Estrutura de Dados I

Capítulo 8: Tipos Abstratos de Dados (TADs)

Prof. Abrantes Araújo Silva Filho

Introdução às Estruturas de Dados

- Estruturas de dados **armazenam os valores (dados) que estão sendo manipulados** por um algoritmo, de forma **organizada** e **otimizada**.

- O mesmo dado pode ser **armazenado por diferentes estruturas de dados**

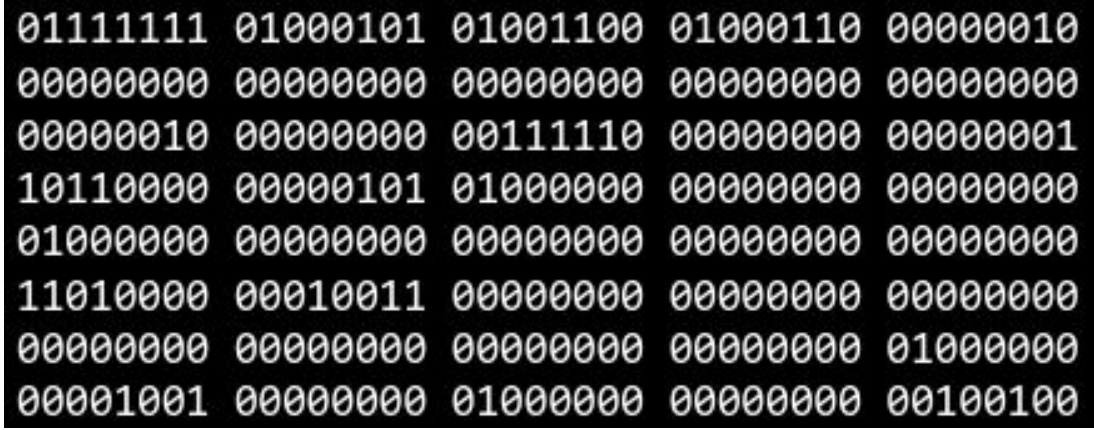
- A **escolha de qual estrutura de dados utilizar é fundamental** pois:
  - Para os mesmos dados algumas estruturas podem ocupar mais ou menos espaço
  - Para os mesmos dados algumas estruturas podem permitir algoritmos mais ou menos eficientes em termos de complexidade de tempo e espaço
  - Se a estrutura correta foi escolhida, os algoritmos tendem a ser simples. **É mais fácil mudar a estrutura de dados do que criar um algoritmo mais complexo!**
  - É mais fácil projetar o programa ao redor de estruturas de dados corretas.

- Problema do estudante:
  - **Confusão de nomenclatura**, discordância entre autores, sopa de letrinhas, etc…

Exemplos de dificuldades iniciais do estudante

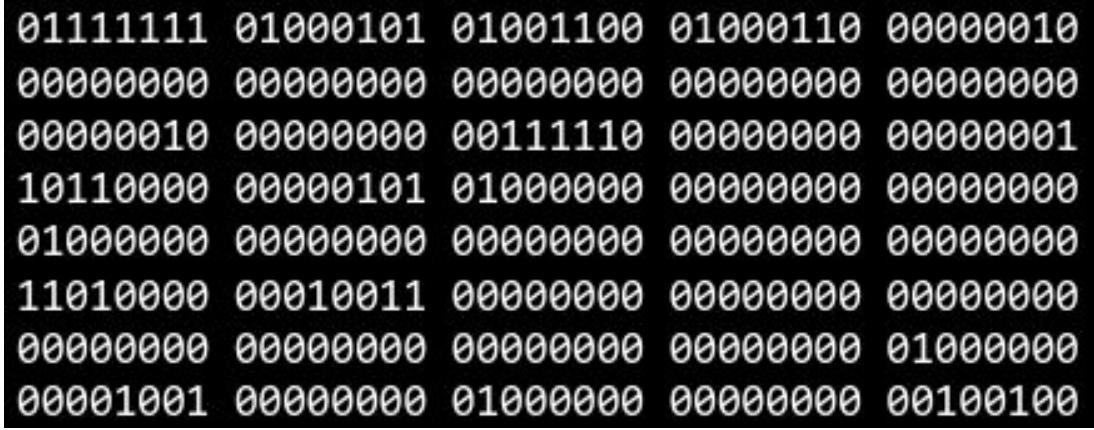
- Uma **variável** é uma estrutura de dados?
- Um **tipo de dado** é uma estrutura de dados?
- Um **array** é uma estrutura de dados?
- Um **tipo abstrato de dado** é uma estrutura de dados?
- Qual a diferença entre um **tipo de dado** e um **tipo abstrato de dado**?
- Uma **pilha** é uma estrutura de dados?
- Um **dicionário** é uma estrutura de dados? Ou um tipo abstrato de dado?
- **Heap** é uma estrutura de dados? Ou tipo de dado? Ou tipo abstrato de dado?
- Uma estrutura de dados tem **interface**?
- Uma **árvore** é um tipo de dado, um tipo abstrato de dado ou uma estrutura?
- O que é uma **estrutura de dados composta ou híbrida**?
- …

Tipo de Dado



- Ao final de tudo, os dados que utilizamos em nossos programas são apenas bits 0 e 1.
  Se nossos programas tivessem que processar direta e exclusivamente bits, o processo seria insustentável. É necessário uma abstração dos bits.
- O primeiro conceito importante que surge é o de **tipo de dado**, que nos permite **especificar como entenderemos e trabalharemos com conjuntos e padrões particulares de bits**.
- Os dados derivam de descrições **matemáticas** ou em **linguagem natural** do mundo e, assim, os blocos mais básicos de dados são:
  - **Números** (naturais, inteiros, reais…)
  - **Caracteres**

Tipo de Dado

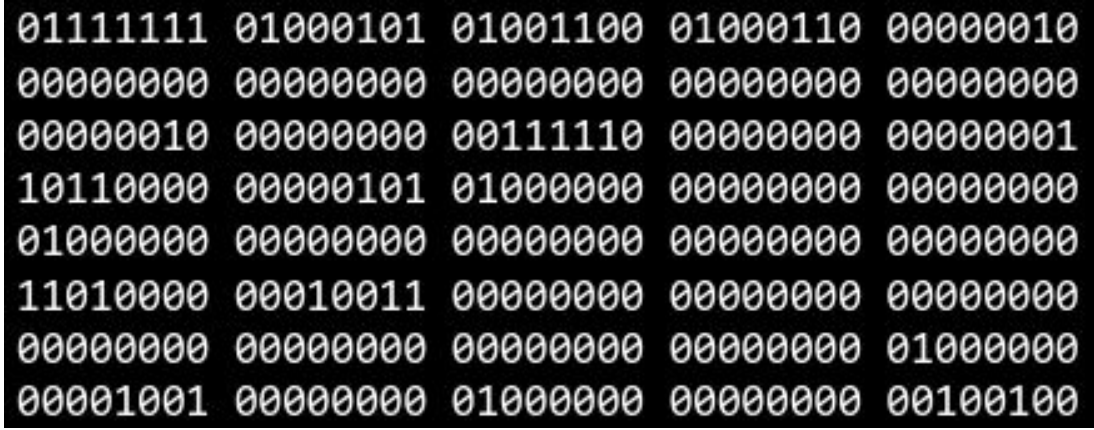


- O **tipo de dado** não é, então, uma estrutura de dados. É uma **maneira de especificar como determinados padrões particulares de bits 0s e 1s serão entendidos e manipulados para representar números e caracteres**.

- Define-se então um **tipo de dado** como um **conjunto de valores** e um **conjunto de operações** sobre esses valores.

Tipo de dado = Conjunto de Valores + Conjunto de Operações

Tipo de Dado



- Idealmente só precisaríamos de apenas 2 tipos de dados:
  - Número
  - Caractere
- Na prática, como a memória é limitada, **trocamos espaço por exatidão** (faixa de valores no caso dos inteiros; precisão no caso dos decimais) e **criamos mais tipos de dados do que os idealmente necessários**:
  - short int, int, long int, long long int
  - float, double, long double
- O número de bits utilizado nessa troca é “machine-dependent”, mesmo que o programador pense mais em termos de necessidades numéricas ao invés de capacidades do computador (fique atento às variações máquina/compilador).
  - -32.768 até 32.767, ao invés de 16 bits

Estruturas de Dados

- São as **estruturas de memória que armazenam valores** (dados) que estão sendo manipulados pelo algoritmo, de forma **organizada** e **otimizada** para o processamento que está sendo realizado.

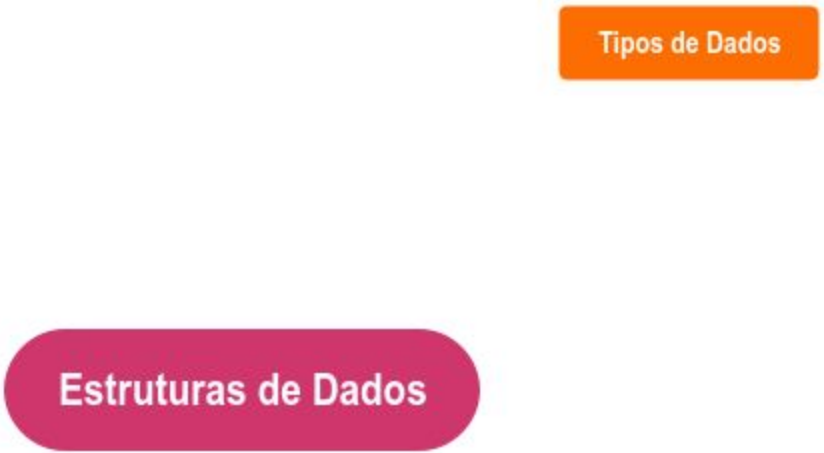
- Podem ser extremamente simples ou muito complexas.

- Podemos dividir as estruturas de dados em duas grandes “categorias”:

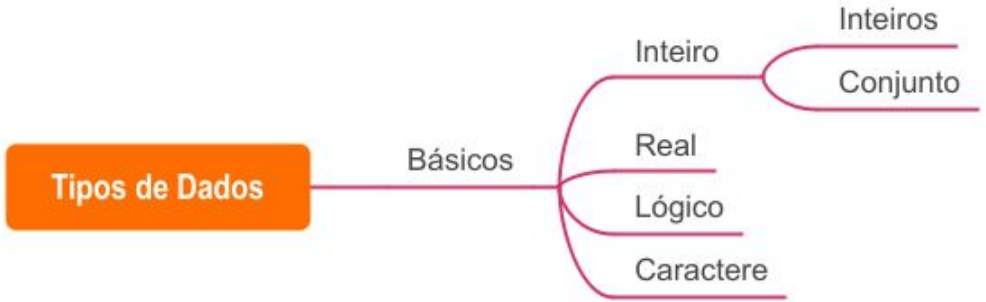
    - Estruturas para armazenar **dados que se comportam como uma unidade**

    - Estruturas para armazenar **diversos dados ao mesmo tempo**

Estruturas de Dados

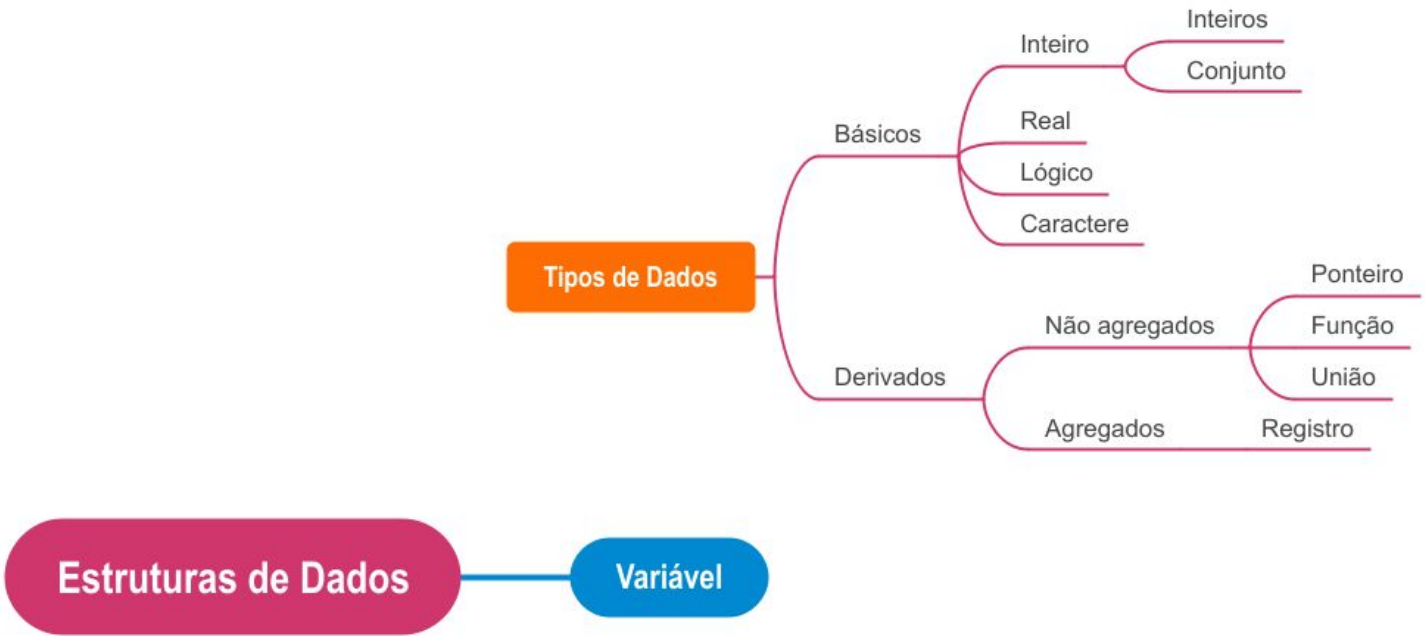


Estruturas de Dados



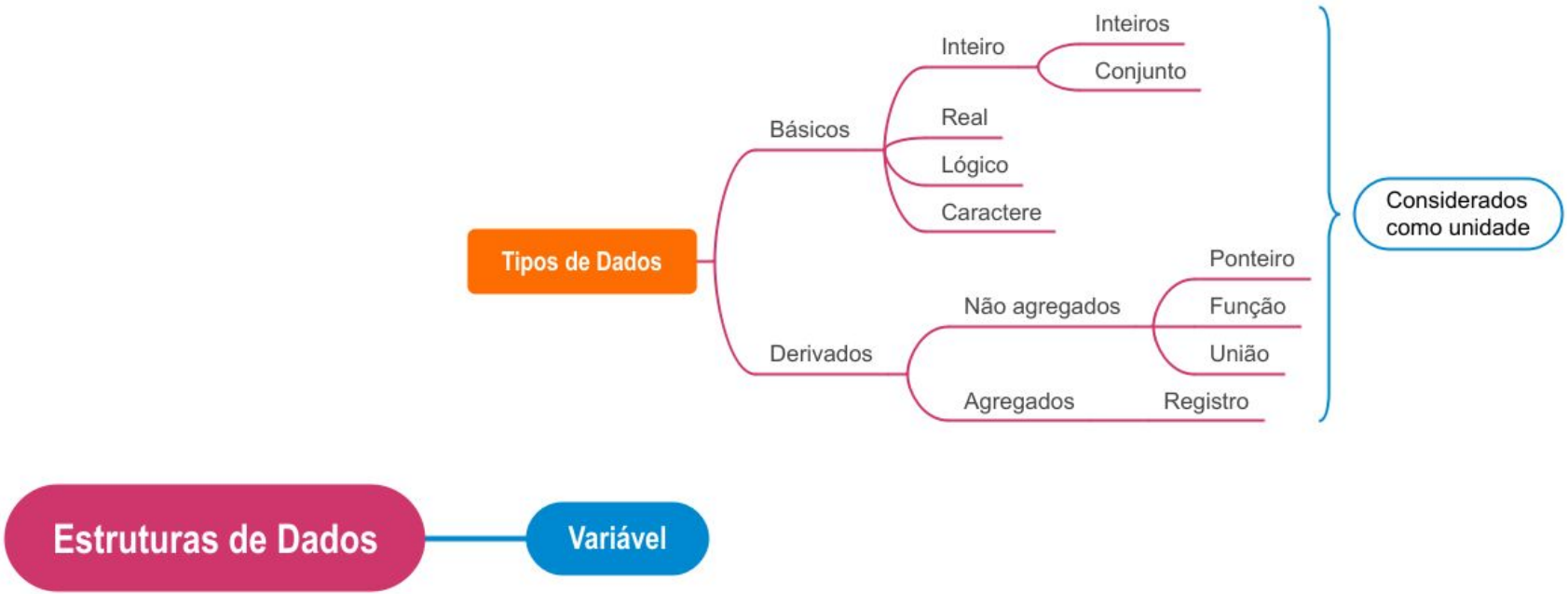
Tipos de dados básicos (primitivos): não podem ser decompostos em partes menores, representam o entendimento direto dos padrões de bits como dados.

Estruturas de Dados



Tipos de dados derivados: são construídos a partir dos tipos de dados básicos, e ainda são considerados como unidade.

Estruturas de Dados



Como são **considerados como unidade**, basta uma variável (mesmo que, fisicamente, o armazenamento seja complexo). Obs.: structs podem ser complexos.

Estruturas de Dados

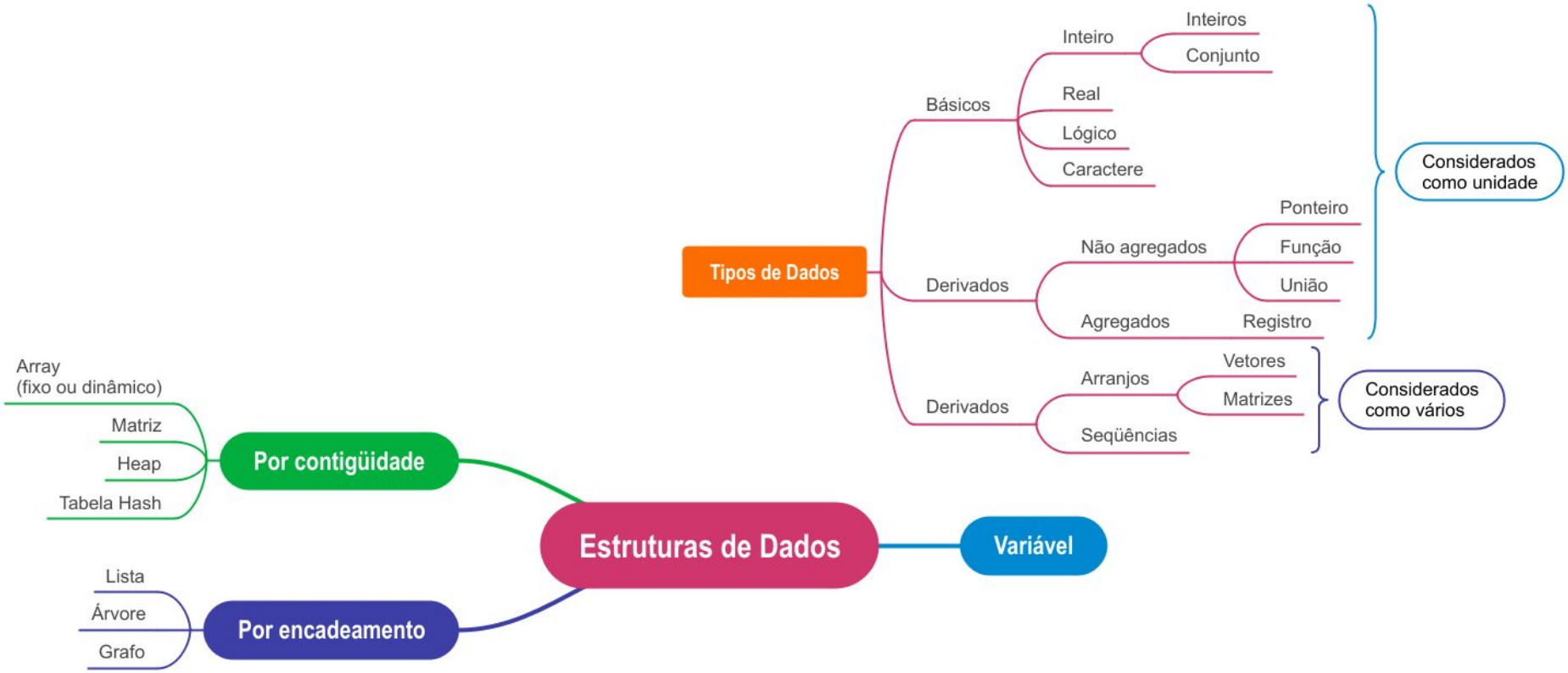
Tipos de dados derivados (**considerados como vários**): como armazenar diversos dados (ordenados ou não)?

Estruturas de Dados

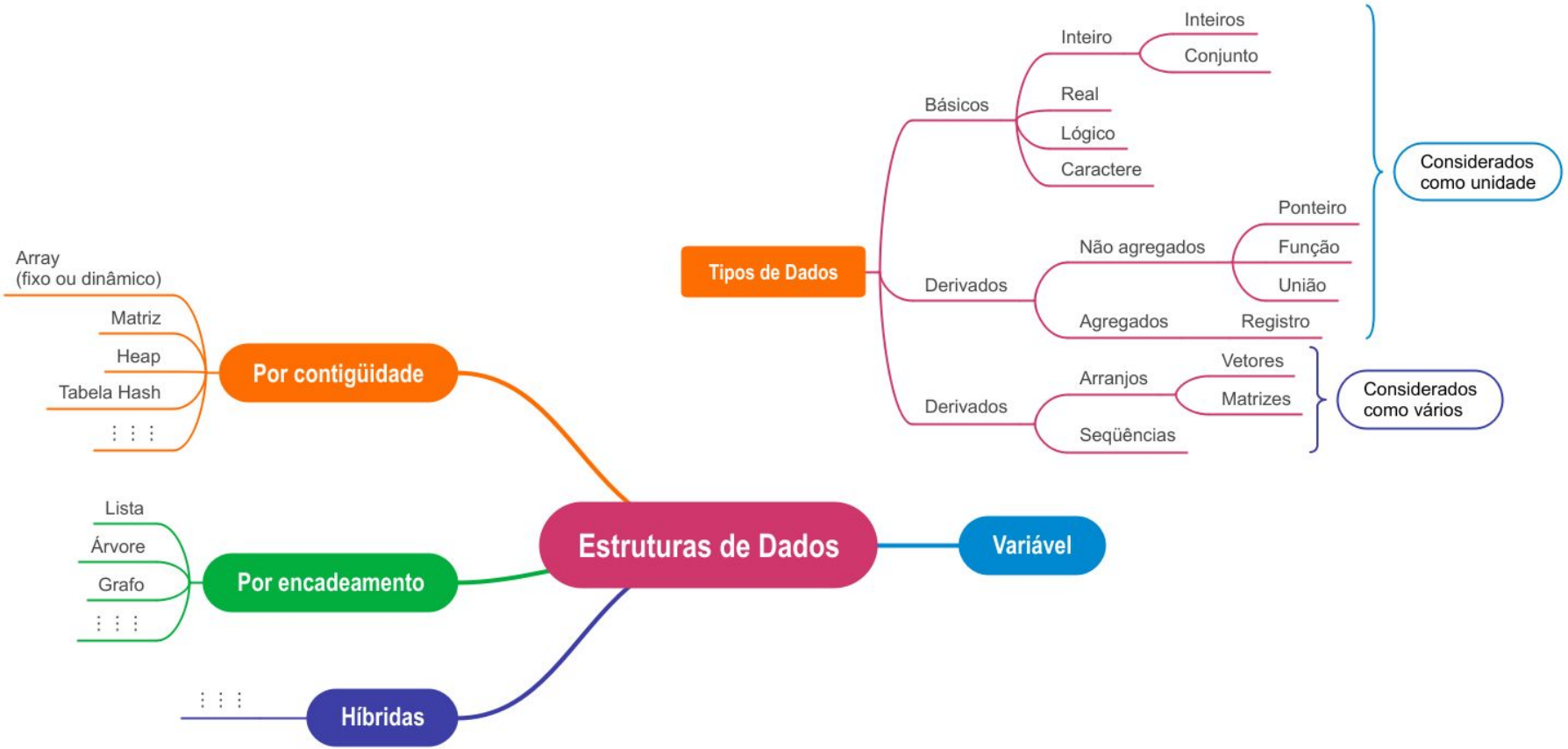
Por contigüidade: os dados são armazenados em posições contígüas na memória. A ordem é definida implicitamente pela posição, geralmente com tamanho máximo definido previamente.

Por encadeamento: os dados são armazenados em posições aleatórias na memória alocadas dinamicamente, com ponteiros para indicar o endereço do próximo dado.

Estruturas de Dados



Estruturas de Dados

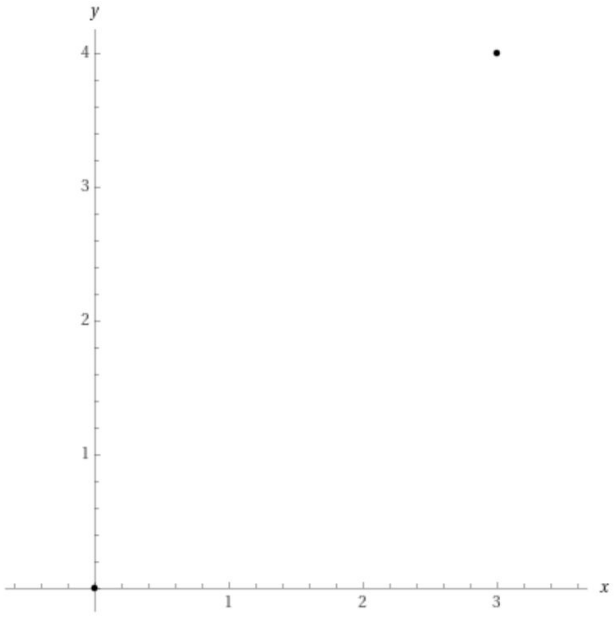


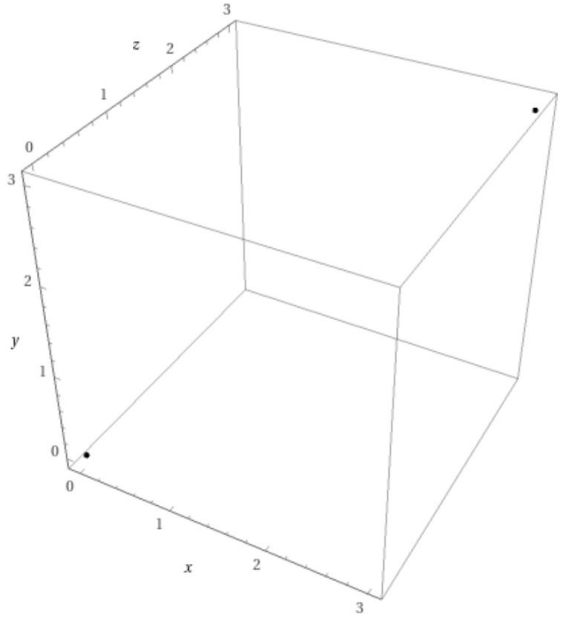
Contigüidade x Encadeamento

- **Estrutura por Contigüidade**:
  - Vantagens:
    - Tempo de acesso constante dado o índice
    - Eficiência de espaço (só tem os dados, não tem ponteiros)
    - Localidade de memória (transferência, iteração e cache)
  - Desvantagens:
    - Não ajusta tamanho em execução (array dinâmico ajusta)
    - Não permite compartilhamento de memória
    - Inserção e exclusão complexa e custosa pelo deslocamento
- **Estrutura por Encadeamento**:
  - Vantagens:
    - Compartilhamento de memória
    - Flexibilidade
    - Inserção e exclusão facilitada
  - Desvantagens:
    - Transferência
    - Espaço
    - Acesso
    - Busca

Tipos de Dados criados pelo programador

- Podemos criar nossos próprios tipos de dados, **combinando as estruturas de dados** e **especificando os comportamentos**. Vamos criar tipos para pontos no plano e no espaço cartesiano, para calcular as distâncias:





Interface: ponto.h

```
1  /**
2   * Arquivo: ponto.h
3   * Versão : 1.0
4   * Data   : 2024-10-14 16:43
5   * ------------------------
6   * Esta interface cria dois Tipos de Dados, Ponto2D e Ponto3D, para armazenar
7   * coordenadas de pontos no plano e no espaço. Também fornece funções para
8   * calcular a distância entre 2 pontos.
9   *
10  * Prof.: Abrantes Araújo Silva Filho (Computação Raiz)
11  *            www.computacaoraiz.com.br
12  *            www.youtube.com.br/computacaoraiz
13  *            github.com/computacaoraiz
14  *            twitter.com/ComputacaoRaiz
15  *            www.linkedin.com/company/computacaoraiz
16  *            www.abrantes.pro.br
17  *            github.com/abrantesasf
18  */
19
20 /* Inicia boilerplate da interface: */
21
22 #ifndef _PONTOS_H
23 #define _PONTOS_H
24
25 /* Includes: */
26
27 #include "genlib.h"
28 #include <math.h>
29 #include "simpio.h"
30
```

Interface: ponto.h

```
31 /**
32  * TIPO DE DADO: Ponto2D
33  * ---------------------
34  * Este tipo de dado armazena as coordenadas X e Y de um ponto no plano,
35  * considerando um sistema de coordenadas cartesiano.
36  */
37
38 struct st_Ponto2D
39 {
40     double x;     // abscissa
41     double y;     // ordenada
42 };
43
44 typedef struct st_Ponto2D Ponto2D;
45
46 /**
47  * TIPO DE DADO: Ponto3D
48  * ---------------------
49  * Este tipo de dado armazena as coordenadas X, Y e Z de um ponto no espaço,
50  * considerando um sistema de coordenadas cartesiano.
51  */
52
53 struct st_Ponto3D
54 {
55     double x;     // abscissa
56     double y;     // ordenada
57     double z;     // profundidade
58 };
59
60 typedef struct st_Ponto3D Ponto3D;
61
```

Interface: ponto.h

```
62 /**
63  * FUNÇÃO: euclidiana_2d
64  * Uso: euclidiana_2d(Ponto2D, Ponto2D);
65  * ------------------------------------
66  * A função recebe como argumentos dois Ponto2D e retorna a distância
67  * Euclidiana entre esses dois pontos, no plano.
68  */
69
70 double euclidiana_2d (Ponto2D P, Ponto2D Q);
71
72 /**
73  * FUNÇÃO: euclidiana_2d
74  * Uso: euclidiana_2d(Ponto2D, Ponto2D);
75  * ------------------------------------
76  * A função recebe como argumentos dois Ponto2D e retorna a distância
77  * Euclidiana entre esses dois pontos, no plano.
78  */
79
80 double euclidiana_3d (Ponto3D P, Ponto3D Q);
81
82 /* Finaliza boilerplate: */
83
84 #endif
```

Implementação: ponto.c

```c
/**
 * Arquivo: ponto.c
 * Versão : 1.0
 * Data   : 2024-10-14 16:43
 * ------------------------
 * Este arquivo implementa a interface ponto.h.
 *
 * Prof.: Abrantes Araújo Silva Filho (Computação Raiz)
 *            www.computacaoraiz.com.br
 *            www.youtube.com.br/computacaoraiz
 *            github.com/computacaoraiz
 *            twitter.com/ComputacaoRaiz
 *            www.linkedin.com/company/computacaoraiz
 *            www.abrantes.pro.br
 *            github.com/abrantesasf
 */

/* Includes: */

#include "ponto.h"

```

Implementação: ponto.c

```c
/**
 * FUNÇÃO: euclidiana_2d
 * Uso: euclidiana_2d(Ponto2D, Ponto2D);
 * -------------------------------------
 * A função recebe como argumentos dois Ponto2D e retorna a distância
 * Euclidiana entre esses dois pontos, no plano.
 */

double euclidiana_2d (Ponto2D P, Ponto2D Q)
{
    return sqrt(pow((P.x - Q.x), 2.0) +
                pow((P.y - Q.y), 2.0));
}

/**
 * FUNÇÃO: euclidiana_2d
 * Uso: euclidiana_2d(Ponto2D, Ponto2D);
 * -------------------------------------
 * A função recebe como argumentos dois Ponto2D e retorna a distância
 * Euclidiana entre esses dois pontos, no plano.
 */

double euclidiana_3d (Ponto3D P, Ponto3D Q)
{
    return sqrt(pow((P.x - Q.x), 2.0) +
                pow((P.y - Q.y), 2.0) +
                pow((P.z - Q.z), 2.0));
}

```

Cliente: geometria.c

```c
#include "genlib.h"
#include "ponto.h"
#include "simpio.h"

/* Função Main: */

int main (void)
{
    Ponto2D A;
    A.x = 0.0, A.y = 0.0;

    Ponto2D B;
    B.x = 3.0, B.y = 4.0;

    printf("A distância entre (%.1f, %.1f) e (%.1f, %.1f) é de %.5f.\n",
           A.x, A.y, B.x, B.y, euclidiana_2d(A, B));

    Ponto3D X;
    X.x = 0.0, X.y = 0.0, X.z = 0.0;

    Ponto3D Y;
    Y.x = 3.0, Y.y = 3.0, Y.z = 3.0;

    printf("A distância entre (%.1f, %.1f, %.1f) e (%.1f, %.1f, %.1f) é de %.5f.\n",
           X.x, X.y, X.z, Y.x, Y.y, Y.z, euclidiana_3d(X, Y));
}
```

```
[abrantesasf@ideapad ~/ed1/cap08]$ ./geometria
A distância entre (0.0, 0.0) e (3.0, 4.0) é de 5.00000.
A distância entre (0.0, 0.0, 0.0) e (3.0, 3.0, 3.0) é de 5.19615.
```

Ponto2D e Ponto3D: algumas questões

- Eles são realmente tipos de dados?
- A interface está bem projetada?
- O comportamento dos tipos está bem especificado?
- Há algum problema com esse tipo de dado?

Ponto2D e Ponto3D: algumas questões

- Eles são realmente tipos de dados?
  - Sim, são tipos de dados (TD)
- A interface está bem projetada?
  - Sim (apenas se considerarmos que queremos um **tipo concreto de dado**, não abstrato)
- O comportamento dos tipos está bem especificado?
  - Sim, as funções estão lá
- Há algum problema com esse tipo de dado?
  - **Sim, um problema GRAVE! O tipo de dado não é abstrato!!**

Tipos Abstratos de Dados (TADs)

- Um TAD é um tipo de dado que é **definido em termos de seu comportamento ao invés de sua representação interna**.

- Em um TAD a **representação/implementação interna não é importante e deve ficar escondida, opaca**, o que importa é o comportamento.

- Em um TAD a **interface esconde completamente a representação interna da implementação**. O usuário não consegue, de jeito nenhum, acessar detalhes internos da implementação e, portanto, ele é **obrigado a utilizar a interface para tudo**.

- Um tipo de dado que não esconde completamente sua representação interna é chamado de **Tipo Concreto de Dado (TCD)**.

Problemas dos tipos Ponto2D e Ponto3D

```
struct st_Ponto2D
{
    double x;     // abscissa
    double y;     // ordenada
};

typedef struct st_Ponto2D Ponto2D;


struct st_Ponto3D
{
    double x;     // abscissa
    double y;     // ordenada
    double z;     // profundidade
};

typedef struct st_Ponto3D Ponto3D;
```

A representação interna do tipo de dado está visível na interface! Isso NÃO É um tipo abstrato de dado!

Problemas dos tipos Ponto2D e Ponto3D

```
Ponto2D A;
A.x = 0.0, A.y = 0.0;

Ponto2D B;
B.x = 3.0, B.y = 4.0;


Ponto3D X;
X.x = 0.0, X.y = 0.0, X.z = 0.0;

Ponto3D Y;
Y.x = 3.0, Y.y = 3.0, Y.z = 3.0;
```

Isso faz com que o cliente utilize diretamente a REPRESENTAÇÃO INTERNA do tipo de dado! É um erro! Por quê?

Problemas dos tipos Ponto2D e Ponto3D

```
double meu_euclides (double x1, double x2, double y1, double y2)
{
    return sqrt(pow((x1 - x2), 2.0) + pow((y1 - y2), 2.0));
}
```

```
[abrantesasf@ideapad ~/ed1/cap08]$ ./geometria
A distância entre (0.0, 0.0) e (3.0, 4.0) é de 5.00000.
A distância entre (0.0, 0.0) e (3.0, 4.0) é de 4.24264.
```

Como o usuário sabe a representação interna, ele pode criar outras funções que substituem o comportamento esperado de seu tipo de dado, e isso pode terminar em um erro!

```
printf("A distância entre (%.1f, %.1f) e (%.1f, %.1f) é de %.5f.\n",
       A.x, A.y, B.x, B.y, meu_euclides(A.x, B.x, A.y, Y.y));
```

Problemas dos tipos Ponto2D e Ponto3D

```
struct st_Ponto2D
{
    double X;     // abscissa
    double Y;     // ordenada
};

typedef struct st_Ponto2D Ponto2D;


struct st_Ponto3D
{
    double X;     // abscissa
    double Y;     // ordenada
    double Z;     // profundidade
};

typedef struct st_Ponto3D Ponto3D;
```

Se você alterar a representação interna do tipo de dado, TODOS os programas clientes que utilizavam a estrutura antiga irão parar de funcionar!

Solução: TADs Ponto2D e Ponto3D - pontoTAD.h

```
1  /**
2   * Arquivo: pontoTAD.h
3   * Versão : 1.0
4   * Data   : 2024-10-14 19:30
5   * ------------------------
6   * Esta interface cria dois Tipos Abstratos de Dados, Ponto2D e Ponto3D, para
7   * armazenar coordenadas de pontos no plano e no espaço. Também fornece funções
8   * para criar e remover esses pontos, e calcular a distância entre 2 pontos.
9   *
10  * Prof.: Abrantes Araújo Silva Filho (Computação Raiz)
11  *            www.computacaoraiz.com.br
12  *            www.youtube.com.br/computacaoraiz
13  *            github.com/computacaoraiz
14  *            twitter.com/ComputacaoRaiz
15  *            www.linkedin.com/company/computacaoraiz
16  *            www.abrantes.pro.br
17  *            github.com/abrantesasf
18  */
19
20 /* Inicia boilerplate da interface: */
21
22 #ifndef _PONTOSTAD_H
23 #define _PONTOSTAD_H
24
25 /*** Includes: ***/
26
```

Solução: TADs Ponto2D e Ponto3D - pontoTAD.h

```
27 /*** Tipos Abstratos de Dados: ***/
28
29 /**
30  * TIPO DE DADO: Ponto2D
31  * --------------------
32  * Este tipo de dado armazena as coordenadas X e Y de um ponto no plano,
33  * considerando um sistema de coordenadas cartesiano. Para a criação de um
34  * Ponto2D, ver a documentação da função "criar_Ponto2D" neste documento.
35  */
36
37 typedef struct st_Ponto2D *Ponto2D;
38
39 /**
40  * TIPO DE DADO: Ponto3D
41  * --------------------
42  * Este tipo de dado armazena as coordenadas X, Y e Z de um ponto no espaço,
43  * considerando um sistema de coordenadas cartesiano. Para a criação de um
44  * Ponto3D, ver a documentação da função "criar_Ponto3D" neste documento.
45  */
46
47 typedef struct st_Ponto3D *Ponto3D;
48
```

Solução: TADs Ponto2D e Ponto3D - pontoTAD.h

```
49 /*** Declarações de Subprogramas: ***/
50
51 /**
52  * FUNÇÃO: criar_Ponto2D
53  * Uso: criar_Ponto2D(x, y);
54  * -------------------------
55  * Esta função recebe dois valores double, x e y, que correspondem às
56  * coordenadas x (abscissa) e y (ordenada) de um ponto no plano cartesiano,
57  * e retorna um ponteiro para um Ponto2D.
58  *
59  * Depois de criado esse ponto precisa ser apagado com o procedimento
60  * "apagar_Ponto2D", antes da finalização do programa.
61  */
62
63 Ponto2D criar_Ponto2D (double x, double y);
64
65 /**
66  * FUNÇÃO: criar_Ponto3D
67  * Uso: criar_Ponto3D(x, y, z);
68  * ----------------------------
69  * Esta função recebe três valores double, x, y e z, que correspondem às
70  * coordenadas x (abscissa), y (ordenada) e z (profundidade) de um ponto no
71  * espaço cartesiano, e retorna um ponteiro para um Ponto3D.
72  *
73  * Depois de criado esse ponto precisa ser apagado com o procedimento
74  * "apagar_Ponto3D", antes da finalização do programa.
75  */
76
77 Ponto3D criar_Ponto3D (double x, double y, double z);
78
```

Solução: TADs Ponto2D e Ponto3D - pontoTAD.h

```
79 /**
80  * PROCEDIMENTO: apagar_Ponto2D
81  * Uso: apagar_Ponto2D(&P);
82  * ------------------------
83  * Este procedimento recebe um PONTEIRO para um Ponto2D como argumento e libera
84  * a memória alocada para esse Ponto2D, fazendo com que o Ponto2D aponte para
85  * NULL para evitar dangling pointer.
86  */
87
88 void apagar_Ponto2D (Ponto2D *P);
89
90 /**
91  * PROCEDIMENTO: apagar_Ponto3D
92  * Uso: apagar_Ponto3D(&P);
93  * ------------------------
94  * Este procedimento recebe um PONTEIRO para um Ponto3D como argumento e libera
95  * a memória alocada para esse Ponto3D, fazendo com que o Ponto3D aponte para
96  * NULL para evitar dangling pointer.
97  */
98
99 void apagar_Ponto3D (Ponto3D *P);
100
```

Solução: TADs Ponto2D e Ponto3D - pontoTAD.h

```
101 /**
102  * FUNÇÃO: Ponto2D_getX
103  * Uso: Ponto2D_getX(P);
104  * ---------------------
105  * Esta função recebe como argumento um Ponto2D e retorna a coordenada X
106  * (abscissa) deste ponto, como um valor double.
107  */
108
109 double Ponto2D_getX (Ponto2D P);
110
111 /**
112  * FUNÇÃO: Ponto2D_getY
113  * Uso: Ponto2D_getY(P);
114  * ---------------------
115  * Esta função recebe como argumento um Ponto2D e retorna a coordenada Y
116  * (ordenada) deste ponto, como um valor double.
117  */
118
119 double Ponto2D_getY (Ponto2D P);
120
121 /**
122  * FUNÇÃO: Ponto3D_getX
123  * Uso: Ponto3D_getX(P);
124  * ---------------------
125  * Esta função recebe como argumento um Ponto3D e retorna a coordenada X
126  * (abscissa) deste ponto, como um valor double.
127  */
128
129 double Ponto3D_getX (Ponto3D P);
130
```

Solução: TADs Ponto2D e Ponto3D - pontoTAD.h

```
131 /**
132  * FUNÇÃO: Ponto3d_getY
133  * Uso: Ponto3D_getY(P);
134  * ---------------------
135  * Esta função recebe como argumento um Ponto3D e retorna a coordenada Y
136  * (ordenada) deste ponto, como um valor double.
137  */
138
139 double Ponto3D_getY (Ponto3D P);
140
141 /**
142  * FUNÇÃO: Ponto2D_getZ
143  * Uso: Ponto2D_getZ(P);
144  * ---------------------
145  * Esta função recebe como argumento um Ponto2D e retorna a coordenada Z
146  * (profundidade) deste ponto, como um valor double.
147  */
148
149 double Ponto3D_getZ (Ponto3D P);
150
151 /**
152  * PROCEDIMENTO: Ponto2D_setX
153  * Uso: Ponto2D_setX(Ponto2D P, double x);
154  * ---------------------------------------
155  * Esta função recebe como argumentos um Ponto2D e um valor double
156  * correspondendo a uma coordenada X (abscissa), e atribiu esse valor como a
157  * nova abscissa do Ponto2D.
158  */
159
160 void Ponto2D_setX (Ponto2D P, double x);
161
```

Solução: TADs Ponto2D e Ponto3D - pontoTAD.h

```
162 /**
163  * PROCEDIMENTO: Ponto2D_setY
164  * Uso: Ponto2D_setY(Ponto2D P, double y);
165  * ---------------------------------------
166  * Esta função recebe como argumentos um Ponto2D e um valor double
167  * correspondendo a uma coordenada Y (ordenada), e atribiu esse valor como a
168  * nova ordenada do Ponto2D.
169  */
170
171 void Ponto2D_setY (Ponto2D P, double y);
172
173 /**
174  * PROCEDIMENTO: Ponto3D_setX
175  * Uso: Ponto3D_setX(Ponto3D P, double x);
176  * ---------------------------------------
177  * Esta função recebe como argumentos um Ponto3D e um valor double
178  * correspondendo a uma coordenada X (abscissa), e atribiu esse valor como a
179  * nova abscissa do Ponto3D.
180  */
181
182 void Ponto3D_setX (Ponto3D P, double x);
183
184 /**
185  * PROCEDIMENTO: Ponto3D_setY
186  * Uso: Ponto3D_setY(Ponto3D P, double y);
187  * ---------------------------------------
188  * Esta função recebe como argumentos um Ponto3D e um valor double
189  * correspondendo a uma coordenada Y (ordenada), e atribiu esse valor como a
190  * nova ordenada do Ponto3D.
191  */
192
193 void Ponto3D_setY (Ponto3D P, double y);
194
```

Solução: TADs Ponto2D e Ponto3D - pontoTAD.h

```
195 /**
196  * PROCEDIMENTO: Ponto3D_setZ
197  * Uso: Ponto3D_setZ(Ponto3D P, double z);
198  * ---------------------------------------
199  * Esta função recebe como argumentos um Ponto3D e um valor double
200  * correspondendo a uma coordenada Z (profundidade), e atribiu esse valor como a
201  * nova profundidade do Ponto3D.
202  */
203
204 void Ponto3D_setZ (Ponto3D P, double z);
205
206 /**
207  * FUNÇÃO: euclidiana_2d
208  * Uso: euclidiana_2d(Ponto2D, Ponto2D);
209  * -------------------------------------
210  * A função recebe como argumentos dois Ponto2D e retorna a distância
211  * Euclidiana entre esses dois pontos, no plano.
212  */
213
214 double euclidiana_2d (Ponto2D P, Ponto2D Q);
215
216 /**
217  * FUNÇÃO: euclidiana_3d
218  * Uso: euclidiana_3d(Ponto3D, Ponto3D);
219  * -------------------------------------
220  * A função recebe como argumentos dois Ponto3D e retorna a distância
221  * Euclidiana entre esses dois pontos, no espaço.
222  */
223
224 double euclidiana_3d (Ponto3D P, Ponto3D Q);
225
226 /* Finaliza boilerplate: */
227
228 #endif
```

Solução: TADs Ponto2D e Ponto3D - pontoTAD.c

```c
/**
 * Arquivo: pontoTAD.c
 * Versão : 1.0
 * Data   : 2024-10-14 19:44
 * -------------------------
 * Este arquivo implementa a interface pontoTAD.h.
 *
 * Prof.: Abrantes Araújo Silva Filho (Computação Raiz)
 *            www.computacaoraiz.com.br
 *            www.youtube.com.br/computacaoraiz
 *            github.com/computacaoraiz
 *            twitter.com/ComputacaoRaiz
 *            www.linkedin.com/company/computacaoraiz
 *            www.abrantes.pro.br
 *            github.com/abrantesasf
 */

/*** Includes: ***/

#include <math.h>
#include "pontoTAD.h"
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

```

Solução: TADs Ponto2D e Ponto3D - pontoTAD.c

```
25 /*** Tipos Abstratos de Dados: ***/
26
27 /**
28  * TIPO DE DADO: Ponto2D
29  * ---------------------
30  * Implementação do tipo de dado Ponto2D, que armazena as coordenadas de um
31  * ponto no plano, considerando um sistema de coordenadas cartesiano.
32  */
33
34 struct st_Ponto2D
35 {
36     double coordX;
37     double coordY;
38 };
39
40 /**
41  * TIPO DE DADO: Ponto3D
42  * ---------------------
43  * Implementação do tipo de dado Ponto3D, que armazena as coordenadas de um
44  * ponto no espaço, considerando um sistema de coordenadas cartesiano.
45  */
46
47 struct st_Ponto3D
48 {
49     double coordX;
50     double coordY;
51     double coordZ;
52 };
53
```

Solução: TADs Ponto2D e Ponto3D - pontoTAD.c

```
54 /*** Definições de Subprogramas: ***/
55
56 /**
57  * FUNÇÃO: criar_Ponto2D
58  * Uso: criar_Ponto2D(x, y);
59  * -------------------------
60  * Um Ponto2D é um ponteiro para uma struct st_Ponto2D e, portanto, essa função
61  * retorna um ponteiro para essa struct (indiretamente, através do retorno de um
62  * Ponto2D). As coordenadas são mantidas em variáveis double independentes.
63  */
64
65 Ponto2D criar_Ponto2D (double x, double y)
66 {
67     Ponto2D T = malloc(sizeof(struct st_Ponto2D));
68     if (T == NULL)
69     {
70         printf("Não foi possível criar o Ponto2D!\n");
71         exit(1);
72     }
73
74     T->coordX = x;
75     T->coordY = y;
76
77     return T;
78 }
79
```

Solução: TADs Ponto2D e Ponto3D - pontoTAD.c

```
80 /**
81  * FUNÇÃO: criar_Ponto3D
82  * Uso: criar_Ponto3D(x, y, z);
83  * ----------------------------
84  * Um Ponto3D é um ponteiro para uma struct st_Ponto3D e, portanto, essa função
85  * retorna um ponteiro para essa struct (indiretamente, através do retorno de um
86  * Ponto3D). As coordenadas são mantidas em variáveis double independentes.
87  */
88
89 Ponto3D criar_Ponto3D (double x, double y, double z)
90 {
91     Ponto3D T = malloc(sizeof(struct st_Ponto3D));
92     if (T == NULL)
93     {
94         printf("Não foi possível criar o Ponto3D!\n");
95         exit(1);
96     }
97
98     T->coordX = x;
99     T->coordY = y;
100    T->coordZ = z;
101
102    return T;
103 }
104
```

Solução: TADs Ponto2D e Ponto3D - pontoTAD.c

```
105 /**
106  * PROCEDIMENTO: apagar_Ponto2D
107  * Uso: apagar_Ponto2D(&P);
108  * ------------------------
109  * Este procedimento recebe um PONTEIRO para um Ponto2D como argumento e libera
110  * a memória alocada para esse Ponto2D, fazendo com que o Ponto2D aponte para
111  * NULL para evitar dangling pointer. É necessário utilizar um PONTEIRO para um
112  * Ponto2D pois, caso contrário, não seria possível atribuir o valor NULL ao
113  * Ponto2D que está sendo desalocado (ponteiros são passados por valor).
114  */
115
116 void apagar_Ponto2D (Ponto2D *P)
117 {
118     if (*P != NULL)
119     {
120         free(*P);
121         *P = NULL;
122     }
123 }
124
```

Solução: TADs Ponto2D e Ponto3D - pontoTAD.c

```
125 /**
126  * PROCEDIMENTO: apagar_Ponto3D
127  * Uso: apagar_Ponto3D(&P);
128  * ------------------------
129  * Este procedimento recebe um PONTEIRO para um Ponto3D como argumento e libera
130  * a memória alocada para esse Ponto3D, fazendo com que o Ponto3D aponte para
131  * NULL para evitar dangling pointer. É necessário utilizar um PONTEIRO para um
132  * Ponto3D pois, caso contrário, não seria possível atribuir o valor NULL ao
133  * Ponto3D que está sendo desalocado (ponteiros são passados por valor).
134  */
135
136 void apagar_Ponto3D (Ponto3D *P)
137 {
138     if (*P != NULL)
139     {
140         free(*P);
141         *P = NULL;
142     }
143 }
144
```

Solução: TADs Ponto2D e Ponto3D - pontoTAD.c

```
145 /**
146  * FUNÇÃO: Ponto2D_getX
147  * Uso: Ponto2D_getX(P);
148  * ---------------------
149  * Verifica se o Ponto2D não é nulo e retorna a coorenada X.
150  */
151
152 double Ponto2D_getX (Ponto2D P)
153 {
154     if (P == NULL)
155     {
156         printf("Erro ao obter a coordenada X do ponto especificado.\n");
157         exit(1);
158     }
159     return P->coordX;
160 }
161
```

Solução: TADs Ponto2D e Ponto3D - pontoTAD.c

```
230 /**
231  * PROCEDIMENTO: Ponto2D_setX
232  * Uso: Ponto2D_setX(Ponto2D P, double x);
233  * ----------------------------------------
234  * Verifica se o Ponto2D não é nulo e atribiu coordenada X.
235  */
236
237 void Ponto2D_setX (Ponto2D P, double x)
238 {
239     if (P == NULL)
240     {
241         printf("Erro ao atribuir a coordenada X ao ponto especificado.\n");
242         exit(1);
243     }
244     P->coordX = x;
245 }
246
```

Solução: TADs Ponto2D e Ponto3D - pontoTAD.c

```
315 /**
316  * FUNÇÃO: euclidiana_2d
317  * Uso: euclidiana_2d(Ponto2D, Ponto2D);
318  * -------------------------------------
319  * A função recebe como argumentos dois Ponto2D e retorna a distância
320  * Euclidiana entre esses dois pontos, no plano.
321  */
322
323 double euclidiana_2d (Ponto2D P, Ponto2D Q)
324 {
325     if (P == NULL || Q == NULL)
326     {
327         printf("Erro ao calcular distância Euclidiana no plano.\n");
328         exit(1);
329     }
330     return sqrt(pow((P->coordX - Q->coordX), 2.0) +
331                 pow((P->coordY - Q->coordY), 2.0));
332 }
333
```

Solução: TADs Ponto2D e Ponto3D - pontoTAD.c

```
334 /**
335  * FUNÇÃO: euclidiana_3d
336  * Uso: euclidiana_3d(Ponto3D, Ponto3D);
337  * -------------------------------------
338  * A função recebe como argumentos dois Ponto3D e retorna a distância
339  * Euclidiana entre esses dois pontos, no espaço.
340  */
341
342 double euclidiana_3d (Ponto3D P, Ponto3D Q)
343 {
344     if (P == NULL || Q == NULL)
345     {
346         printf("Erro ao calcular a distancia Euclidiana no espaço.\n");
347     }
348     return sqrt(pow((P->coordX - Q->coordX), 2.0) +
349                 pow((P->coordY - Q->coordY), 2.0) +
350                 pow((P->coordZ - Q->coordZ), 2.0));
351 }
```

Solução: cliente - geometriaTAD.c

```
 1 /**
 2  * Arquivo: geometriaTAD.c
 3  * Versão : 1.0
 4  * Data   : 2024-10-14 21:43
 5  * -------------------------
 6  * Este programa implementa um cliente simples para demonstrar o uso de tipos
 7  * abstratos de dados criados pelo usuário, o Ponto2D e o Ponto3D.
 8  *
 9  * Prof.: Abrantes Araújo Silva Filho (Computação Raiz)
10  *            www.computacaoraiz.com.br
11  *            www.youtube.com.br/computacaoraiz
12  *            github.com/computacaoraiz
13  *            twitter.com/ComputacaoRaiz
14  *            www.linkedin.com/company/computacaoraiz
15  *            www.abrantes.pro.br
16  *            github.com/abrantesasf
17  */
18
19 #include "genlib.h"
20 #include "pontoTAD.h"
21 #include "simpio.h"
22
```

Solução: cliente - geometriaTAD.c

```
23 /* Função Main: */
24
25 int main (void)
26 {
27     // Cria pontos:
28     Ponto2D P = criar_Ponto2D(0.0, 0.0);
29     Ponto2D Q = criar_Ponto2D(3.0, 4.0);
30
31     Ponto3D W = criar_Ponto3D(0.0, 0.0, 0.0);
32     Ponto3D T = criar_Ponto3D(3.0, 3.0, 3.0);
33
34     // Testa gets e cálculo das distâncias:
35     printf("Distância entre (%.1f, %.1f) e (%.1f, %.1f): %.5f\n",
36            Ponto2D_getX(P), Ponto2D_getY(P), Ponto2D_getX(Q), Ponto2D_getY(Q),
37            euclidiana_2d(P, Q));
38
39     printf("Distância entre (%.1f, %.1f, %.1f) e (%.1f, %.1f, %.1f): %.5f\n",
40            Ponto3D_getX(W), Ponto3D_getY(W), Ponto3D_getZ(W),
41            Ponto3D_getX(T), Ponto3D_getY(T), Ponto3D_getZ(T),
42            euclidiana_3d(W, T));
43
```

Solução: cliente - geometriaTAD.c

```
44      // Testa sets:
45      Ponto2D_setX(P, 3.0);
46      Ponto2D_setY(P, 4.0);
47
48      Ponto3D_setX(W, 3.0);
49      Ponto3D_setY(W, 3.0);
50      Ponto3D_setZ(W, 3.0);
51
52      // Verifica sets:
53      printf("Distância entre (%.1f, %.1f) e (%.1f, %.1f): %.5f\n",
54             Ponto2D_getX(P), Ponto2D_getY(P), Ponto2D_getX(Q), Ponto2D_getY(Q),
55             euclidiana_2d(P, Q));
56
57      printf("Distância entre (%.1f, %.1f, %.1f) e (%.1f, %.1f, %.1f): %.5f\n",
58             Ponto3D_getX(W), Ponto3D_getY(W), Ponto3D_getZ(W),
59             Ponto3D_getX(T), Ponto3D_getY(T), Ponto3D_getZ(T),
60             euclidiana_3d(W, T));
61
62      // Testa desalocação de pontos:
63      apagar_Ponto2D(&P);
64      apagar_Ponto2D(&Q);
65      apagar_Ponto3D(&W);
66      apagar_Ponto3D(&T);
67
68      // Tem que dar erro:
69      //Ponto2D_setX(P, 3.0);
70
71      return 0;
72  }
```

Por que pontoTAD.h é melhor do que ponto.h?

- Implementa **tipos abstratos definidos pelo seu comportamento** (criar ponto, apagar ponto, set de coordenadas, get de coordenadas, cálculo da distância) **e não pela sua estrutura interna**

- **Estrutura interna está oculta**, então o cliente não consegue acessar diretamente. **Tudo tem de ser feito pela interface**.

- Como a representação interna está oculta, **o programador pode alterar completamente a implementação sem alterar os clientes** (desde que ele não altere a interface).

- **Segurança**: a barreira da abstração impede que um interfira no outro.

NÃO CONFUNDA TAD COM ESTRUTURA DE DADOS

- Uma dificuldade comum dos estudantes é confundir os conceitos de TAD e de Estruturas de Dados (pois realmente são muito relacionados). Mas atenção: **NÃO CONFUNDA TAD COM ESTRUTURA DE DADOS**!
    - Um **TAD é um tipo abstrato de dado** criado pelo programador cuja principal característica é ser **definido por seu comportamento**, não por sua estrutura interna.
    - Uma **Estrutura de Dados** é uma **estrutura de memória** capaz de **armazenar de forma organizada e otimizada**, os dados que estão em processamento.
    - **Podemos implementar um determinado TAD com diversas Estruturas de Dados**, por exemplo: uma pilha (um TAD importante na computação) pode ser implementado com as seguintes estruturas de dados:
        - Arrays
        - Listas encadeadas

NÃO CONFUNDA TAD COM ESTRUTURA DE DADOS

- Podemos criar TADs apenas para implementar uma determinada estrutura de dados, por exemplo: uma árvore binária de busca pode ser um TAD implementado sobre a estrutura de dados árvore binária.
  - Sim, isso é confuso e muitos autores não entram em consenso.

- Se estiver em dúvida, lembre-se do seguinte: o objeto em questão é definido pelo comportamento ao invés da estrutura interna?

Principais TADs na computação

- **Containers**: são TADs que permitem o armazenamento e a busca de dados de forma independente do conteúdo. Os dois principais containers são:
  - **Stack** (pilha): LIFO
    - push(item, stack)
    - pop(stack)
  - **Queue** (fila): FIFO
    - enqueue(item, queue)
    - dequeue(queue)
- Podem ser implementados usando as seguintes estruturas de dados:
  - arrays
  - lists

Principais TADs na computação

- **Dicionários**: são TADs que permitem o armazenamento e a busca de dados pelo próprio conteúdo dos dados (através de chaves ou valores). O principal dicionário é:
  - **Dictionary** (dicionário):
    - search(k, dictionary)
    - insert(k, dictionary)
    - delete(k, dictionary)

- Podem ser implementados usando as seguintes estruturas de dados:
  - arrays
  - lists
  - árvores binárias de busca
  - hash tables

Principais TADs na computação

- **Filas de Prioridade**: são TADs que permitem o processamento de itens de acordo com uma ordem pré-estabelecida (prioridade). A principal fila de prioridade é:
  - **Priority Queue** (fila de prioridade):
    - search_min(k, pq)
    - search_max(k, pq)
    - insert(k, pq)
    - delete_min(k, pq)
    - delete_max(k, pq)

- Podem ser implementados usando as seguintes estruturas de dados:
  - arrays
  - árvores binárias de busca balanceadas

Principais TADs na computação

- Existem muitos outros TADs importantes na computação (além dos TADs que você mesmo vai criar para suas aplicações).

- Veremos diversos desses TADs agora (e nos próximos capítulos!).

- Vamos prosseguir com a seguinte abordagem:
  - Estudaremos um TAD e, no momento de implementar esse TAD, escolheremos uma estrutura de dados apropriada (e nesse momento estudaremos as estruturas de dados).

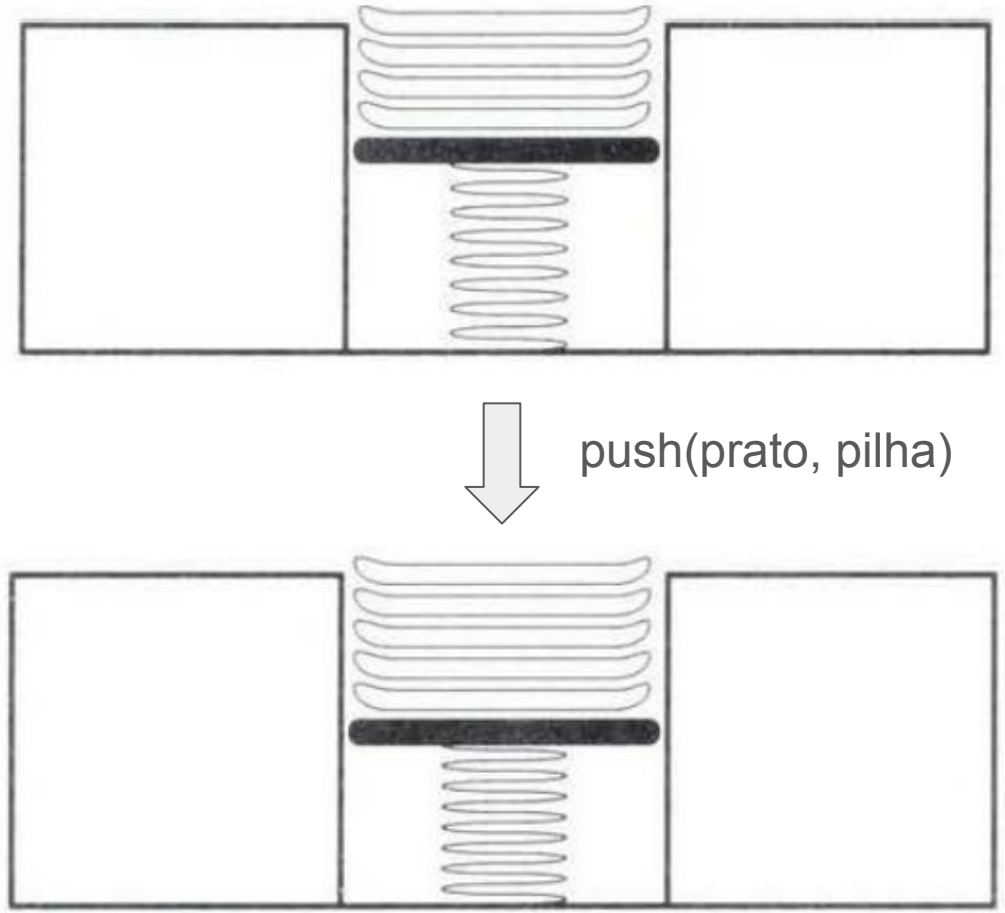
Stack (pilha)

- É um TAD da categoria dos **containers**, ou seja, é um TAD que **permite armazenar e recuperar dados independentemente de seu valor/conteúdo**.

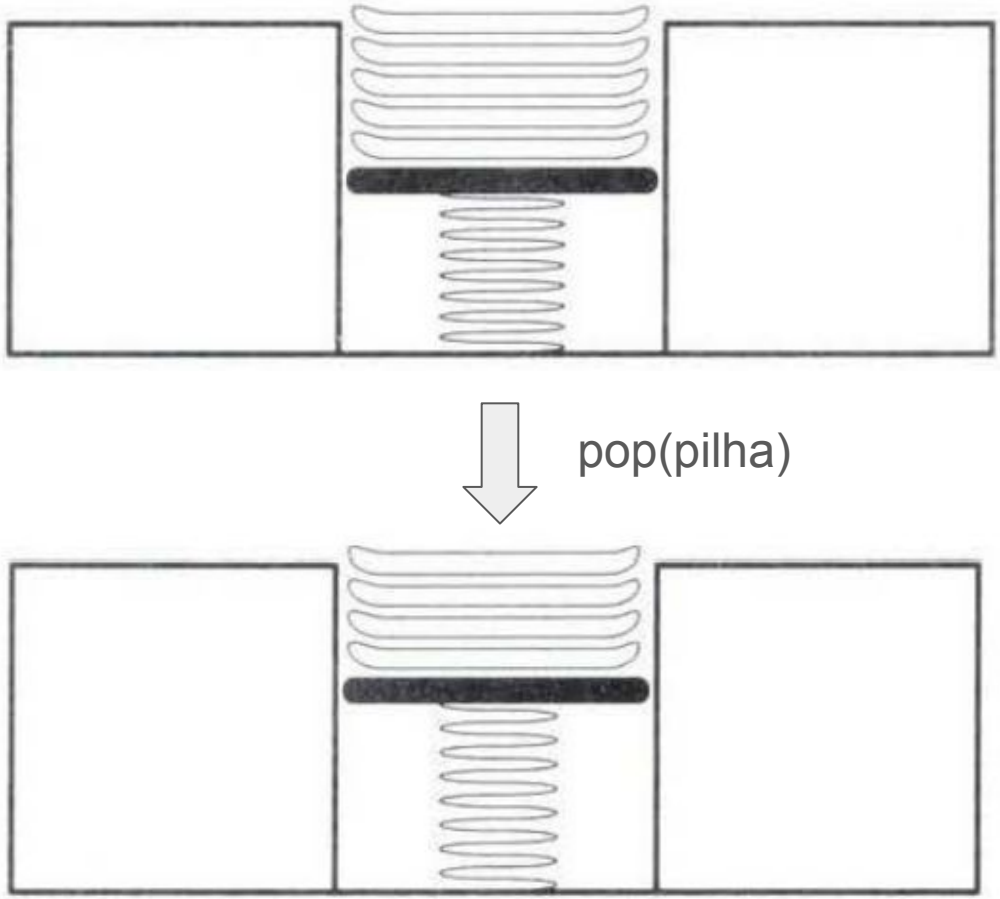
- A principal característica do comportamento de uma pilha é que **os dados só podem ser retirados da pilha na ordem inversa em que foram adicionados**, ou seja, de modo **LIFO** (last in, first out).

- O comportamento da pilha é dado por 2 subprogramas principais e outros acessórios:
  - **push(item, pilha)** — insere o item na pilha
  - **pop(pilha)** — remove o item no topo da pilha
  - **vazia(pilha)** — verifica se a pilha está vazia
  - **cheia(pilha)** — verifica se a pilha está cheia
  - **quantidade(pilha)** — verifica quantos elementos estão na pilha

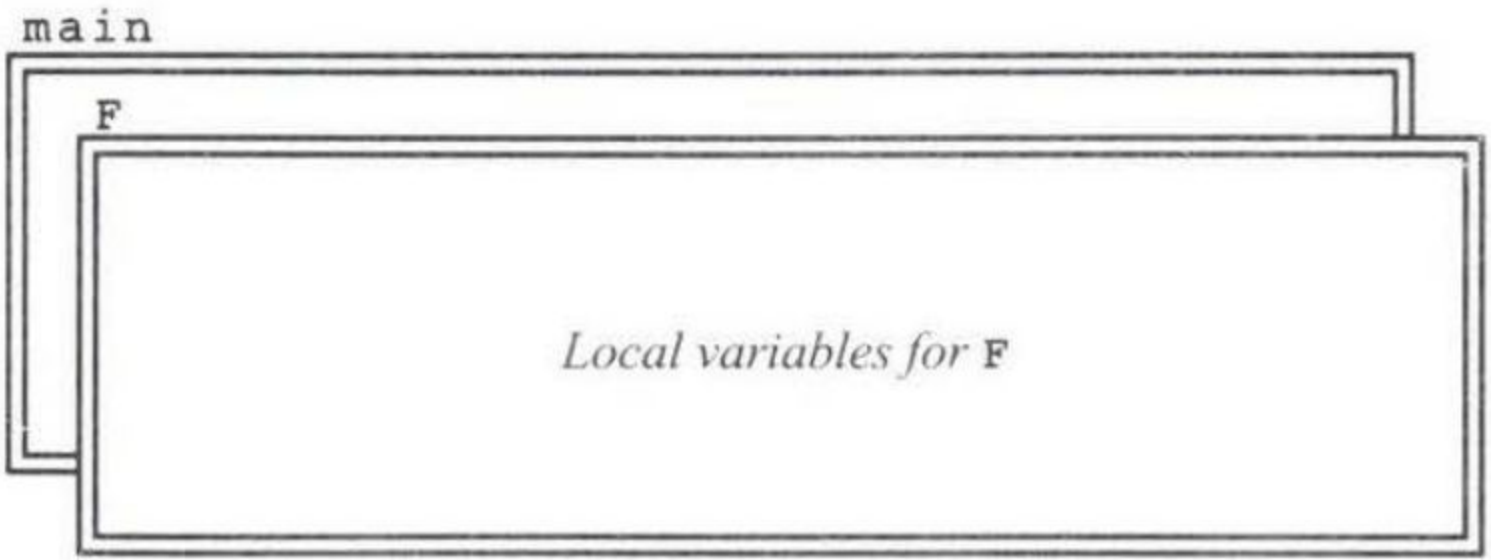
Stack (pilha)



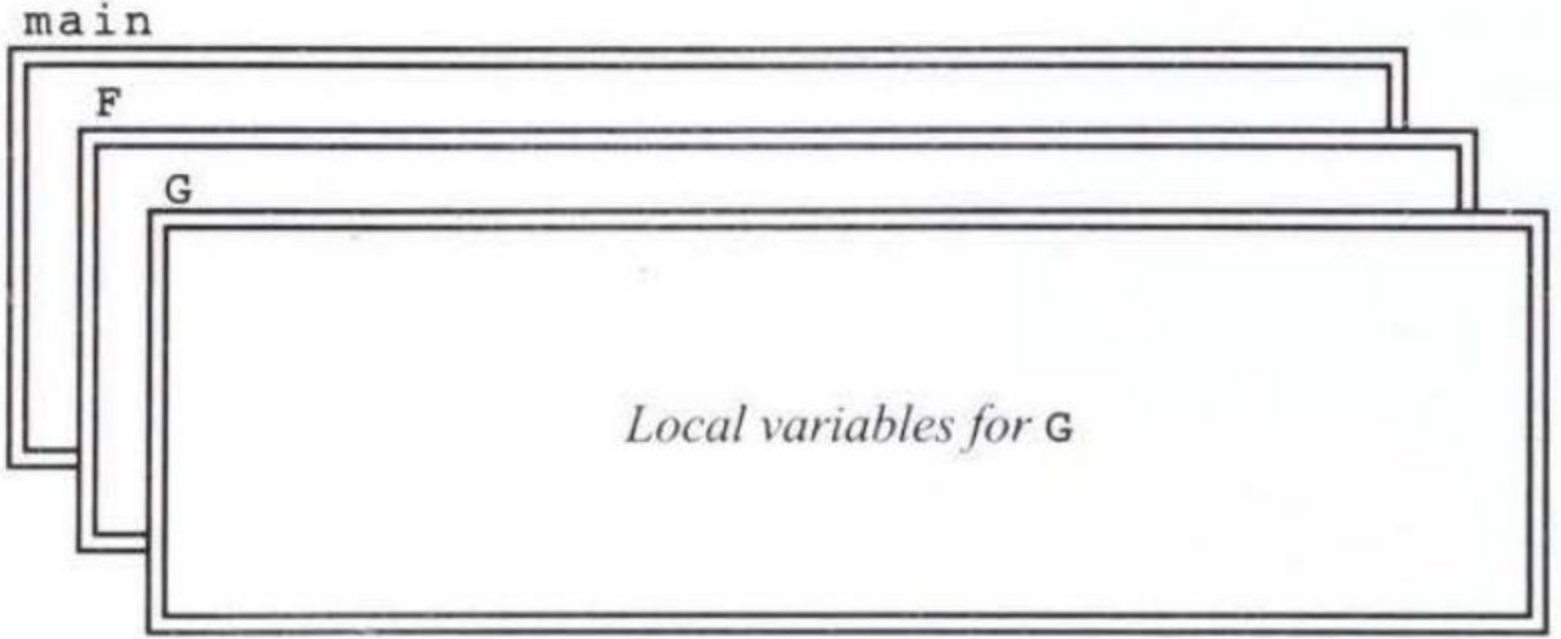
Stack (pilha)



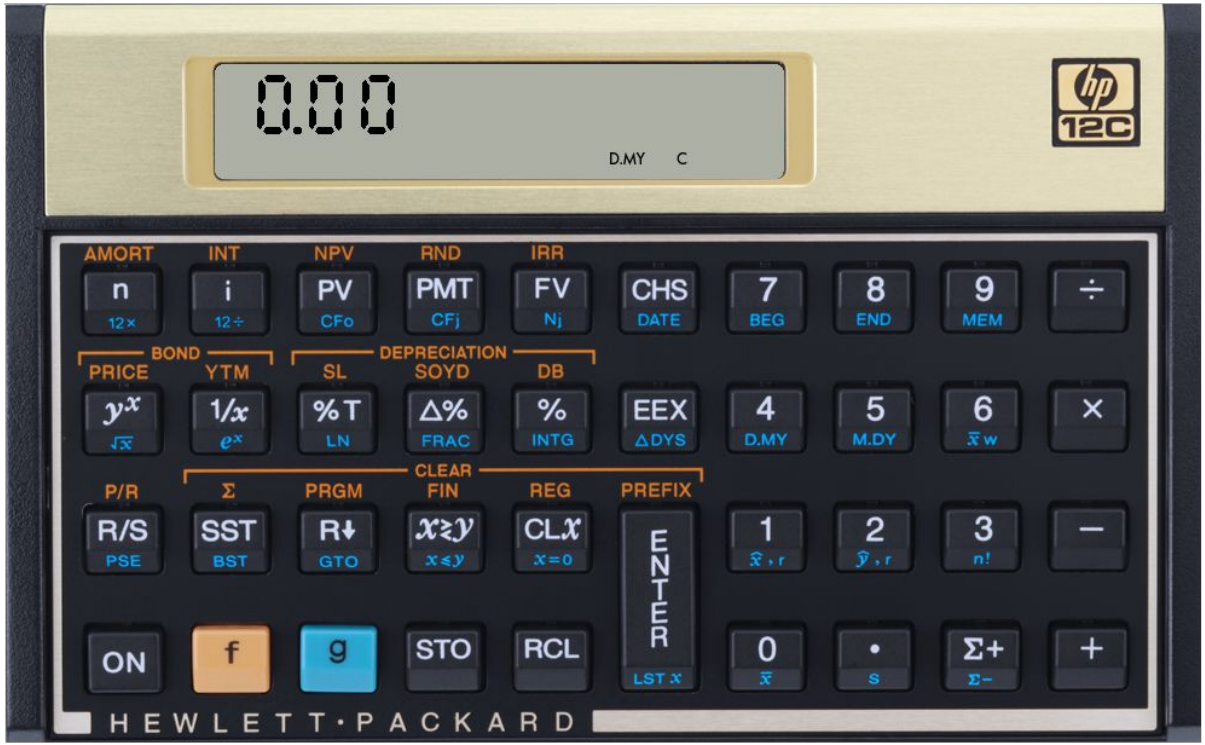
Stack (pilha) e chamadas de função



Stack (pilha) e chamadas de função

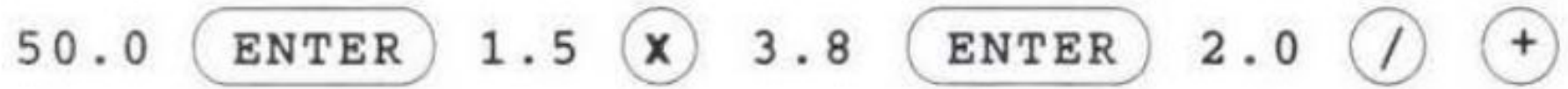


Stack (pilha) e calculadoras RPN

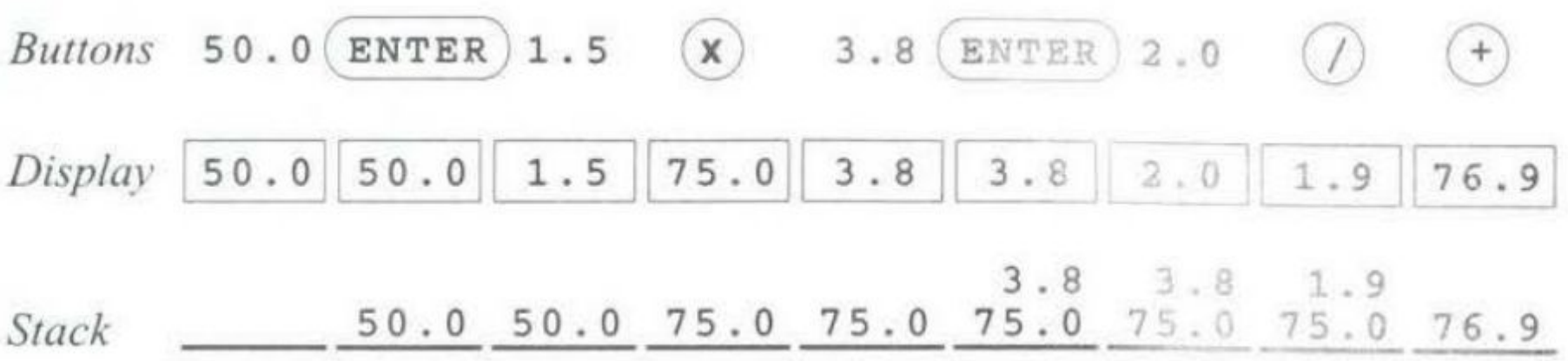


Stack (pilha) e calculadoras RPN

$$50.0 \times 1.5 + \frac{3.8}{2.0}$$



Stack (pilha) e calculadoras RPN



- Se o usuário digitar ENTER o valor do display é colocado no stack
- Se o usuário digitar algum operador:
  - Se o usuário digitou um valor novo no display, coloca no stack
  - Faz o pop dos dois valores do topo
  - Aplica a operação matemática
  - Faz o push do resultado no stack

Criando um TAD Stack (pilha)

- Como representar um stack? Como criar uma abstração que seja genérica, para uso por diversas aplicações clientes?
    - Precisamos de uma **interface** (por exemplo, stack.h ou stackTAD.h) que exporte:
        - Os **tipos de dados usados no stack**; e
        - Os **subprogramas** que definem seu comportamento.

Criando um TAD Stack (pilha): tipos de dados

- Ao criar um stack existem duas “categorias” de tipos de dados que temos que considerar:
    - Qual o **tipo de dado do elemento** a ser armazenado na pilha
    - Qual o **tipo de dado da pilha** em si mesma.

- Para responder, temos que considerar se essas duas categorias estão no **domínio do cliente** ou no **domínio da implementação**.

Criando um TAD Stack (pilha): tipo de dado dos elementos

- O **tipo de dado do elemento** a ser armazenado está no **domínio do cliente**, ou seja, é **a aplicação cliente que determina como a pilha será utilizada**. Não importa para a "abstração stack" quais valores estão armazenados, pois as operações e comportamentos do stack serão os mesmos.

- O ideal seria criar um **stack genérico**, que aceita **elementos de qualquer tipo de dado que o cliente precisa**. O problema é que, em C, é necessário especificar um tipo de dado exato, para que as funções utilizem esse tipo de dado como parâmetro. Isso seria possível se a linguagem C tivesse um tipo de dado "`any`" que serviria para qualquer coisa. Isso não existem em C, o mais próximo que conseguimos chegar é o tipo `void *`, que é um tipo **compatível com ponteiros de qualquer tipo** (não com tipos de dados).

Criando um TAD Stack (pilha): tipo de dado dos elementos

- Se o **tipo de dado do elemento** for o tipo `void *`, podemos criar um stack genérico no sentido de que esse stack pode armazenar dados de qualquer tipo de ponteiro:
  - ponteiros para char (string) em um stack
  - ponteiros para inteiros em outro stack
  - ponteiros para diferentes tipos no mesmo stack (a aplicação deve ter informações que permitam saber que tipos estão sendo usados no momento)

- O problema é que essa abordagem, apesar de realmente criar um stack genérico usando ponteiros genéricos, cria um overhead para a aplicação cliente, forçando o uso de ponteiros e alocação de memória ao invés do uso dos dados de modo direto.

Criando um TAD Stack (pilha): tipo de dado dos elementos

- Se o **tipo de dado do elemento** for um tipo específico, como int ou double, o cliente não terá overhead usando ponteiros, mas o stack não será genérico (só poderá armazenar elementos desse tipo específico).

- É a solução mais simples (TALVEZ a mais eficiente), mas é a alternativa menos genérica.

Criando um TAD Stack (pilha): tipo de dado dos elementos

- Se o **tipo de dado do elemento** for especificado através de um `typedef` que define um aliase para algum tipo específico, podemos aumentar a flexibilidade da interface: você pode especificar um tipo padrão genérico, como o `void *`, mas o cliente pode alterar o tipo de dado do elemento conforme a necessidade, se você fornecer o código fonte. Ex.:

```
typedef void * elementoT;
```

- Se o cliente não quiser trabalhar com ponteiros, ele pode remover o `void *` e utilizar um outro tipo de sua preferência. O problema é que essa abordagem **quebra a interface** e **quebra a barreira da abstração**! Você precisará fornecer o código fonte (implementação) para que o cliente recompile a interface.

Criando um TAD Stack (pilha): tipo de dado dos elementos

- Na verdade, em C, não há uma estratégia ótima para definir o **tipo de dado do elemento**, devido às limitações de C:
  - Gostaríamos de que o stack fosse genérico, que pudesse ser utilizado para elementos de qualquer tipo de dado, mas isso complica a interface para o cliente
  - Ao mesmo tempo, se utilizarmos aliases e fornecermos o código para que o cliente compile uma versão apropriada, quebramos a barreira da abstração e comprometemos a estabilidade da interface

- TALVEZ a melhor (?) alternativa seja:
  - Criar uma interface usando **`typedef <tipo> elementoT`** para criar aliases para algum tipo de dado específico, e fornecer acesso ao código fonte para que o cliente altere o tipo, se necessário; e
  - Exportar uma versão “padrão” da interface com **`typedef void * elementoT`**, para que a interface seja genérica e prontamente utilizável por clientes que não se importem em utilizar ponteiros.

Criando um TAD Stack (pilha): tipo de dado da pilha

- Uma vez definido o tipo de dado dos elementos (que está no domínio dos clientes), temos que decidir sobre o **tipo de dado do stack em si**, o que está no **domínio da implementação**. É você que deve escolher uma representação adequada para o stack e implementar seu comportamento; é você que deve escolher uma estrutura de dado adequada para armazenar os elementos.

- Já vimos que um tipo de dado, como o stack, pode ser **concreto** ou **abstrato**, dependendo do grau de acesso do cliente à representação interna: se toda a representação interna do stack está **opaco, escondido**, então temos um tipo abstrato de dado.

Criando um TAD Stack (pilha): tipo de dado da pilha

- Para criar um tipo abstrato de dado em C, na **interface** usamos:

```
typedef nomeTCD *nomeTAD;
```

- Termos:
  - TCD: tipo concreto de dado
  - TAD: tipo abstrato de dado

- Na interface nós criamos um TAD que é apenas um PONTEIRO para o TCD (que será especificado na implementação da interface). Exemplo:

```
typedef struct stackTCD *stackTAD;
```

Criando um TAD Stack (pilha): tipo de dado da pilha

- Na linha abaixo, o tipo **`stackTAD`** é um **ponteiro** para uma estrutura que tem o nome de **`stackTCD`**, que ainda não foi definida (só será definida durante a implementação da interface). Uma estrutura que ainda não foi definida é chamada de um **tipo incompleto**. Na **interface**:

```
typedef struct stackTCD *stackTAD;
```

- Na **implementação** da interface nós completaremos o tipo:

```
struct stackTCD {
    . . .
};
```

Criando um TAD Stack (pilha): tipo de dado da pilha

- As duas definições são “ligadas” pelo identificador **`nomeTCD`**, que passa a ser conhecido por **structure tag**.

stackTAD.h

```
typedef struct stackTCD *stackTAD;

. . .
```

stackTAD.c

```
struct stackTCD
{
     . . .
};
```

Criando um TAD Stack (pilha): tipos de dados

```
41 /**
42  * TIPO: elementoT
43  * ---------------
44  * O tipo "elementoT" é utilizado nesta interface para indicar o tipo de dado
45  * dos valores que serão armazenados no stack, ou seja, representa o tipo de
46  * dado dos elementos. Nesta interface, por padrão, o tipo de dado armazenado é
47  * "double", mas isso pode ser alterado ao se editar a linha da definição, a
48  * seguir (é necessário compilar a implementação da interface se esse tipo
49  * padrão for alterado).
50  */
51
52 typedef double elementoT;
53
54 /* Seção 2: tipos abstratos de dados */
55
56 /**
57  * TIPO ABSTRATO: stackTAD
58  * -----------------------
59  * O tipo stackTAD repersenta um tipo abstrato que é uma pilha, para armazenar
60  * os elementos do tipo "elementoT". Como o stackTAD é definido apenas como um
61  * ponteiro para uma estrutura concreta que não está definida nesta interface,
62  * os clientes não têm acesso à implementação interna.
63  */
64
65 typedef struct stackTCD *stackTAD;
66
```

Criando um TAD Stack (pilha): comportamento

- Agora que discutimos sobre os tipos de dados envolvidos em nossa pilha, precisamos **especificar seu comportamento** (os subprogramas que manipularão a pilha). Alguns comportamentos comuns:
  - `criar_stack`
  - `remover_stack`
  - `push`
  - `pop`
  - `vazia`
  - `cheia`
  - `tamanho`
  - `qtd_elementos`
  - `espaco_restante`
  - `ver_elemento`
  - `ver_pilha`
  - `. . .`

Criando um TAD Stack (pilha): comportamento

```
69 /**
70  * FUNÇÃO: criar_stackTAD
71  * Uso: stackTAD = criar_stackTAD( );
72  * ----------------------------------
73  * Esta função aloca e retorna um novo stack, que está inicialmente vazio. Se
74  * ocorrer algum erro na criação do stack, será retornado NULL.
75  */
76
77 stackTAD criar_stackTAD (void);
78
79 /**
80  * PROCEDIMENTO: remover_stackTAD
81  * Uso: remover_stackTAD(&stackTAD);
82  * ---------------------------------
83  * Este procedimento libera o armazenamento alocado para o stackTAD. Note que o
84  * argumento é um PONTEIRO para um stack.
85  */
86
87 void remover_stackTAD (stackTAD *stack);
88
```

Criando um TAD Stack (pilha): comportamento

```
 89 /**
 90  * PROCEDIMENTO: push
 91  * Uso: push(stack, elemento);
 92  * --------------------------
 93  * Este procedimento coloca o elemento especificado no topo do stack.
 94  */
 95
 96 void push (stackTAD stack, elementoT elemento);
 97
 98 /**
 99  * FUNÇÃO: pop
100  * Uso: elemento = pop(stack);
101  * --------------------------
102  * Esta função retira o elemento que está no topo da pilha e retorna esse
103  * elemento. O valor a ser retirado é sempre o último que entrou na pilha por
104  * último. Se o stack for null ou estiver vazio, é exibida uma mensagem de erro
105  * e o valor retornado será um valor NAN, ou seja, o valor padrão que representa
106  * um "Not a Number" conforme o padrão IEEE-754. Seu programa deve verificar se
107  * o valor retornado é, ou não, um NaN e tomar ações apropriadas:
108  *
109  *     if (isnan(elemento = pop(stack)))
110  *         ... código para tratar o erro do retorno do pop ...
111  *     else
112  *         ... código para prosseguir com seu programa ...
113  *
114  * Obs.: você precisa de math.h para usar a função isnan(x);
115  */
116
117 elementoT pop (stackTAD stack);
118
```

Criando um TAD Stack (pilha): comportamento

```
119 /**
120  * PREDICADOS: vazia, cheia
121  * Uso: if (vazia(stack)) . . .
122  *      if (cheia(stack)) . . .
123  * ---------------------------
124  * Estes predicados retornam TRUE caso a pilha esteja vazia ou cheia,
125  * respectivamente. Se o stack for dinâmico, ou seja, sem um tamanho máximo
126  * pré-definido, o predicado "cheia" sempre retornará FALSE.
127  */
128
129 bool vazia (stackTAD stack);
130 bool cheia (stackTAD stack);
131
132 /**
133  * FUNÇÃO: tamanho
134  * Uso: n = tamanho(stack);
135  * ------------------------
136  * Esta função retorna o tamanho do stack, ou seja, quantos elementos este stack
137  * pode armazenar. Três situações especiais podem ocorrer:
138  *
139  *    a) A função retorna normalmente o tamanho do stack;
140  *    b) Ocorre um erro na função: será retornado o valor -1;
141  *    c) Se o stack é dinâmico, sem tamanho máximo, será retonado o valor 0.
142  */
143 long int tamanho (stackTAD stack);
144
```

Criando um TAD Stack (pilha): comportamento

```
145 /**
146  * FUNÇÃO: qtd_elementos
147  * Uso: n = qtd_elementos(stack);
148  * ------------------------------
149  * Esta função retorna a quantidade de elementos atualmente dentro da pilha, ou
150  * o valor -1 caso ocorra algum erro.
151  */
152
153 long int qtd_elementos (stackTAD stack);
154
155 /**
156  * FUNÇÃO: espaco_restante
157  * Uso: n = espaco_restante(stack);
158  * --------------------------------
159  * Esta função é utilizada geralmente para DEBUG, não é um comportamento padrão
160  * de um TAD pilha. Ela retorna a quantidade de "slots" ainda disponíveis na
161  * pilha. Caso o stack seja dinâmico, ou seja, sem um tamanho máximo
162  * pré-definido, retorna 0. Se houver algum erro, retorna -1.
163  *
164  * TODO: o retorno 0 (zero) pode indicar tanto uma pilha dinâmica sem limite
165  *       pré-definido, ou uma pilha cheia. Isso está errado, é preciso ajustar
166  *       esse comportamento.
167  */
168
169 #ifdef debug
170 long int espaco_restante (stackTAD stack);
171 #endif
172
```

Criando um TAD Stack (pilha): comportamento

```
173 /**
174  * FUNÇÃO: ver_elemento
175  * Uso: elemento = ver_elemento(stack, posicao);
176  * ------------------------------------------
177  * Esta função é apenas para DEBUG, não é comportamento padrão de um TAD pilha.
178  * Ela retorna o elemento especificado em uma posição qualquer da pilha, sem
179  * fazer o pop de nenhum elemento. Se a posição especificada não for uma posição
180  * válida, ou se o stack for null ou estiver vazio, é exibida uma mensagem de
181  * erro e o valor retornado será um valor NAN, ou seja, o valor padrão que
182  * representa um "Not a Number" conforme o padrão IEEE-754. Seu programa deve
183  * verificar se o valor retornado é, ou não, um NaN e tomar ações apropriadas:
184  *
185  *     if (isnan(elemento = ver_elemento(stack, posicao)))
186  *         ... código para tratar o erro  ...
187  *     else
188  *         ... código para prosseguir com seu programa ...
189  *
190  * Obs.: você precisa de math.h para usar a função isnan(x);
191  */
192
193 #ifdef debug
194 elementoT ver_elemento (stackTAD stack, int posicao);
195 #endif
196
```

Criando um TAD Stack (pilha): comportamento

```
197 /**
198  * PROCEDIMENTO: imprimir_stack
199  * Uso: imprimir_stack(stack, limite);
200  * ------------------------------------
201  * Este procedimento é geralmente utilizado para DEBUG, não é comportamento
202  * padrão de um TAD pilha. Ele imprime os elementos atuais da pilha, até uma
203  * quantidade limite (para evitar que o terminal do usuário recebe várias e
204  * várias linhas).
205  */
206
207 #ifdef debug
208 void imprimir_stack (stackTAD stack, int limite);
209 #endif
210
```

Criando um TAD Stack (pilha): comportamento

- Após analisar a definição da interface, responda o seguinte:
    - Como os dados serão armazenados?
    - Quais os nomes das variáveis que serão utilizadas para armazenar os dados?
    - Onde os dados serão armazenados?
- Note que o TAD pilha é totalmente especificado pelo seu comportamento! Não sabemos nada da representação interna! É exatamente isso que queremos.

Criando um TAD Stack (pilha): implementação

- E como implementar o TAD stack? Precisamos tomar algumas decisões:
  - **Quantos elementos** a pilha irá suportar?
    - Limite máximo
    - Ilimitado (o limite é a memória disponível)
  - **Que estrutura de dados** utilizaremos para armazenar os elementos?
    - Array
    - Lista encadeada
    - Variáveis

Criando um TAD Stack (pilha): 1ª implementação

- E como implementar o TAD stack? Precisamos tomar algumas decisões:
  - **Quantos elementos** a pilha irá suportar?
    - Limite máximo
  - **Que estrutura de dados** utilizaremos para armazenar os elementos?
    - Array

Criando um TAD Stack (pilha): 1ª implementação

```
38 /**
39  * CONSTANTE: TAMMAX
40  * -----------------
41  * Esta constante especifica o tamanho máximo de espaço a ser alocado para o
42  * array que armazenará os elementos do stack. Se o usuário fizer um push de
43  * elementos além deste limite, receberá um erro. Se TAMMAX estiver definido
44  * como 0 (zero), indica que o array é dinâmico e não tem tamanho máximo
45  * limitante.
46  */
47
48 #define TAMMAX 1000
49
```

Criando um TAD Stack (pilha): 1ª implementação

```
52 /**
53  * TIPO: stackTCD
54  * --------------
55  * O tipo stackTCD é a representação concreta do tipo abstrato de dado stackTAD
56  * definido na interface. Nesta implementação os elementos serão armazenados em
57  * um array. Como a definição do stackTCD aparece apenas na implementação, e não
58  * na interface, podemos alterar esta definição à vontade, desde que a interface
59  * não seja alterada e o comportamento do stack seja mantido. A variável inteira
60  * "contagem" manterá o número atual de elementos no stack.
61  */
62
63 struct stackTCD
64 {
65     elementoT dados[TAMMAX];
66     int contagem;
67 };
68
```

Criando um TAD Stack (pilha): 1ª implementação

```
71 /**
72  * FUNÇÃO: criar_stackTAD
73  * Uso: stackTAD = criar_stackTAD( );
74  * ----------------------------------
75  * Aloca memória suficiente para um stackTCD e retorna um ponteiro para esse
76  * objeto, através do tipo abstrato stackTAD. Retorna NULL se não for possível
77  * alocar a memória.
78  */
79
80 stackTAD criar_stackTAD (void)
81 {
82     stackTAD S = malloc(sizeof(struct stackTCD));
83     if (S == NULL)
84     {
85         fprintf(stderr, "Erro: não foi possível alocar o stack.\n");
86         return NULL;
87     }
88     S->contagem = 0;
89     return S;
90 }
91
```

Criando um TAD Stack (pilha): 1ª implementação

```
 92 /**
 93  * PROCEDIMENTO: remover_stackTAD
 94  * Uso: remover_stackTAD(&stackTAD);
 95  * -------------------------------
 96  * Ao receber um PONTEIRO para um stackTAD, ou seja, um ponteiro para um
 97  * ponteiro para stackTCD, libera a memória alocada para o stackTCD e atribui
 98  * NULL para o ponteiro original (para evitar dangling pointer). Se o
 99  * ponteiro original já aponta para NULL, não faz nada.
100  */
101
102 void remover_stackTAD (stackTAD *stack)
103 {
104     if (*stack != NULL)
105     {
106         free(*stack);
107         *stack = NULL;
108     }
109 }
110
```

Criando um TAD Stack (pilha): 1ª implementação

```
111 /**
112  * PROCEDIMENTO: push
113  * Uso: push(stack, elemento);
114  * --------------------------
115  * Este procedimento coloca o elemento especificado no topo do stack.
116  */
117
118 void push (stackTAD stack, elementoT elemento)
119 {
120     if (stack == NULL)
121         fprintf(stderr, "Erro: push em stack null.\n");
122     else if (cheia(stack))
123         fprintf(stderr, "Erro: o stack está cheio.\n");
124     else
125         stack->dados[stack->contagem++] = elemento;
126 }
127
```

Criando um TAD Stack (pilha): 1ª implementação

```
128 /**
129  * FUNÇÃO: pop
130  * Uso: elemento = pop(stack);
131  * --------------------------
132  * Retorna o elemento do topo da pilha, ou o valor NAN ("Not a Number") em caso
133  * de erro (situação na qual uma mensagem de erro apropriada também é exibida).
134  */
135
136 elementoT pop (stackTAD stack)
137 {
138     if (stack == NULL)
139     {
140         fprintf(stderr, "Erro: pop em stack null.\n");
141         return NAN;
142     }
143     else if (vazia(stack))
144     {
145         fprintf(stderr, "Erro: stack vazio.\n");
146         return NAN;
147     }
148
149     return stack->dados[--stack->contagem];
150 }
151
```

Criando um TAD Stack (pilha): 1ª implementação

```
152 /**
153  * PREDICADOS: vazia, cheia
154  * Uso: if (vazia(stack)) . . .
155  *      if (cheia(stack)) . . .
156  * ---------------------------
157  * Estes predicados retornam TRUE caso a pilha esteja vazia ou cheia,
158  * respectivamente. Se o stack for dinâmico, ou seja, sem um tamanho máximo
159  * pré-definido, o predicado "cheia" sempre retornará FALSE.
160  */
161
162 bool vazia (stackTAD stack)
163 {
164     if (stack == NULL)
165     {
166         printf("Erro: stack null.\n");
167         exit(1);
168     }
169     return (stack->contagem == 0);
170 }
171
172 bool cheia (stackTAD stack)
173 {
174     if (stack == NULL)
175     {
176         printf("Erro: stack null.\n");
177         exit(1);
178     }
179     return (stack->contagem == TAMMAX);
180 }
181
```

Criando um TAD Stack (pilha): 1ª implementação

```
182 /**
183  * FUNÇÃO: tamanho
184  * Uso: n = tamanho(stack);
185  * ------------------------
186  * Retorna o tamanho do stack. Situações:
187  *
188  *      TAMMAX > 0: se tamanho limitado;
189  *      TAMMAX = 0: se tamanho ilimitado;
190  *      -1        : se ocorrer algum erro.
191  */
192
193 long int tamanho (stackTAD stack)
194 {
195     if (stack == NULL)
196     {
197         fprintf(stderr, "Erro: tamanho de stack null.\n");
198         return -1;
199     }
200     return (long int) TAMMAX;
201 }
202
```

Criando um TAD Stack (pilha): 1ª implementação

```
203 /**
204  * FUNÇÃO: qtd_elementos
205  * Uso: n = qtd_elementos(stack);
206  * ------------------------------
207  * Esta função retorna a quantidade de elementos atualmente dentro da pilha,
208  * ou -1 se ocorrer algum erro.
209  */
210
211 long int qtd_elementos (stackTAD stack)
212 {
213     if (stack == NULL)
214     {
215         fprintf(stderr, "Erro: qtd_elementos de stack null.\n");
216         return -1;
217     }
218     return (stack->contagem);
219 }
220
```

Criando um TAD Stack (pilha): 1ª implementação

```
221 /**
222  * FUNÇÃO: espaco_restante
223  * Uso: n = espaco_restante(stack);
224  * -------------------------------
225  * Retorna a quantidade de espaço restante na pilha. Se a pilha é dinâmica,
226  * retorna 0; se houver algum erro, retorna -1.
227  *
228  * TODO: o retorno 0 (zero) pode indicar tanto uma pilha dinâmica sem limite
229  *       pré-definido, ou uma pilha cheia. Isso está errado, é preciso ajustar
230  *       esse comportamento.
231  */
232
233 #ifdef debug
234 long int espaco_restante (stackTAD stack)
235 {
236     if (stack == NULL)
237     {
238         fprintf(stderr, "Erro: espaco_restante de stack null.\n");
239         return -1;
240     }
241     else if (TAMMAX == 0)
242         return 0;
243
244     return (TAMMAX - stack->contagem);
245 }
246 #endif
247
```

Criando um TAD Stack (pilha): 1ª implementação

```
248 /**
249  * FUNÇÃO: ver_elemento
250  * Uso: elemento = ver_elemento(stack, posicao);
251  * ------------------------------------------
252  * Retorna o elemento que está em uma determinada posição do stack, mesmo que
253  * não seja o topo, SEM fazer nenhum pop do stack. Se houver algum erro é
254  * retornado o valor NAN (Not a Number).
255  */
256
257 #ifdef debug
258 elementoT ver_elemento (stackTAD stack, int posicao)
259 {
260     if (stack == NULL)
261     {
262         fprintf(stderr, "Erro: ver_elemento de stack null.\n");
263         return NAN;
264     }
265     else if (vazia(stack))
266     {
267         fprintf(stderr, "Erro: stack vazio.\n");
268         return NAN;
269     }
270     else if (posicao < 0 || posicao >= stack->contagem)
271     {
272         fprintf(stderr, "Erro: posição inválida.\n");
273         return NAN;
274     }
275
276     return (stack->dados[posicao]);
277 }
```

Criando um TAD Stack (pilha): 1ª implementação

```
280 /**
281  * PROCEDIMENTO: imprimir_stack
282  * Uso: imprimir_stack(stack, limite);
283  * -----------------------------------
284  * Imprime os elementos da pilha, até um certo limite.
285  */
286
287 #ifdef debug
288 void imprimir_stack (stackTAD stack, int limite)
289 {
290     if (stack == NULL)
291         fprintf(stderr, "Erro: imprimir_stack de stack null.\n");
292     else if (vazia(stack))
293         fprintf(stderr, "Erro: stack está vazio.\n");
294     else if (limite < 0 || limite > stack->contagem)
295         limite = stack->contagem;
296
297     for (int i = 0; i < stack->contagem && i < limite; i++)
298         printf("%g\n", (double) stack->dados[i]);
299 }
300 #endif
```

Criando um TAD Stack (pilha): 1ª implementação

- Nossa 1ª implementação está boa, mas contém algumas coisas que só estão ali apenas para fins didáticos, por exemplo:
  - Impressão de mensagens de erro no terminal
  - Dependência do tipo double
  - Tratamento de erro ruim nos predicados (uso de exit)
  - Tamanho limitado da pilha
- Que outras melhorias você faria na interface e na implementação?

Criando um TAD Stack (pilha): 2ª implementação

- E como implementar o TAD stack? Precisamos tomar algumas decisões:
  - **Quantos elementos** a pilha irá suportar?
    - Sem limite máximo (suportará tantos elementos quanto o tamanho de memória alocada para o programa)
  - **Que estrutura de dados** utilizaremos para armazenar os elementos?
    - Array

Criando um TAD Stack (pilha): 2ª implementação

```
37 /*** Constantes Simbólicas: ***/
38
39 /**
40  * CONSTANTE: TAMMAX
41  * -----------------
42  * Esta constante especifica o tamanho máximo de espaço a ser alocado para o
43  * array que armazenará os elementos do stack. Se o usuário fizer um push de
44  * elementos além deste limite, receberá um erro. Se TAMMAX estiver definido
45  * como 0 (zero), indica que o array é dinâmico e não tem tamanho máximo
46  * limitante. Se o array é dinâmico, TAMINI indica o tamanho inicial.
47  */
48
49 #define TAMMAX 0
50 #define TAMINI 2
```

Criando um TAD Stack (pilha): 2ª implementação

```
58 /**
59  * TIPO: stackTCD
60  * --------------
61  * O tipo stackTCD é a representação concreta do tipo abstrato de dado stackTAD
62  * definido na interface. Nesta implementação os elementos serão armazenados em
63  * um array. Como a definição do stackTCD aparece apenas na implementação, e não
64  * na interface, podemos alterar esta definição à vontade, desde que a interface
65  * não seja alterada e o comportamento do stack seja mantido. A variável inteira
66  * "contagem" manterá o número atual de elementos no stack, e a variável inteira
67  * "tamanho" manterá o tamanho atual do stack (que pode ser aumentado de forma
68  * dinâmica durante o andamento do programa).
69  */
70
71 struct stackTCD
72 {
73     elementoT *dados;
74     int contagem;
75     int tamanho;
76 };
77
```

Criando um TAD Stack (pilha): 2ª implementação

```
80 /**
81  * FUNÇÃO: criar_stackTAD
82  * Uso: stackTAD = criar_stackTAD( );
83  * ----------------------------------
84  * Aloca memória suficiente para um stackTCD e retorna um ponteiro para esse
85  * objeto, através do tipo abstrato stackTAD. Retorna NULL se não for possível
86  * alocar a memória.
87  */
88
89 stackTAD criar_stackTAD (void)
90 {
91     stackTAD S = malloc(sizeof(struct stackTCD));
92     if (S == NULL)
93     {
94         fprintf(stderr, "Erro: não foi possível alocar o stack.\n");
95         return NULL;
96     }
97     S->dados = malloc(sizeof(elementoT) * TAMINI);
98     if (S->dados == NULL)
99     {
100        fprintf(stderr, "Erro: impossível alocar array dinâmico para stack.\n");
101        free(S);
102        S = NULL;
103        return NULL;
104    }
105    S->contagem = 0;
106    S->tamanho = TAMINI;
107    return S;
108 }
```

Criando um TAD Stack (pilha): 2ª implementação

```
110 /**
111  * PROCEDIMENTO: remover_stackTAD
112  * Uso: remover_stackTAD(&stackTAD);
113  * ------------------------------
114  * Ao receber um PONTEIRO para um stackTAD, ou seja, um ponteiro para um
115  * ponteiro para stackTCD, libera a memória alocada para o stackTCD e atribui
116  * NULL para o ponteiro original (para evitar dangling pointer). Se o
117  * ponteiro original já aponta para NULL, não faz nada.
118  */
119
120 void remover_stackTAD (stackTAD *stack)
121 {
122     if (*stack != NULL)
123     {
124         free((*stack)->dados);
125         (*stack)->dados = NULL;
126         free(*stack);
127         *stack = NULL;
128     }
129 }
```

Criando um TAD Stack (pilha): 2ª implementação

```
131 /**
132  * PROCEDIMENTO: push
133  * Uso: push(stack, elemento);
134  * --------------------------
135  * Este procedimento coloca o elemento especificado no topo do stack. Se o stack
136  * estiver cheio, duplica o tamanho antes da inserção.
137  */
138
139 void push (stackTAD stack, elementoT elemento)
140 {
141     if (stack == NULL)
142         fprintf(stderr, "Erro: push em stack null.\n");
143
144     if (stack->contagem == stack->tamanho)
145         aumentar_stack(stack);
146
147     stack->dados[stack->contagem++] = elemento;
148 }
```

Criando um TAD Stack (pilha): 2ª implementação

```
52 /*** Declarações de subprogramas ***/
53
54 static void aumentar_stack (stackTAD stack);

319 /**
320  * PROCEDIMENTO: aumentar_stack
321  * Uso: aumentar_stack(stack);
322  * ---------------------------
323  * Este procedimento recebe um stackTAD e dobra o tamanho do array utilizado
324  * para armazenar os elementos. Depois disso, copia todos os elementos do
325  * array antigo e retorna o novo array preenchido e expandido. Não é exportado
326  * na interface. O array anterior é desalocado.
327  */
328
329 static void aumentar_stack (stackTAD stack)
330 {
331     elementoT *temp;
332     int novo_tamanho = stack->tamanho * 2;
333
334     temp = realloc(stack->dados, sizeof(elementoT) * novo_tamanho);
335     if (temp == NULL)
336     {
337         fprintf(stderr, "Erro: impossível aumentar stack!\n");
338         exit(1);
339     }
340
341     stack->dados = temp;
342     stack->tamanho = novo_tamanho;
343 }
```

Criando um TAD Stack (pilha): 2ª implementação

```
194 bool cheia (stackTAD stack)
195 {
196     return FALSE;
197 }
```

Criando um TAD Stack (pilha): comparação da implement.

- Quando implementamos a interface stackTAD.h, o que mudou de uma implementação para a outra?

- O que mudou na interface?

Criando um TAD Stack (pilha): comparação da implement.

- Quando implementamos a interface stackTAD.h, o que mudou de uma implementação para a outra?
    - Quantidade máxima de elementos!
- O que mudou na interface?
    - Nada!

Uso clássico de TAD Stack: calculadora RPN

```
[abrantesasf@ideapad ~/ed1/cap08]$ rpncalc
Simulação de Calculadora RPN (digite A para ajuda)
> 50
> 1.5
> *
75
> 3.8
> 2
> /
1.9
> +
76.9
> 100
> 30
> m
Pilha:
76.9
100
30
> +
130
> m
Pilha:
76.9
130
> -
-53.1
> s

[abrantesasf@ideapad ~/ed1/cap08]$
```

Quando usar um TAD pilha?

- Em qualquer situação onde você precise de **comportamento LIFO**.
  - Ex.: calculadora RPN

- Para substituir programas que utilizam **estado encapsulado**.
  - São programas que **utilizam variáveis globais para manter o estado** entre as chamadas de funções, geralmente inicializadas como estáticas.
  - **Estado encapsulado** é como chamamos os **dados que estão mantidos privadamente dentro de um módulo através de variáveis globais**. Sinônimo: estado interno.
  - **LIMITAÇÕES:**
    - **só mantém uma única cópia do estado disponível em qualquer instante de tempo**
    - **não podem ser utilizados em dois “locais” ao mesmo tempo**
    - **abstrações clientes impedem o uso do programa original**

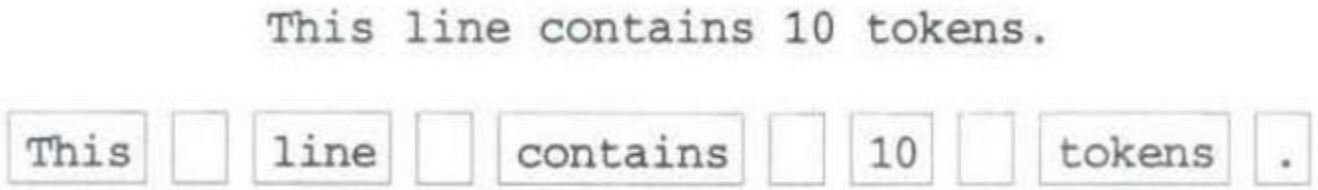
Importante de uso de TADs: remover estado encapsulado

- Um uso muito importante de TADs é na substituição de programas que utilizam **estado encapsulado**.
    - São programas que **utilizam variáveis globais para manter o estado** entre as chamadas de funções, geralmente inicializadas como estáticas.
    - **Estado encapsulado** é como chamamos os **dados que estão mantidos privadamente dentro de um módulo através de variáveis globais**. Sinônimo: estado interno.
    - **LIMITAÇÕES:**
        - **só mantém uma única cópia do estado disponível em qualquer instante de tempo**
        - **não podem ser utilizados em dois “locais” ao mesmo tempo**
        - **abstrações clientes impedem o uso do programa original**

Ex. de problemas com estado encapsulado: scanner

- Um **scanner** é um programa que “lê” textos sem prestar atenção aos caracteres individuais: ele agrupa letras para formar palavras que são reconhecidas como unidades independentes, dividindo a string em seus **tokens** componentes.

- Um token é uma seqüência de caracteres que forma uma unidade coerente:
  - Uma seqüência de caracteres alfanuméricos consecutivos (letras ou números); OU
  - Uma string de apenas um caractere contendo um espaço; OU
  - Uma string de apenas um caractere contendo um sinal de pontuação.



Ex. de problemas com estado encapsulado: scanner.h

```
62 /**
63  * PROCEDIMENTO: iniciar_scanner
64  * Uso: iniciar_scanner(string);
65  * ----------------------------
66  * Este procedimento inicializa o scanner e o configura de modo a permitir que
67  * ele leia tokens a partir de uma linha (string). Após a inicialização do
68  * scanner, a chamada da função "obter_proximo_token" retornará uma string que
69  * contém o primeiro token da linha; a práxima chamada da função
70  * "obter_proximo_token" retornará a string que contém o segundo token da linha
71  * e assim por diante.
72  */
73
74 void iniciar_scanner (string linha);
75
```

Ex. de problemas com estado encapsulado: scanner.h

```
76 /**
77  * FUNÇÃO: obter_proximo_token
78  * Uso: str = obter_proximo_token( );
79  * ----------------------------------
80  * Esta função retorna o próximo token da linha.
81  */
82
83 string obter_proximo_token (void);
84
85 /**
86  * PREDICADO: final_da_linha
87  * Uso: if(final_da_linha( )) . . .
88  * --------------------------------
89  * Este predicado retorna TRUE se o scanner alcançou o final da linha.
90  */
91
92 bool final_da_linha (void);
93
```

Ex. de problemas com estado encapsulado: scanner.c

```
27 /*** Estado Interno do Scanner: ***/
28
29 static string buffer;
30 static int tamanho_buffer;
31 static int posicao;
32
```

Ex. de problemas com estado encapsulado: scanner.c

```
35 /**
36  * PROCEDIMENTO: iniciar_scanner
37  * Uso: iniciar_scanner(string);
38  * ----------------------------
39  * Este procedimento apenas inicializa as variáveis do estado interno do scanner
40  * (o estado encapsulado).
41  */
42
43 void iniciar_scanner (string linha)
44 {
45     buffer = linha;
46     tamanho_buffer = StringLength(linha);
47     posicao = 0;
48 }
49
```

Ex. de problemas com estado encapsulado: scanner.c

```
50 /**
51  * FUNÇÃO: obter_proximo_token
52  * Uso: str = obter_proximo_token( );
53  * ----------------------------------
54  * Se o próximo caractere é alfanumérico (letra ou dígito), a função continua
55  * lendo para encontrar um "pedaço" conínuo de caracteres e retorna esse token.
56  * Se o caractere atual não for alfanumérico (se for um espaço ou pontuação),
57  * uma string contendo apenas esse caractere é retornada.
58  */
59
60 string obter_proximo_token (void)
61 {
62     char c;
63     int inicio;
64
65     if (posicao >= tamanho_buffer)
66         Error("Não há mais tokens.");
67
68     c = IthChar(buffer, posicao);
69     if (isalnum(c))
70     {
71         inicio = posicao;
72         while (posicao < tamanho_buffer && isalnum(IthChar(buffer, posicao)))
73             posicao++;
74         return SubString(buffer, inicio, posicao - 1);
75     }
76     else
77     {
78         posicao++;
79         return CharToString(c);
80     }
81 }
```

Ex. de problemas com estado encapsulado: scanner.c

```
83 /**
84  * PREDICADO: final_da_linha
85  * Uso: if(final_da_linha( )) . . .
86  * ---------------------------------
87  * Compara se a posição atual do buffer com o comprimento.
88  */
89
90 bool final_da_linha (void)
91 {
92     return posicao >= tamanho_buffer;
93 }
```

Ex. de problemas com estado encapsulado: teste

```
62      string frase1 = "o rato roeu a roupo do rei de roma.";
63      string frase2 = "THE DESIGN OF THE UNIX OPERATING SYSTEM.";
64
65      iniciar_scanner(frase1);
66      printf("Frase 1: %s\n", frase1);
67      printf("  Token: %s\n", obter_proximo_token());
68      printf("  Token: %s\n", obter_proximo_token());
69      printf("  Token: %s\n", obter_proximo_token());
70      printf("\n");
71
72      iniciar_scanner(frase2);
73      printf("Frase 2: %s\n", frase2);
74      printf("  Token: %s\n", obter_proximo_token());
75      printf("  Token: %s\n", obter_proximo_token());
76      printf("  Token: %s\n", obter_proximo_token());
77      printf("\n");
78
79      printf("Frase 1: %s\n", frase1);
80      printf("  Token: %s\n", obter_proximo_token());
81      printf("  Token: %s\n", obter_proximo_token());
82      printf("  Token: %s\n", obter_proximo_token());
83      printf("\n");
```

Ex. de problemas com estado encapsulado: scanner

```
[abrantesasf@ideapad ~/ed1/cap08]$ ./scanner_encapsulado
Frase 0: Este e um teste!
  Token: Este
  Token:
  Token: e
  Token:
  Token: um
  Token:
  Token: teste
  Token: !

Frase 1: o rato roeu a roupo do rei de roma.
  Token: o
  Token:
  Token: rato

Frase 2: THE DESIGN OF THE UNIX OPERATING SYSTEM.
  Token: THE
  Token:
  Token: DESIGN

Frase 1: o rato roeu a roupo do rei de roma.
  Token:
  Token: OF
  Token:
```

OK, scanner funcionando!

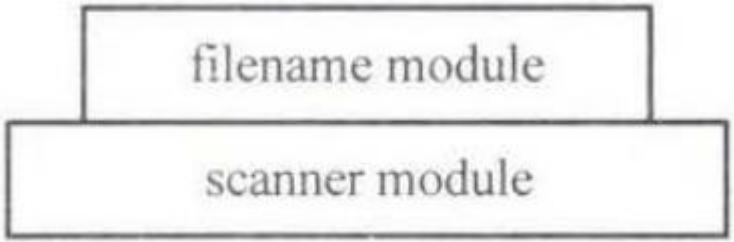
OK, scanner funcionando!

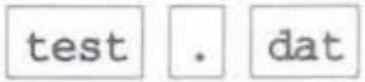
OK, scanner funcionando!

ERRO!!!

Ex. de problemas com estado encapsulado: scanner

- O problema não se limita a tentar utilizar 2 instâncias do scanner com estado encapsulado: se você criar outra abstração usando o scanner, também teremos a perda do estado!
  - Por exemplo: você pode querer usar o scanner para uma função que retorna os tokens de um nome de arquivo. Abstrações “em camadas” são geralmente úteis.





  - Mas, ao basear a leitura do nome do arquivo em um scanner com estado encapsulado, você não pode usar as duas abstrações ao mesmo tempo.
- Em geral, cuidado com variáveis globais para manter estado, mesmo que estáticas.

Solução para o problema do estado encapsulado: TADs

- Uma das soluções possíveis para o problema do estado encapsulado é utilizar TADs, pois:
  - **o tipo abstrato armazena o estado**
  - **nenhuma informação de estado é mantida globalmente**
  - **várias instâncias do tipo de dado podem armazenar estados diferentes ao mesmo tempo, sem que uma instância interfira na outra**

TAD para scanner: scannerTAD.h

```
77 /*** Inicia Boilerplate da Interface ***/
78
79 #ifndef _SCANNERTAD_H
80 #define _SCANNERTAD_H
81
82 /*** Includes ***/
83
84 #include "genlib.h"
85
86 /*** Tipos de Dados ***/
87
88 /**
89  * TIPO: scannerTAD
90  * ----------------
91  * Este é um tipo abstrato de dado utilizado para representar uma instância
92  * individual de um sanner. Como qualquer outro TAD, os detalhes da estrutura
93  * interna estão ocultos do cliente.
94  */
95
96 typedef struct scannerTCD *scannerTAD;
97
```

TAD para scanner: scannerTAD.h

```
101 /**
102  * FUNÇÃO: crar_scanner
103  * Uso: scanner = criar_scanner( );
104  * ------------------------------
105  * Esta função cria uma nova instância de um scanner. Todos os outros
106  * subprogramas desta interface receberão o scanner criado como argumento,
107  * para identificar qual instância particular do scanner o cliente está
108  * utilizando. Isso permite que um mesmo cliente utilize simultaneamente
109  * diversos scanners ao mesmo tempo.
110  */
111
112 scannerTAD criar_scanner (void);
113
```

TAD para scanner: scannerTAD.h

```
114 /**
115  * PROCEDIMENTO: remover_scanner
116  * Uso: remover_scanner(&scanner);
117  * ------------------------------;
118  * Este procedimento remove uma instância de um scanner e libera todas as
119  * estruturas de memória associadas a ele. Note que este procedimento precisa
120  * receber um PONTEIRO para um scanner.
121  */
122
123 void remover_scanner(scannerTAD *scanner);
```

TAD para scanner: scannerTAD.h

```
125 /**
126  * PROCEDIMENTO: ler_string
127  * Uso: ler_string(scanner, str);
128  * ------------------------------
129  * Este procedimento inicializa a instância do scanner e faz com que essa
130  * instância receba uma string (str) a ser processada para a extração dos
131  * tokens.
132  */
133
134 void ler_string (scannerTAD scanner, string str);
```

TAD para scanner: scannerTAD.h

```
136 /**
137  * FUNÇÃO: obter_token
138  * Uso: token = obter_token(scanner);
139  * ----------------------------------
140  * Esta função retorna o próximo token lido pelo scanner. Se não houver mais
141  * nenhum token disponível, é retornada a string vazia "". O token retornado
142  * por esta função é sempre alocado na Heap, o que significa que os clientes
143  * devem liberar os tokens quando eles não forem mais necessários.
144  */
145
146 string obter_token (scannerTAD scanner);
```

TAD para scanner: scannerTAD.h

```
148 /**
149  * PROCEDIMENTO: liberar_token
150  * Uso: liberar_token(&token);
151  * --------------------------
152  * Este procedimento recebe um PONTEIRO para um token armazenado na Heap e
153  * libera essa área de memória.
154  */
155
156 void liberar_token (string *token);
```

TAD para scanner: scannerTAD.h

```
158 /**
159  * PREDICADO: existe_outro_token
160  * Uso: if (existe_outro_token( )) . . .
161  * -------------------------------------
162  * Este predicado retorna TRUE enquanto existirem tokens adicionais para o
163  * scanner ler e retornar.
164  */
165
166 bool existe_outro_token (scannerTAD scanner);
167
168 /**
169  * PROCEDIMENTO: salvar_token
170  * Uso: salvar_token(scanner, token);
171  * ----------------------------------
172  * Este procedimento armazena o token na estrutura de dados do scanner de tal
173  * forma que, na próxima vez que obter_token for chamado, esse token armazenado
174  * será retornado sem que nenhuma leitura adicional dos caracteres da string
175  * lida pelo scanner.
176  */
177
178 void salvar_token (scannerTAD scanner, string token);
```

TAD para scanner: scannerTAD.h

```
181  * PROCEDIMENTO: configurar_tratamento_de_espacos
182  * Uso: configurar_tratamento_de_espacos(scanner, opcao);
183  * ------------------------------------------------------
184  * Este procedimento controla se o scanner ignorará caracteres em branco ou se
185  * irá considerá-los tokens válidos. Por padrão o scanner trata caractares em
186  * branco (espaços, tabs, etc.) como qualquer outro caractere de pontuação e
187  * retorna tokens para esses caracteres. Em algumas aplicações (parsers,
188  * compiladores, etc.) isso não é desejável. Para fazer com que o scanner
189  * ignore caracteres em branco:
190  *
191  *     configurar_tratamento_de_espacos(scanner, 1);
192  *
193  * Para fazer com que o scanner volte a considerar os espaços em branco como
194  * tokens válidos, faça:
195  *
196  *     configurar_tratamento_de_espacos(scanner, 0);
197  *
198  * As opções para o controle do tratamento de espaços são representadas por

213 void configurar_tratamento_de_espacos (scannerTAD scanner, int opcao);
```

TAD para scanner: scannerTAD.h

```
215 /**
216  * FUNÇÃO: obter_tratamento_de_espacos
217  * Uso: opcao = obter_tratamento_de_espacos(scanner);
218  * ------------------------------------------------
219  * Esta função retorna a opção atual de tratamento de espaços configurada para o
220  * scanner.
221  */
222
223 int obter_tratamento_de_espacos (scannerTAD scanner);
224
225 /*** Finaliza Boilerplate da Interface ***/
226
227 #endif
```

TAD para scanner: scannerTAD.c

```
21 /*** Includes ***/
22
23 #include <ctype.h>
24 #include "genlib.h"
25 #include "scannerTAD.h"
26 #include <stdio.h>
27 #include <stdlib.h>
28 #include "strlib.h"
29
30 /*** Declarações de Subprogramas Privados ***/
31
32 static void pular_espacos (scannerTAD scanner);
33 static int achar_final_do_token (scannerTAD scanner);
34
```

TAD para scanner: scannerTAD.c

```
37 /**
38  * TIPO: scannerTCD
39  * ----------------
40  * Esta struct é a representação contreta do tipo abstrato scannerTAD, exportado
41  * pela interface. O objetivo deste tipo de dado é manter o estado do scanner
42  * entre as chamadas ao scanner. Os membros da sturct são:
43  *
44  *     str               -- cópia da string passada ao scanner
45  *     tam               -- tamanho da string
46  *     pa                -- posição do caractere atual na string
47  *     token_salvo       -- token salvo pelo cliente (NULL se não houver)
48  *     opcao_de_espacos  -- opção para ignorar/considerar espaços como tokens
49  */
50
51 struct scannerTCD
52 {
53     string str;
54     int tam;
55     int pa;
56     string token_salvo;
57     int opcao_de_espacos;
58 };
```

TAD para scanner: scannerTAD.c

```
62 /**
63  * FUNÇÃO: criar_scanner
64  * Uso: scanner = criar_scanner( );
65  * ------------------------------
66  * Cria uma instância do scanner. Retorna NULL se erro.
67  */
68
69 scannerTAD criar_scanner (void)
70 {
71     scannerTAD S = malloc(sizeof(struct scannerTCD));
72     if (S == NULL)
73     {
74         fprintf(stderr, "Erro: impossível criar o scanner.\n");
75         return NULL;
76     }
77     S->str = NULL;
78     S->tam = 0;
79     S->pa = 0;
80     S->token_salvo = NULL;
81     S->opcao_de_espacos = 0;
82     return S;
83 }
```

TAD para scanner: scannerTAD.c

```
 85 /**
 86  * PROCEDIMENTO: remover_scanner
 87  * Uso: remover_scanner(&scanner);
 88  * ------------------------------
 89  * Recebe um PONTEIRO para um scannerTAD (um ponteiro para ponteiro para
 90  * scannerTCD) e libera todas as estruturas de memória alocadas.
 91  */
 92
 93 void remover_scanner(scannerTAD *scanner)
 94 {
 95     if (*scanner != NULL)
 96     {
 97         free((*scanner)->str);
 98         free((*scanner)->token_salvo);
 99         free(*scanner);
100         *scanner = NULL;
101     }
102 }
```

TAD para scanner: scannerTAD.c

```
104 /**
105  * PROCEDIMENTO: ler_string
106  * Uso: ler_string(scanner, str);
107  * ------------------------------
108  * Aloca a string str para o scannerTAD scanner, fazendo uso das funções da
109  * biblioteca CSLIB, e "zerando" a condição inicial do scanner (exceto a
110  * opção de tratamento de espaços).
111  *
112  * A alocação da string passada pelo usuário é feita através da função
113  * CopyString, para preservar a separação entre o cliente e a implementação.
114  * Como a implementação não tem nenhum controle sobre o quê o usuário passará
115  * como string, para evitar receber um ponteiro para str (que pode ser alterado
116  * pelo usuário a qualquer momento) fazemos uma cópia da string. Nesse caso o
117  * usuário pode alterar a string original, sem causar efeito no scanner (nesse
118  * caso, se o usuário alterar a string original, será forçado a passar a nova
119  * string para o scanner).
120  */
121
122 void ler_string (scannerTAD scanner, string str)
123 {
124     if (scanner == NULL)
125     {
126         fprintf(stderr, "Erro: impossível atribuir string a scanner NULL.\n");
127         exit(1);
128     }
129
130     if (scanner->str != NULL)
131     {
132         free(scanner->str);
133         if (scanner->token_salvo != NULL)
134             free(scanner->token_salvo);
135     }
136
137     scanner->str = CopyString(str);
138     scanner->tam = StringLength(str);
139     scanner->pa = 0;
140     scanner->token_salvo = NULL;
141 }
```

TAD para scanner: scannerTAD.c

```
/**
 * FUNÇÃO: obter_token
 * Uso: token = obter_token(scanner);
 * ----------------------------------
 * Retorna o próximo token da string armazenada no scannerTAD. Se já houver um
 * token salvo, retorna o token salvo. Se não houver mais nenhum token a ser
 * lido, retorna a string vazia.
 *
 * No caso da função retornar a string vazia, também é utilizada a função
 * CopyString. Por quê? Por dois motivos principais:
 *
 *     1. Proteger a implementação de clientes descuidados ou maliciosos.
 *        Retornar um ponteiro para memória alocada em seu próprio domínio
 *        é uma falha de segurança pois permite ao cliente sobrescrever o
 *        valor apontado por esse ponteiro.
 *
 *     2. Para permitir que o cliente passar utilizar o procedimento
 *        liberar_token em qualquer token retornado por esta função. Note que
 *        esta função utilizar a SubString para retornar um token, e essa função
 *        sempre aloca um novo espaço de armazenamento (fora do domínio desta
 *        implementação). Alocando um espaço também para a string vazia
 *        garantimos que TODOS os tokens que podem ser retornados por esta
 *        função estão alocados da mesma maneira e podem ser liberados da mesma
 *        maneira (com a função liberar_token).
 *
 */
```

```
string obter_token (scannerTAD scanner)
{
    char c;
    string token;
    int inicio, fim;

    if (scanner == NULL)
    {
        fprintf(stderr, "Erro: lendo token de scanner NULL.\n");
        exit(1);
    }
    else if (scanner->str == NULL)
    {
        fprintf(stderr, "Erro: scanner não recebeu linha.\n");
        exit(1);
    }
    else if (scanner->token_salvo != NULL)
    {
        token = scanner->token_salvo;
        scanner->token_salvo = NULL;
        return token;
    }

    if (scanner->opcao_de_espacos == 1)
        pular_espacos(scanner);

    inicio = fim = scanner->pa;
    if (inicio >= scanner->tam)
        return CopyString("");

    c = scanner->str[scanner->pa];
    if (isalnum(c))
        fim = achar_final_do_token(scanner);
    else
        scanner->pa++;

    return SubString(scanner->str, inicio, fim);
}
```

TAD para scanner: scannerTAD.c

```
209 /**
210  * PROCEDIMENTO: liberar_token
211  * Uso: liberar_token(&token);
212  * --------------------------
213  * Este procedimento recebe um PONTEIRO para um token (um ponteiro para um
214  * ponteiro para char) e libera a memória alocada para o token.
215  */
216
217 void liberar_token (string *token)
218 {
219     if (*token != NULL)
220     {
221         free(*token);
222         *token = NULL;
223     }
224 }
```

TAD para scanner: scannerTAD.c

```
226 /**
227  * PREDICADO: existe_outro_token
228  * Uso: if (existe_outro_token( )) . . .
229  * -------------------------------------
230  * Retorna TRUE se ainda houver algum token para ser retornado.
231  */
232
233 bool existe_outro_token (scannerTAD scanner)
234 {
235     if (scanner == NULL)
236     {
237         fprintf(stderr, "Erro: scanner NULL.\n");
238         exit(1);
239     }
240     else if (scanner->str == NULL)
241     {
242         fprintf(stderr, "Erro: scanner não recebeu linha.\n");
243         exit(1);
244     }
245
246     if (scanner->token_salvo != NULL)
247         return (!StringEqual(scanner->token_salvo, ""));
248
249     if (scanner->opcao_de_espacos == 1)
250         pular_espacos(scanner);
251
252     return (scanner->pa < scanner->tam);
253 }
```

TAD para scanner: scannerTAD.c

```
255 /**
256  * PROCEDIMENTO: salvar_token
257  * Uso: salvar_token(scanner, token);
258  * ----------------------------------
259  */
260
261 void salvar_token (scannerTAD scanner, string token)
262 {
263     if (scanner == NULL)
264     {
265         fprintf(stderr, "Erro: scanner NULL.\n");
266         exit(1);
267     }
268     else if (scanner->str == NULL)
269     {
270         fprintf(stderr, "Erro: scanner não recebeu linha.\n");
271         exit(1);
272     }
273     else if (scanner->token_salvo != NULL)
274     {
275         fprintf(stderr, "Erro: já existe um token salvo.\n");
276         exit(1);
277     }
278
279     scanner->token_salvo = token;
280 }
```

TAD para scanner: scannerTAD.c

```
282 /**
283  * PROCEDIMENTO: configurar_tratamento_de_espacos
284  * Uso: configurar_tratamento_de_espacos(scanner, opcao);
285  * ------------------------------------------------------
286  * As opções para o controle do tratamento de espaços são representadas por
287  * números inteiros:
288  *
289  *     0 = considerar os espaços em branco como tokens
290  *     1 = ignorar os espaços em branco
291
292  * Atenção: qualquer valor diferente de 0 ou 1 é entendido como inválido e,
293  * nesse caso, o scanner volta para seu comportamento padrão (considerar os
294  * espaços como tokens válidos).
295  */
296
297 void configurar_tratamento_de_espacos (scannerTAD scanner, int opcao)
298 {
299     if (scanner == NULL)
300     {
301         fprintf(stderr, "Erro: scanner NULL.\n");
302         exit(1);
303     }
304
305     if (opcao == 1)
306         scanner->opcao_de_espacos = 1;
307     else
308         scanner->opcao_de_espacos = 0;
309 }
```

TAD para scanner: scannerTAD.c

```
311 /**
312  * FUNÇÃO: obter_tratamento_de_espacos
313  * Uso: opcao = obter_tratamento_de_espacos(scanner);
314  * ------------------------------------------------
315  */
316
317 int obter_tratamento_de_espacos (scannerTAD scanner)
318 {
319     if (scanner == NULL)
320     {
321         fprintf(stderr, "Erro: scanner NULL.\n");
322         exit(1);
323     }
324
325     return scanner->opcao_de_espacos;
326 }
```

TAD para scanner: scannerTAD.c

```
328 /*** Definições de Subprogramas Privados ***/
329
330 /**
331  * PROCEDIMENTO: pular_espacos
332  * Uso: pular_espacos(scanner);
333  * ----------------------------
334  * Este procedimento "pula" os espaços em branco em uma string, avançando a
335  * posição atual até que ela não esteja sob um caractere brano.
336  */
337
338 static void pular_espacos (scannerTAD scanner)
339 {
340     while (isspace(scanner->str[scanner->pa]))
341         scanner->pa++;
342 }
```

TAD para scanner: scannerTAD.c

```
344 /**
345  * FUNÇÃO: achar_final_do_token
346  * Uso: final = achar_final_do_token(scanner);
347  * ------------------------------------------
348  * Esta função avança a posição atual do scanner até que ela alcance o final de
349  * uma seqüência de letras ou dígitos que forma um identificador (token). O
350  * valore de retorno é a posição (índice) do último caractere no identificador;
351  * o valor da posição atual que ficará no scanner será o primeio caractere
352  * posterior ao retorno.
353  */
354
355 static int achar_final_do_token (scannerTAD scanner)
356 {
357     while (isalnum(scanner->str[scanner->pa]))
358         scanner->pa++;
359
360     return (scanner->pa - 1);
361 }
```

TAD para scanner: cliente

```
34      // Frases sem acentuação, nosso scanner não lida bem com isso!
35      string frase0 = "Este e um teste!";
36      string frase1 = "o rato roeu a roupo do rei de roma.";
37      string frase2 = "THE DESIGN OF THE UNIX OPERATING SYSTEM.";
38
39      // Iniciar scanners para ler as frases:
40      scannerTAD scanner0 = criar_scanner();
41      ler_string(scanner0, frase0);
42
43      scannerTAD scanner1 = criar_scanner();
44      ler_string(scanner1, frase1);
45
46      scannerTAD scanner2 = criar_scanner();
47      configurar_tratamento_de_espacos(scanner2, 1);
48      ler_string(scanner2, frase2);
49
50      // Token obtido:
51      string token;
52
```

TAD para scanner: cliente

```
53      // Imprimir os tokens:
54      printf("Frase 0: %s\n", frase0);
55      for (int i = 0; i < 8; i++)
56      {
57          token = obter_token(scanner0);
58          printf("   Token: %s\n", token);
59          liberar_token(&token);
60      }
61      printf("\n");
62
63      printf("Frase 1: %s\n", frase1);
64      for (int i = 0; i < 3; i++)
65      {
66          token = obter_token(scanner1);
67          printf("   Token: %s\n", token);
68          liberar_token(&token);
69      }
70      printf("\n");
71
72      printf("Frase 2: %s\n", frase2);
73      for (int i = 0; i < 3; i++)
74      {
75          token = obter_token(scanner2);
76          printf("   Token: %s\n", token);
77          liberar_token(&token);
78      }
79      printf("\n");
80
```

```
81      printf("Frase 1: %s\n", frase1);
82      for (int i = 0; i < 3; i++)
83      {
84          token = obter_token(scanner1);
85          printf("   Token: %s\n", token);
86          liberar_token(&token);
87      }
88      printf("\n");
89
90      printf("Frase 2: %s\n", frase2);
91      for (int i = 0; i < 3; i++)
92      {
93          token = obter_token(scanner2);
94          printf("   Token: %s\n", token);
95          liberar_token(&token);
96      }
97      printf("\n");
98
99      // Remover os scanners:
100     remover_scanner(&scanner0);
101     remover_scanner(&scanner1);
102     remover_scanner(&scanner2);
103 }
```

TAD para scanner: cliente

```
[abrantesasf@ideapad ~/ed1/cap08]$ ./scanner_nao_encapsulado
Frase 0: Este e um teste!
   Token: Este
   Token:
   Token: e
   Token:
   Token: um
   Token:
   Token: teste
   Token: !

Frase 1: o rato roeu a roupo do rei de roma.
   Token: o
   Token:
   Token: rato

Frase 2: THE DESIGN OF THE UNIX OPERATING SYSTEM.
   Token: THE
   Token: DESIGN
   Token: OF

Frase 1: o rato roeu a roupo do rei de roma.
   Token:
   Token: roeu
   Token:

Frase 2: THE DESIGN OF THE UNIX OPERATING SYSTEM.
   Token: THE
   Token: UNIX
   Token: OPERATING
```

Em resumo

- Diferença entre TCD e TAD
- Estruturas de dados
- TADs x Estruturas de Dados
- TADs x Estado Encapsulado
- TAD Stack
  - genérica (void *) x não genérica
- TAD Scanner
  - Obter tokens (importante para compiladores!)