

Processando a Informação: um livro prático de programação independente de linguagem

Rogério Perino de Oliveira Neves

Francisco de Assis Zampirolli

EDUFABC

editora.ufabc.edu.br

Notas de Aulas inspiradas no livro

Utilizando a(s) Linguagem(ns) de Programação:

C

Exemplos adaptados para Correção Automática no Moodle+VPL

Francisco de Assis Zampirolli

20 de novembro de 2022

Sumário

1	Processando a Informação: Cap. 8: Ponteiros	3
1.1	Sumário	3
1.2	Revisão do capítulo anterior (Struct)	3
1.3	Introdução	4
1.4	Alocação estática	4
1.4.1	Exemplo 01 - Criar um registro de Aluno, com <code>scanf</code>	5
1.5	Alocação dinâmica	7
1.5.1	Exemplo de alocação estática	8
1.5.2	Exemplo de alocação dinâmica	9
1.6	Alocação dinâmica para <i>array</i> multidimensional	9
1.7	Exemplo 01 - Ler/Escrever matriz com métodos (cap.6 - Matriz)	10
1.8	Tipo Abstrato de Dado (TAD) Lista	13
1.8.1	TAD Lista Estática	13
1.8.2	TAD Lista Encadeada (ou dinâmica)	14
1.8.3	Exemplo 03 - Criar e manipular lista encadeada	16
1.9	Tipo Abstrato de Dado (TAD) Fila	18
1.9.1	TAD Fila Estática	18
1.9.2	TAD Fila Encadeada	20
1.9.3	Exemplo 04 - Criar e manipular fila encadeada	21
1.10	Tipo Abstrato de Dado (TAD) Pilha	22
1.10.1	TAD Pilha Estática	23
1.10.2	TAD Pilha Encadeada	23
1.10.3	Exemplo 04 - Criar e manipular pilha encadeada	24
1.11	Exercícios	26
1.12	Revisão deste capítulo	26

1 Processando a Informação: Cap. 8: Ponteiros



Este caderno (Notebook em CONSTRUÇÃO) é parte complementar *online* do livro **Processando a Informação: um livro prático de programação independente de linguagem**, que deve ser consultado no caso de dúvidas sobre os temas apresentados.

Este conteúdo pode ser copiado e alterado livremente e foi inspirado nesse livro.

O conteúdo deste capítulo foi inspirado em: * Notas do prof. Paulo Feofiloff: [1]; [2]; [3]; [4]. * Notas de aula de professores da UFABC, em especial, dos professores Luiz Rozante e Wagner Botelho. * Para mais detalhes de tipos de alocação de memória, ver [ref].

1.1 Sumário

- Revisão do capítulo anterior
- Introdução
- Alocação estática
- Alocação dinâmica
- Alocação dinâmica para *array* multidimensional
- Tipo Abstrato de Dados (TAD) Lista
- Tipo Abstrato de Dados (TAD) Fila
- Tipo Abstrato de Dados (TAD) Pilha
- Revisão deste capítulo
- Exercícios

1.2 Revisão do capítulo anterior (Struct)

- Introdução
- Paradigma Estruturado
- Paradigma Orientado a Objetos
- Tipos de dados
- Arquivos

- Revisão deste capítulo
- Exercícios

1.3 Introdução

- *Ponteiros* são variáveis especiais que recebem valores referentes à *endereços* da memória principal do computador (RAM - *Random Access Memory*).
- Ao ligar um computador, o sistema operacional é carregado da memória secundária para a RAM.
- Quando criamos um programa em alguma linguagem de programação e executamos, esse programa também é carregado na RAM.
- Uma variável `x=10` criada nesse programa também será endereçada na RAM, por exemplo, no endereço `FF10AF` (em hexadecimal).
- Algumas linguagens de programação aceitam também essas variáveis especiais do tipo *ponteiros*. Por exemplo, em C podemos criar `int *p=FF10AF`.
- Em geral, não precisamos saber qual é o endereço de memória de uma variável, mas é importante saber associar a um ponteiro. Por exemplo, a seguir é criada uma variável inteira `x=10` e em seguida um ponteiro `p` é associado a `x`, incluindo um prefixo `&`, para pegar o endereço de memória de `x` e associar a `p`, com `p = &x`. Para alterar o conteúdo de `p` (o mesmo de `x`), bastar incluir o prefixo `*`, ou seja, `*p = 15`. Ver também a figura a seguir para melhor visualizar operações com ponteiros.

```
int x = 10;
int *p;      // cria um ponteiro para um inteiro
p = &x;      // faz p apontar para o endereço de x
*p = 15;     // altera o conteúdo de p (e também de x)
printf("x=%d *p=%d", x, *p);
```

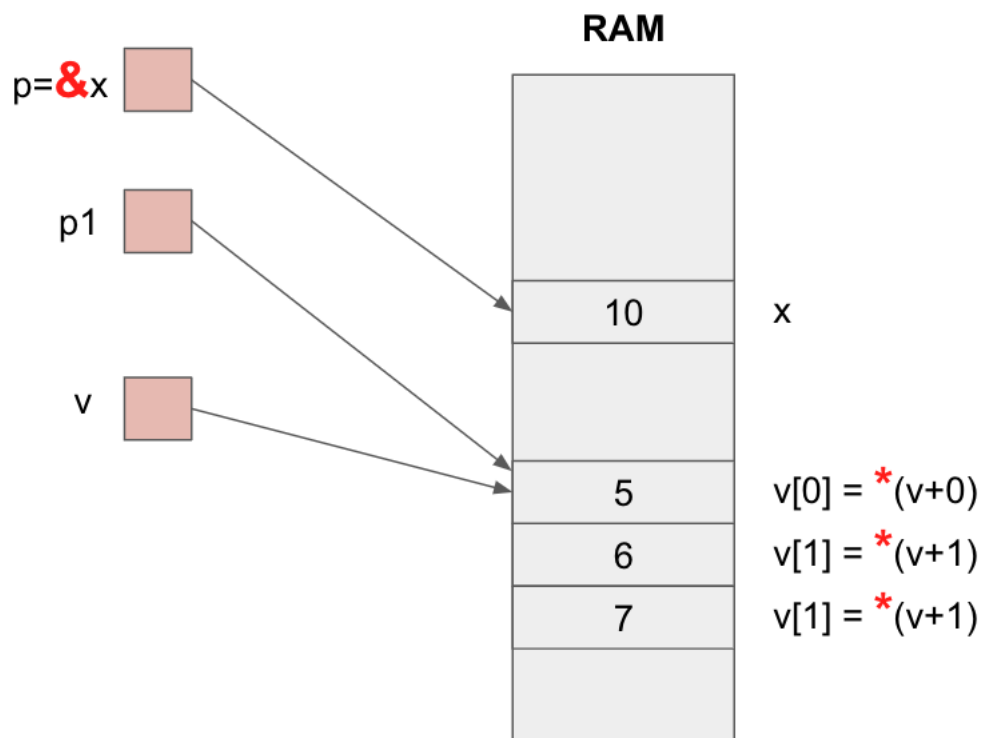
1.4 Alocação estática

- A *alocação estática* ocorre em *tempo de compilação* a depender a linguagem de programação escolhida. Por exemplo, no exemplo a seguir, o vetor `v` é criado contendo 3 elementos inteiros. Não é possível incluir um quarto elemento nesse vetor quando executamos o programa (ou seja, em *tempo de execução*).
- Ao criar vetores ou matrizes, estamos criando ponteiros para o primeiro elemento dessas estruturas. Por exemplo,

```
int v[3] = { 5,6,7 };
int* p1;
p1 = v; // observe que aqui não precisa usar &v
for (int i = 0; i < 3; i++)
    printf("%d %d %d\n", *(p1 + i), p1[i], v[i]); // *(p1+i) = p1[i] = v[i]
```

- Assim, nesse exemplo é possível fazer operações de ponteiros `(p1 + i)` para acessar os endereços `p1`, `p1+1`, `p1+2`, `$...$Paraavarivelponteirotipochar, char *pocupaumbyte.Parainto4byteseparadoubleso8byte`
- Para saber a quantidade de *bytes* de uma variável/tipo, usar a função `sizeof`.

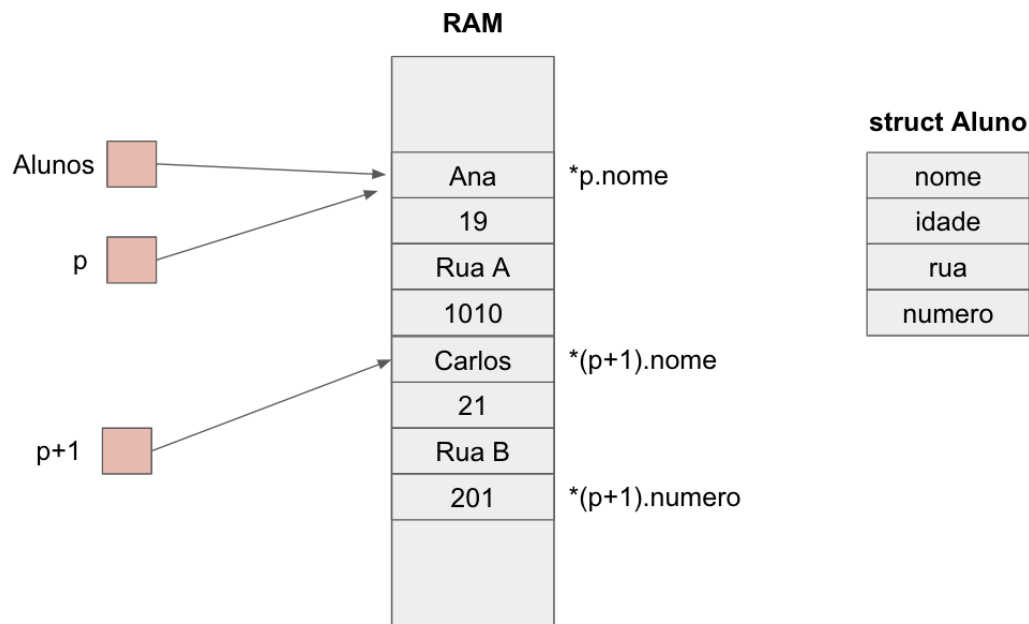
- Por exemplo, para uma variável do tipo `double`, basta fazer `sizeof (double)`, ou `sizeof(p1)`, onde `p1` foi definido no exemplo anterior.
- Também é possível calcular o tamanho de um vetor alocado estaticamente. Para o exemplo anterior, basta fazer: `sizeof(v) / sizeof(int)`.
- Esse cálculo é útil para saber o tamanho de um *array* porém tem algumas restrições, ver próxima seção.



- Também é possível fazer operações de ponteiros para *array* de `struct`. Ver um exemplo a seguir:

1.4.1 Exemplo 01 - Criar um registro de Aluno, com scanf

Exemplo para criar um *array* de `struct Aluno` contendo 4 atributos lidos do teclado com `scanf`. Associar um ponteiro para essa `struct`.



```
[ ]: %%writefile cap8ex01.c
#include <stdio.h>
#include <string.h>

typedef struct {
    char nome[50];
    int idade;
    char rua[50];
    int numero;
} Aluno;

int main() {
    Aluno Alunos[2]; // instancia uma vetor do tipo Aluno
    Aluno *p; // cria um ponteiro para Aluno
    p = Alunos; // ATENÇÃO: associa p a array de alunos
    // ENTRADA DE DADOS
    for (int i = 0; i < 2; i++) {
        printf("Entre com os dados: nome, idade, rua, número:\n");
        fflush(stdin);
        fgets(p[i].nome, 50, stdin);
        scanf("%d", &p[i].idade);
        fflush(stdin);
        fgets(p[i].rua, 50, stdin);
        scanf("%d", &p[i].numero);
    }
    // SAÍDA DE DADOS
    for (int i = 0; i < 2; i++) {
        printf("nome: %s\nidade: %d\n", p[i].nome, p[i].idade);
    }
}
```

```

    printf("rua: %s\nnúmero: %d\n", p[i].rua, p[i].numero);
}
return 0;
}

```

```

[ ]: %%shell
gcc -Wall -std=c99 cap8ex01.c -o output
./output

```

1.5 Alocação dinâmica

- A alocação dinâmica ocorre quando não sabemos o tamanho de um *array* em tempo de compilação, sendo necessário alocar em tempo de execução.
- Até agora utilizamos alocação estática para definir o tamanho de um *array*. Por exemplo, para criar um *array* de alunos da UFABC, podemos criar um *array* “muito grande”, por exemplo, contendo 100000 alunos.
- Nesse caso, temos dois problemas, se um dia tivermos mais que 100000 alunos, esse *array* não vai suportar.
- O outro problema é que em geral estamos desperdiçando memória RAM com as posição do *array* não utilizadas.
- Para resolver isso, utilizamos *alocação dinâmica*, inserindo ou retirando elementos do *array* conforme a demanda.
- Na linguagem C existem os seguintes comandos da biblioteca `stdlib.h`:

- `malloc`
 - * sintaxe para *array* de inteiros: `int * p = (int *) malloc(TAMANHO * sizeof(int))`
 - * comando utilizado para alocar um *array* de TAMANHO de inteiros.
 - * O ponteiro `p` aponta para o primeiro elemento do *array*.
 - * É possível definir um *array* para qualquer tipo de dado, não apenas para `int`, inclusive para `struct`.
 - * Se `p = NULL` então não existe memória suficiente para a alocação.
- `calloc`
 - * sintaxe para *array* de inteiros: `int * p = (int *) calloc(TAMANHO, sizeof(int))`
 - * análogo ao `malloc`, porém:
 - o `calloc` possui dois argumentos;
 - inicializa todos os elementos com zeros;
 - logo, um pouco mais lento.
- `realloc`
 - * sintaxe para *array* de inteiros: `p = (int *) realloc(p, TAMANHO * sizeof(int))`
 - * realoca um *array*
- `free`

- * sempre que alocamos memória dinamicamente devemos liberar a memória no final, com o comando `free(p)`.
- * se isso não for feito, a memória será liberada somente quando o computador for desligado ou a aplicação encerrada (se o sistema operacional não tiver algum recurso de “coleta de lixo”).

1.5.1 Exemplo de alocação estática

```
void main(){
    int TAMANHO = 0;
    scanf("%i", &TAMANHO);
    int v[TAMANHO]; // NÃO PODE ALTER O TAMANHO DE v APÓS CRIADO!!!
    // free(v); // LOGO, NÃO PODE USAR free!!!
}
```

Tamanho de um *array*

```
int main() {
    int v[5] = { 3,4,5,6,7 };

    printf("sizeof(v)=%ld\n", sizeof(v));
    printf("sizeof(int)=%ld\n", sizeof(int));
    printf("tamanho=%li\n", (int) sizeof(p) / sizeof(int));
    return 0;
}
```

Retorna tamanho CORRETO:

```
sizeof(v)=20
sizeof(int)=4
tamanho=5
```

Porém, aqui não retorna o esperado

```
void funcao(int* v) {
    printf("sizeof(v)=%ld\n", sizeof(v));
    printf("sizeof(int)=%ld\n", sizeof(int));
    printf("tamanho=%li\n", (int)sizeof(v) / sizeof(int));
}

int main() {
    int v[5] = { 3,4,5,6,7 };
    funcao(v);
    return 0;
}
```

Retorna tamanho INCORRETO:

```
sizeof(v)=8
sizeof(int)=4
tamanho=2
```


1.5.2 Exemplo de alocação dinâmica

```
void main(){
    int TAMANHO = 0;
    scanf("%i", &TAMANHO);
    int *v = (int *) malloc( TAMANHO * sizeof(int) );
    free(v); // LIBERAR A MEMÓRIA - S E M P R E !!!!
}
```

Não é possível retornar o tamanho de um *array* alocado dinamicamente

```
int main() {
    int* p = (int*)malloc(5 * sizeof(int));

    printf("sizeof(p)=%li\n", sizeof(p));
    printf("sizeof(int)=%li\n", sizeof(int));
    printf("tamanho=%li\n", (int) sizeof(p) / sizeof(int));
    return 0;
}
```

Retorna tamanho INCORRETO:

```
sizeof(p)=8
sizeof(int)=4
tamanho=2
```

1.6 Alocação dinâmica para *array* multidimensional

- É possível usar um *array* unidimensional para tratar matriz multidimensional. Por exemplo, para uma matriz de L linha e C colunas de inteiros, temos:

```
int * m = (int *) malloc( L*C*sizeof(int) );
for (int i=0; i < L; i++)
    for (int j=0; j < C; j++)
        scanf("%d", m + i*C + j); // m+i*C+j = &m[i*C+j]
```

// ou simplesmente

```
for (int i=0; i < L*C; i++)
    scanf("%d", m + i); // linha=i/C e coluna=i%C
```

- Para utilizarmos matrizes com alocação dinâmica é interessante trabalharmos com *ponteiro para ponteiro*:
 - primeiro alocamos memória para as linhas (L) da matriz:


```
* int **m = (int**) malloc( L * sizeof(int *) );
```
 - em seguida alocamos memória para cada linha da matriz (colunas C):


```
for (int i=0; i < L; i++)
    m[i] = (int*) malloc( C * sizeof(int *) ); // m[i] = *(m+i)
```
 - para popular a matriz - opção 1:


```
for (int i=0; i < L; i++)
    for (int j=0; j < C; j++)
        scanf("%d", &m[i][j]); // &m[i][j] = m + i*C + j
```

```

- para popular a matriz - opção 2:
for (int i=0; i < L*C; i++)
    scanf("%d", m+i); // m+i = &m[i/C][i%C]
- não esquecer de LIBERAR A MEMÓRIA:
    * primeiro o conteúdo de cada linha:
    for (int i=0; i < L; i++)
        free(m[i]); // m[i] = *(m+i)
    * depois toda a matriz:
    free(m);

```

- Quais as vantagens de usar matriz como **ponteiro de ponteiro**?

1.7 Exemplo 01 - Ler/Escrever matriz com métodos (cap.6 - Matriz)

- Analogamente ao que foi feito no capítulo sobre vetores, onde alocamos os vetores em tempo de execução através de métodos, é possível usar modularização para melhorar a organização, manutenção e reaproveitamento de código.
- Aqui é apresentado um método `leiaMatriz` e `escrevaMatriz` genéricos
- Para entrada de dados, ou seja, inserir valores nos elementos alocados na memória para uma matriz.
- Além de saída de dados, para escrever a matriz, linha por linha.

Pseudocódigo Exemplo 01: Considere um algoritmo para: * Ler um inteiro `L` (linhas) representando o número de alunos, * Ler um inteiro `C` representando o número de avaliações. * Considere a primeira coluna o RA do aluno, assim `C=C+1`. * Criar uma matriz `m` com dimensões `LxC`. * Ler todos os elementos da matriz. * Escrever todos os elementos da matriz, formando a saída, linha por linha, por exemplo, para uma matriz com 2 alunos e 3 avaliações, escreva:

LISTA DE ALUNOS vs Avaliações:

```

1234 4 3 9
3456 6 4 8

```

```

Função inteiro m[][] leiaMatriz(inteiro L, inteiro C):
    Instanciar e alocar uma matriz m de Reais com L x C
    Para cada i, de i=0; até i<L; passo i=i+1 faça
        Para cada j, de j=0; até j<C; passo j=j+1 faça
            m[i,j] = leia("Digite um número inteiro:");

```

```

Função escrevaMatriz(inteiro m[][], inteiro L, inteiro C):
    Instanciar e alocar uma matriz m de Reais com L x C
    Para cada i, de i=0; até i<L; passo i=i+1 faça
        Para cada j, de j=0; até j<C; passo j=j+1 faça
            escreva(" ", m[i,j]);
        escreva("\n"); // pula linha

```

```
// PROGRAMA PRINCIPAL
```

```
// ENTRADAS
inteiro L = leia("Digite o numero de alunos:")
inteiro C = leia("Digite o numero de avaliações:")
C = C + 1 // a primeira coluna é o RA
Instanciar uma matriz m com L linhas e C colunas

m = leiaMatriz(L,C)
// PROCESSAMENTO: ?

// SAÍDA
escrevaMatriz(m)
```

Casos para Teste Moodle+VPL Para o professor criar uma atividade VPL no Moodle para este Exemplo 01, basta incluir em **Casos para teste**, o seguinte texto (pode incluir mais casos):

```
case=caso1
input=2
3
1234
4
3
9
3456
6
4
8
output=
LISTA DE ALUNOS vs Avaliações:
1234 4 3 9
3456 6 4 8
```

```
[ ]: %%writefile cap8ex02.c
#include <stdio.h>
#include <malloc.h>

int ** leiaMatriz(int L, int C) {
    int **m = (int **)malloc(L*sizeof(int*));
    for (int i = 0; i < L; i++) {
        m[i] = (int *)malloc(C * sizeof(int)); // for each row allocate C
        ↪ints
        for (int j = 0; j < C; j++)
            scanf("%d", &m[i][j]);
    }
    return m;
}

void free_matrix(int **m, int L) {
    for (int i = 0; i < L; i++)
```

```

        free(m[i]);
    free(m);
}
void escrevaMatriz(int **m, int L, int C) {
    for (int i = 0; i < L; i++) {
        for (int j = 0; j < C; j++)
            printf("%d\t", m[i][j]);
        printf("\n");
    }
}
int main(void) {
    // ENTRADA DE DADOS
    int L, C, **m;    // variaveis de referência m
    printf("Digite o número de alunos: ");
    scanf("%d", &L);

    printf("Digite o número de avaliações: ");
    scanf("%d", &C);

    C = C + 1; // a primeira coluna é o RA do aluno

    printf("Digite os elementos da matriz");
    m = leiaMatriz(L,C);

    // PROCESSAMENTO [?]

    // SAÍDA DE DADOS
    printf("\nLISTA DE ALUNOS vs Avaliações:\n");
    printf("RA ");
    for (int i = 0; i < C-1; i++)
        printf("\t%d", (i+1));

    printf("\n");
    escrevaMatriz(m,L,C);
    free_matrix(m,L); // liberar memória alocado com malloc
    return 0;
}

```

```

[ ]: %%shell
gcc -Wall -std=c99 cap8ex02.c -o output
./output

```

Acessando elemento com * Outras forma de acessar elementos em matriz.

```

for (int i = 0; i < L; i++)
    for (int j = 0; j < C; j++) {
        printf("%d\t", m[i][j]); // ou
        printf("%d\t", *(m + i*C + j));
    }

```

```
}
```

Ou utilizando apenas um laço para varrer uma matriz:

```
for (int i = 0; i < L*C; i++) {
    printf("%d\t", m[i/C][i%C]); // ou
    printf("%d\t", *(m + i));
}
```

Matriz Multidimensional

```
for (int k = 0; k < D; k++) // profundidade
    for (int i = 0; i < L; i++) // linha
        for (int j = 0; j < C; j++) { // coluna
            printf("%d\t", m[k][i][j]); // ou
            printf("%d\t", *(m + k*L*C + i*C + j));
        }
```

Ou utilizando apenas um laço para varrer uma matriz:

```
for (int i = 0; i < D*L*C; i++) {
    d = i/(L*C);
    printf("%d\t", m[d][(d-i)/C][(d-i)%C]); // ou
    printf("%d\t", *(m + i));
}
```

1.8 Tipo Abstrato de Dado (TAD) Lista

Quando criamos uma estrutura de dados e um conjunto de métodos para manipular essa estrutura, podemos dizer que estamos criando um **Tipo Abstrato de Dados (TAD)** (ou também chamado **Tipo de Dado Abstrato**). Esse conceito é também utilizado em Programação Orientada a Objetos, encapsutando também os métodos na estrutura. A seguir apresentamos dois TADs: **TAD Lista Estática** e **TAD Lista Encadeada**.

1.8.1 TAD Lista Estática

Ao manipular listas estáticas, em algumas situações (por exemplo, não altera muito o tamanho máximo `MAX_LISTA`), é interessante se definir uma estrutura de dados como segue:

```
#define MAX_LISTA 6
typedef struct {
    int tamanho;
    int conteudos[MAX_LISTA];
} Lista0; // AQUI Lista estática é Lista0 e lista0
```

Além dessa estrutura, muitos métodos podem ser úteis para a sua manipulação. Por exemplo:

```
Lista0* lista0_cria(void);
void lista0_free(Lista0* lista);
int lista0_tamanho(Lista0* lista);
```

```

int lista0_cheia(Lista0* lista);
int lista0_inserir(Lista0* lista, int conteudo); // insere no final
void lista0_imprime(Lista0* lista);
int lista0_inserir_inicio(Lista0* lista, int conteudo);
int lista0_busca(Lista0* lista, int conteudo); // indice 1a ocorrencia
int lista0_remove(Lista0* lista); // remove no final
int lista0_remove_inicio(Lista0* lista);
int lista0_troca(Lista0* lista, int i, int j);
int lista0_remove_conteudo(Lista0* lista, int conteudo); // remove 1o conteudo

```

Esses métodos estão implementados e disponíveis no arquivo `myLista.c`, no GitHub, juntamente com o seu uso no programa `cap8.part1ex03.c`: <https://github.com/fzampirolli/codigosPE/tree/master/cap8>

Como esses métodos são aplicações dos conceitos já abordados anteriormente (capítulos 5-vetor, 6-matriz e 7-struct), vamos focar o restante deste capítulo em **Listas Encadeadas**.

1.8.2 TAD Lista Encadeada (ou dinâmica)

Uma vantagem de trabalhar com **Lista Encadeada**, em comparação com as listas estáticas, é que os elementos da lista são inseridos/removidos em tempo de execução.

Com isso, a princípio não precisamos definir um tamanho da lista (número de elementos), muito menos o tamanho máximo, necessários em listas estáticas.

Cada elemento de uma lista pode ser definido contendo um conteúdo (por exemplo, do tipo inteiro) e um ponteiro para o próximo elemento da lista, como segue:

```

typedef struct TCelula Celula;
struct TCelula {
    int conteudo;
    Celula* prox;
};

```

Uma célula `c` pode ser declarada e manipulada assim:

```

Celula c;
c.conteudo = 10;
c.prox = NULL;

```

Um ponteiro `p` para uma célula pode ser definido e manipulado assim:

```

Celula *p = (Celula*)malloc(sizeof(Celula));
*p->conteudo = 10;
*p->prox = NULL;

```

Uma lista encadeada é um conjunto de células interligadas e pode ser acessada pelo endereço da primeira célula da lista.

Existem várias formas de criar uma lista e de implementar métodos para manipular listas encadeadas.

Por exemplo, utilizando ponteiro para ponteiro, lista com “cabeça” e simplesmente, criando um ponteiro para o início da lista, ver figura a seguir.

Ponteiro para ponteiro

```
typedef Celula *Lista; // lista é ponteiro para ponteiro
Lista **lista = (Lista *) malloc(sizeof(Lista));
*lista = NULL; // lista vazia
```

Incluir um primeiro elemento da lista:

```
Celula* no = (Celula*)malloc(sizeof(Celula));
no->conteudo = conteudo;
no->prox = *lista;
*lista = no;
```

Cabeça

```
Celula* cabeca = (Celula*)malloc(sizeof(Celula));
cabeca->prox = NULL; // lista vazia
```

Incluir um primeiro elemento da lista:

```
Celula* no = (Celula*)malloc(sizeof(Celula));
no->conteudo = conteudo;
no->prox = NULL;
cabeca->prox = no;
```

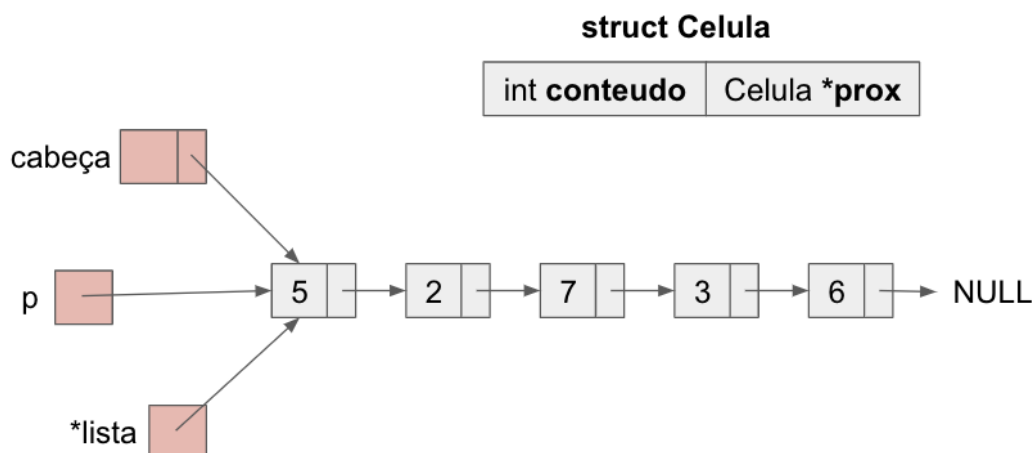
Ponteiro

```
Celula* p = NULL ; // lista vazia
```

Incluir um primeiro elemento da lista:

```
Celula* no = (Celula*)malloc(sizeof(Celula));
no->conteudo = conteudo;
no->prox = NULL;
p = no;
```

Para simplificar alguns métodos, vamos apresentar a seguir algumas implementações para manipular lista com cabeça (o primeiro elemento, a cabeça, tem o campo **prox** apontando para o primeiro elemento da lista):



1.8.3 Exemplo 03 - Criar e manipular lista encadeada

```
[ ]: %%writefile myList.h
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

typedef struct TCelula Celula;
struct TCelula {
    int conteudo;
    Celula* prox;
};
Celula* lista_cria(void);
void lista_insere(Celula* p, int conteudo);
void lista_imprime(Celula* cabeca);
void lista_free(Celula* cabeca);
void lista_remove(Celula* p);
void lista_busca_remove(Celula* cabeca, int conteudo);
void lista_busca_insere(Celula* cabeca, int busca, int novo);
```

```
[ ]: %%writefile myList.c
#include "myLista.h"
Celula* lista_cria(void) {
    Celula* cabeca = (Celula*)malloc(sizeof(Celula));
    if (cabeca == NULL) {
        printf("ERRO: sem memoria\n");
        exit(1);
    }
    cabeca->prox = NULL;
    return cabeca;
}
void lista_insere(Celula* p, int conteudo) {
    // insere numa posicao p qualquer da lista
    if (p == NULL) exit(1);
    Celula* novo = (Celula*)malloc(sizeof(Celula));
    novo->conteudo = conteudo;
    novo->prox = p->prox;
    p->prox = novo;
}
void lista_free(Celula* cabeca) {
    if (cabeca == NULL) exit(1);
    Celula* aux = cabeca->prox;
    while (aux != NULL) {
        Celula* no = aux;
        aux = aux->prox;
        free(no);
    }
```



```

    }
    free(cabeca);
}
void lista_imprime(Celula* cabeca) {
    Celula* p;
    for (p = cabeca->prox; p != NULL; p = p->prox)
        printf("%d ", p->conteudo);
    printf("\n");
}
void lista_remove(Celula* p) { // remove p->prox
    if (p == NULL) exit(1);
    Celula* no;
    no = p->prox;
    p->prox = no->prox;
    free(no);
}
void lista_busca_remove(Celula* cabeca, int conteudo) {
    if (cabeca == NULL) exit(1);
    Celula* no, * antes;
    antes = cabeca;
    no = antes->prox;
    while (no != NULL && no->conteudo != conteudo) {
        antes = no;
        no = no->prox;
    }
    lista_remove(antes);
}
void lista_busca_insere(Celula* cabeca, int busca, int novo) {
    // insere antes da primeira ocorrencia de busca ou no final
    if (cabeca == NULL) exit(1);
    Celula* no, * antes;
    antes = cabeca;
    no = antes->prox;
    while (no != NULL && no->conteudo != busca) {
        antes = no;
        no = no->prox;
    }
    lista_insere(antes, novo);
}

```

```

[ ]: %%writefile cap8ex03.c
#include "myLista.h"
int main() {
    Celula* cabeca = lista_cria();
    for (int i = 0; i < 6; i++)
        lista_insere(cabeca, i + 1);
    lista_imprime(cabeca);
}

```

```

lista_remove(cabeca);
lista_imprime(cabeca);
lista_busca_remove(cabeca, 3);
lista_imprime(cabeca);
lista_busca_insere(cabeca, 2, 8);
lista_imprime(cabeca);
lista_free(cabeca);
return 0;
}

```

```

[ ]: %%shell
gcc -Wall -std=c99 myLista.c cap8ex03.c -o output
./output

```

DESAFIO: Desenhar o passo-a-passo de cada método no programa anterior, como feito da figura acima.

1.9 Tipo Abstrato de Dado (TAD) Fila

[Ref. [Notas do prof. Paulo Feofiloff](#)]

Semelhante ao TAD Lista, é possível criar **TAD Fila**, tendo que gerenciar o primeiro (P) e o último (U) elementos dessa estrutura. Ou seja, filas são casos particulares de listas. No caso de **Fila Estática**, também é necessário gerenciar o tamanho (N) da fila.

Observe então que TAD Fila não permite inserir/remover elementos do meio da estrutura, como ocorrem em TAD Lista.

Semelhante a uma fila (honesta ou sem prioridades) de caixa de banco/supermercado, o primeiro a entrar deverá ser também o primeiro a sair (*FIFO = First-In-First-Out*).

Para facilitar, é possível criar variáveis globais para gerenciar esses elementos (P, U e N), ou também, criar uma outra estrutura de dados contendo essas informações, a gosto do desenvolvedor.

1.9.1 TAD Fila Estática

Ao manipular dados, em algumas situações (por exemplo, quando não altera muito o tamanho máximo MAX), é interessante se definir uma estrutura de dados estática, como segue:

```

#define MAX 6
typedef struct {
    int tamanho;
    int inicio;
    int final;
    int conteudos[MAX];
} Fila0; // AQUI Fila Estática é Fila0 e fila0

```

Além dessa estrutura, muitos métodos podem ser úteis para a sua manipulação. Por exemplo:

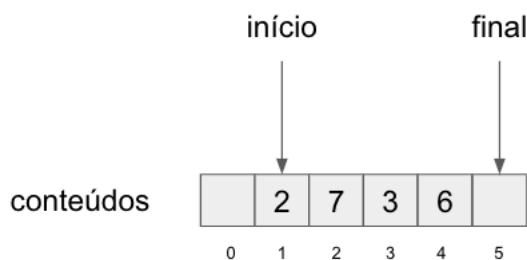
```

Fila0* fila0_cria(void);
void fila0_free(Fila0* fila);
int fila0_tamanho(Fila0* fila);
int fila0_cheia(Fila0* fila);
void fila0_imprime(Fila0* fila);
int fila0_insere(Fila0* fila, int conteudo); // insere no final
int fila0_remove(Fila0* fila); // remove no inicio

```

Esses métodos estão implementados e disponíveis no arquivo `myFila.c`, no GitHub, juntamente com o seu uso no programa `cap8.part1ex06.c`: <https://github.com/fzampirolli/codigosPE/tree/master/cap8>

Fila Estática



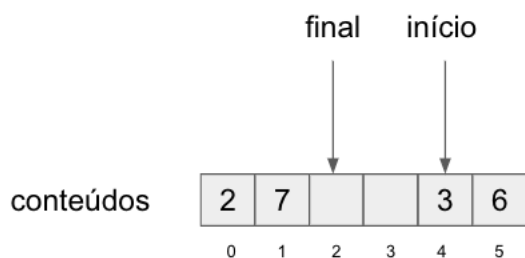
struct Fila0

int tamanho
int inicio
int final
int conteudos [MAX]

tamanho = final - início

Observe que o `tamanho` da fila é facilmente calculado, não sendo essencial para a `struct`. Observe também que na Fila Estática, onde só é possível inserir no final (e remover no início), fica rapidamente cheia (vazia), mas com várias posições do vetor sem conter elementos da fila. Uma solução é manipular uma fila circular, como ilustrado na figura a seguir. Outra solução é ir dobrando o tamanho da fila com o comando `realloc` para $2*MAX$, $4*MAX$, \dots .

Fila Circular



struct Fila0

int tamanho
int inicio
int final
int conteudos [MAX]

1.9.2 TAD Fila Encadeada

Uma vantagem de trabalhar com **Fila Encadeada**, em comparação com as filas estáticas, é que os elementos da fila são inseridos/removidos em tempo de execução.

Com isso, a princípio não precisamos definir um tamanho da fila (número de elementos), muito menos o tamanho máximo, necessários em filas estáticas.

Cada elemento de uma fila pode ser definido contendo um conteúdo (por exemplo, do tipo inteiro) e um ponteiro para o próximo elemento da fila, idêntico ao utilizado em listas, como segue:

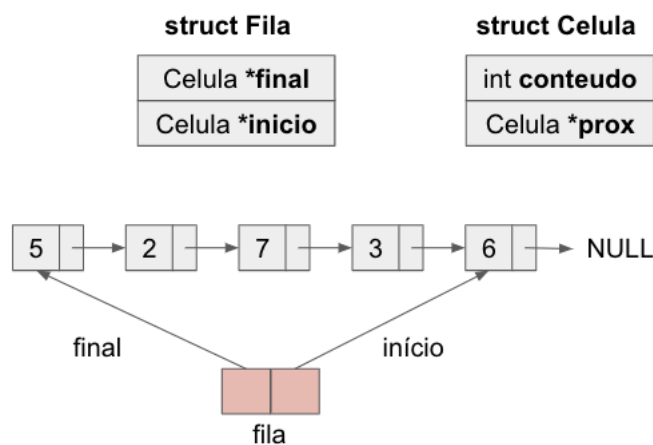
```
typedef struct TCelula Celula;
struct TCelula {
    int conteudo;
    Celula* prox;
};
```

Um ponteiro *p* para uma célula pode ser definido e manipulado assim:

```
Celula *p = (Celula*)malloc(sizeof(Celula));
*p->conteudo = 10;
*p->prox = NULL;
```

Uma fila encadeada é um conjunto de células interligadas e pode ser acessada pelo endereço da primeira célula da fila **final**. Lembrando que se insere no final e se remove no início da fila. Assim, é necessário um outro endereço para o **início** da fila. Podemos encapsular esses ponteiros em uma nova **struct**, ver figura a seguir.

```
typedef struct Tfila Fila;
struct Tfila {
    Celula* inicio;
    Celula* final;
};
```



1.9.3 Exemplo 04 - Criar e manipular fila encadeada

```
[1]: %%writefile myFila.h
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

#define MAX 6
typedef struct TCelula Celula;
struct TCelula {
    int conteudo;
    Celula* prox;
};
typedef struct Tfila Fila;
struct Tfila {
    Celula* inicio;
    Celula* final;
};
////////// Versão ***SEM*** PONTEIRO DE PONTEIRO
Fila* fila_cria(void);
void fila_free(Fila* fila);
void fila_imprime(Fila* fila);
void fila_insere(Fila* fila, int conteudo);
void fila_remove(Fila* fila);
```

```
[2]: %%writefile myFila.c
#include "myFila.h"
////////// Versão 2 - ***SEM*** PONTEIRO DE PONTEIRO
Fila* fila_cria(void) {
    Fila* f = (Fila*)malloc(sizeof(Fila));
    f->inicio = f->final = NULL;
    return f;
}
void fila_insere(Fila* fila, int conteudo) {
    Celula* novo = (Celula*)malloc(sizeof(Celula));
    novo->conteudo = conteudo;
    novo->prox = fila->final;
    if (fila->inicio == NULL)
        fila->inicio = novo;
    fila->final = novo;
}
void fila_imprime(Fila* fila) {
    for (Celula* p = fila->final; p != NULL; p = p->prox)
        printf("%d ", p->conteudo);
    printf("\n");
}
void fila_free(Fila* fila) {
    if (fila == NULL) exit(1);
    Celula* aux = fila->final;
```

```

    while (aux != fila->inicio) {
        Celula* no = aux;
        aux = aux->prox;
        free(no);
    }
    free(fila);
}

void fila_remove(Fila* fila) { // remove p->prox
    Celula* ant = fila->final;
    while (ant->prox != fila->inicio)
        ant = ant->prox;
    ant->prox = NULL;
    free(fila->inicio);
    fila->inicio = ant;
}

```

```

[3]: %%writefile cap8ex04.c
#include "myFila.h"
int main() {
    Fila* fila = fila_cria();

    for (int i = 0; i < MAX; i++)
        fila_insere(fila, i + 1);
    fila_imprime(fila);
    fila_remove(fila);
    fila_imprime(fila);
    fila_remove(fila);
    fila_imprime(fila);
    fila_free(fila);
    return 0;
}

```

```

[5]: %%shell
gcc -Wall -std=c99 myFila.c cap8ex04.c -o output
./output

```

DESAFIO: Desenhar o passo-a-passo de cada método no programa anterior, como feito da figura acima.

1.10 Tipo Abstrato de Dado (TAD) Pilha

[Ref. [Notas do prof. Paulo Feofiloff](#)]

Semelhante ao TAD Lista, é possível criar **TAD Pilha**, tendo que gerenciar somente o último elemento dessa estrutura (T=Topo da pilha), inserindo ou removendo. Ou seja, pilhas são casos particulares de listas. No caso de **Pilha Estática**, também é necessário gerenciar o tamanho (N) da pilha.

Observe então que TAD Pilha não permite inserir/remover elementos do meio da estru-

tura, como ocorrem em TAD Lista.

Semelhante a uma pilha de pratos, o primeiro a entrar deverá ser o último a sair (*LIFO = Last-In-First-Out*).

Para facilitar, é possível criar variáveis globais para gerenciar esses elementos (T e N), ou também, criar uma outra estrutura de dados contendo essas informações, a gosto do desenvolvedor.

1.10.1 TAD Pilha Estática

Ao manipular dados, em algumas situações (por exemplo, quando não altera muito o tamanho máximo MAX), é interessante se definir uma estrutura de dados estática, como segue:

```
#define MAX 6
typedef struct {
    int tamanho; // topo da pilha
    int conteudos[MAX];
} Pilha0; // AQUI pilha Estática é Pilha0 e pilha0
```

Além dessa estrutura, muitos métodos podem ser úteis para a sua manipulação. Por exemplo:

```
Pilha0* pilha0_cria(void);
void pilha0_free(Pilha0* pilha);
int pilha0_tamanho(Pilha0* pilha);
int pilha0_cheia(Pilha0* pilha);
void pilha0_imprime(Pilha0* pilha);
int pilha0_insere(Pilha0* pilha, int conteudo); // insere no topo
int pilha0_remove(Pilha0* pilha); // remove no topo
```

Esses métodos estão implementados e disponíveis no arquivo `myPilha.c`, no GitHub, juntamente com o seu uso no programa `cap8.part1ex06.c`: <https://github.com/fzampirolli/codigosPE/tree/master/cap8>

Observe que na Pilha Estática, onde só é possível inserir e remover no final, fica rapidamente cheia, mas com várias posições do vetor sem conter elementos da pilha. Uma solução é ir dobrando o tamanho da pilha com o comando `realloc` para `2*MAX`, `4*MAX`, ...

1.10.2 TAD Pilha Encadeada

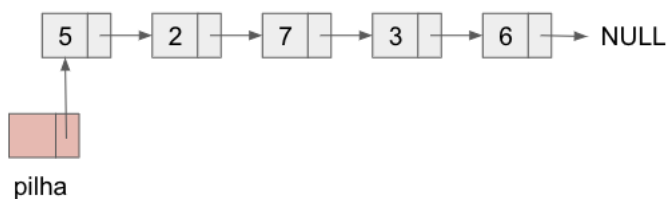
Uma vantagem de trabalhar com **Pilha Encadeada**, em comparação com as pilhas estáticas, é que os elementos da pilha são inseridos/removidos em tempo de execução.

Com isso, a princípio não precisamos definir um tamanho da pilha (número de elementos), muito menos o tamanho máximo, necessários em pilhas estáticas.

Cada elemento de uma pilha pode ser definido contendo um conteúdo (por exemplo, do tipo inteiro) e um ponteiro para o próximo elemento da pilha, idêntico ao utilizado em listas, como segue:

```
typedef struct TCelula Celula;
struct TCelula {
    int conteudo;
    Celula* prox;
};
```

Uma pilha encadeada é um conjunto de células interligadas e pode ser acessada pelo endereço da primeira célula da pilha (aqui será utilizada uma célula “cabeça” apontando para o topo da pilha). Lembrando que se insere no final e se remove também no final da pilha.



1.10.3 Exemplo 04 - Criar e manipular pilha encadeada

```
[1]: %%writefile myPilha.h
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

#define MAX 6
typedef struct TCelula Celula;
struct TCelula {
    int conteudo;
    Celula* prox;
};
Celula* Pilha;

//////////////////// Versão ***SEM*** PONTEIRO DE PONTEIRO
Celula* pilha_cria(void);
void pilha_free(Celula* pilha);
void pilha_imprime(Celula* pilha);
void pilha_insere(Celula* pilha, int conteudo);
void pilha_remove(Celula* pilha);
```

```
[2]: %%writefile myPilha.c
#include "myPilha.h"

//////////////////// Versão 2 - ***SEM*** PONTEIRO DE PONTEIRO
// ref. https://www.ime.usp.br/~pf/algoritmos/aulas/lista.html
Celula* pilha_cria(void) {
```



```

Celula* cabeca = (Celula*)malloc(sizeof(Celula));
if (cabeca == NULL) {
    printf("ERRO: sem memoria\n");
    exit(1);
}
cabeca->prox = NULL;
return cabeca;
}

void pilha_insere(Celula* pilha, int conteudo) {
    if (pilha == NULL) exit(1);
    Celula* novo = (Celula*)malloc(sizeof(Celula));
    novo->conteudo = conteudo;
    novo->prox = pilha->prox;
    pilha->prox = novo;
}

void pilha_imprime(Celula* pilha) {
    for (Celula* p = pilha->prox; p != NULL; p = p->prox)
        printf("%d ", p->conteudo);
    printf("\n");
}

void pilha_free(Celula* pilha) {
    if (pilha == NULL) exit(1);
    Celula* aux = pilha->prox;
    while (aux != NULL) {
        Celula* no = aux;
        aux = aux->prox;
        free(no);
    }
    free(pilha);
}

void pilha_remove(Celula* pilha) { // remove p->prox
    if (pilha == NULL) exit(1);
    Celula* no;
    no = pilha->prox;
    pilha->prox = no->prox;
    free(no);
}

```

```

[3]: %%writefile cap8ex05.c
#include "myPilha.h"
int main() {
    Celula* pilha = pilha_cria();

    for (int i = 0; i < MAX; i++)
        pilha_insere(pilha, i + 1);
    pilha_imprime(pilha);
    pilha_remove(pilha);
}

```

```
    pilha_imprime(pilha);  
    pilha_remove(pilha);  
    pilha_imprime(pilha);  
    pilha_free(pilha);  
    return 0;  
}
```

```
[5]: %%shell  
gcc -Wall -std=c99 myPilha.c cap8ex05.c -o output  
./output
```

DESAFIO: Desenhar o passo-a-passo de cada método no programa anterior, como feito da figura acima.

1.11 Exercícios

Ver notebook Colab nos arquivos `cap8.partX.lab.*.ipynb` ($X \in [2,3,4,5]$ e $*$ é a extensão da linguagem), utilizando alguma linguagem de programação de sua preferência, organizadas em subpastas contidas em "gen", na pasta do Google Drive [colabs](#).

1.12 Revisão deste capítulo

- Introdução
- Alocação estática
- Alocação dinâmica
- Alocação dinâmica para *array* multidimensional
- Tipo Abstrato de Dados (TAD) Lista
- Tipo Abstrato de Dados (TAD) Fila
- Tipo Abstrato de Dados (TAD) Pilha
- Exercícios
- Revisão deste capítulo de Vetores