHAVE )  
    INSERE_LISTA( TABELA[ ENDEREÇO ], DADO )  
}
```

Tabela hash (encadeamento) - Busca

```
BUSCA(TABELA, CHAVE) {  
    ENDEREÇO = HASH( CHAVE )  
    return BUSCA_LISTA( TABELA[ ENDEREÇO ], CHAVE )  
}
```

Tabela hash (encadeamento) - Remoção

```
REMOÇÃO(TABELA, CHAVE) {  
    ENDEREÇO = HASH( CHAVE )  
    REMOVE_LISTA( TABELA[ ENDEREÇO ], CHAVE )  
}
```

Endereçamento aberto

- Todos os elementos são armazenados na própria tabela
- Quando há uma colisão, escolhe-se uma nova posição para o novo dado
- A tabela pode ficar cheia, necessitando de redimensionamento
- As operações utilizam o processo de sondagem para encontrar a posição de um elemento

Endereçamento aberto

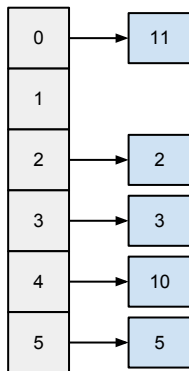


Figura: Endereçamento aberto, onde $\text{hash}(\text{chave}) = \text{chave} \% M$

Tabela hash (endereçamento aberto) - Inserção

```
INSERÇÃO(TABELA, DADO) {  
    I = 0  
  
    FAÇA  
        ENDEREÇO = HASH'( DADO->CHAVE, I )  
  
        SE TABELA[ ENDEREÇO ] ESTÁ VAZIA  
            TABELA[ ENDEREÇO ] = DADO  
            return  
        SENÃO  
            I = I + 1  
    ATÉ QUE I = M  
  
    ERRO("TABELA CHEIA")  
}
```

Tabela hash (endereçamento aberto) - Busca

```
BUSCA(TABELA, CHAVE) {  
    I = 0  
  
    FAÇA  
        ENDEREÇO = HASH'( CHAVE, I )  
  
        SE TABELA[ ENDEREÇO ] = CHAVE  
            return TABELA[ ENDEREÇO ]  
        SENÃO  
            I = I + 1  
    ATÉ QUE TABELA[ENDEREÇO] = VAZIO OU I = M  
  
    return NULO  
}
```

Tabela hash (endereçamento aberto) - Remoção

```
REMOÇÃO(TABELA, CHAVE) {  
    I = 0  
  
    FAÇA  
        ENDEREÇO = HASH'( CHAVE, I )  
  
        SE TABELA[ ENDEREÇO ] = CHAVE  
            TABELA[ ENDEREÇO ] = REMOVIDO  
            return TRUE  
        SENÃO  
            I = I + 1  
    ATÉ QUE TABELA[ENDEREÇO] = VAZIO OU I = M  
  
    return FALSE  
}
```

Sondagem linear

$$\textit{hash}'(\textit{chave}, i) = (\textit{hash}(\textit{chave}) + i) \% M \quad (1)$$

Sondagem quadrática

$$\text{hash}'(\text{chave}, i) = (\text{hash}(\text{chave}) + c_1 i + c_2 i^2) \% M \quad (2)$$