

MC-202

Aplicações de Pilhas

Lehilton Pedrosa
lehilton@ic.unicamp.br

Universidade Estadual de Campinas

Segundo semestre de 2024

Exercício

Temos uma expressão aritmética e queremos saber se os parênteses estão balanceados

Exercício

Temos uma expressão aritmética e queremos saber se os parênteses estão balanceados

- Exemplos corretos:

Exercício

Temos uma expressão aritmética e queremos saber se os parênteses estão balanceados

- Exemplos corretos:

$$- (a + b)$$

Exercício

Temos uma expressão aritmética e queremos saber se os parênteses estão balanceados

- Exemplos corretos:
 - $(a + b)$
 - $(a * b) + (c / (d - e))$

Exercício

Temos uma expressão aritmética e queremos saber se os parênteses estão balanceados

- Exemplos corretos:
 - $(a + b)$
 - $(a * b) + (c / (d - e))$
- Exemplos incorretos:

Exercício

Temos uma expressão aritmética e queremos saber se os parênteses estão balanceados

- Exemplos corretos:
 - $(a + b)$
 - $(a * b) + (c / (d - e))$
- Exemplos incorretos:
 - $(a + b$

Exercício

Temos uma expressão aritmética e queremos saber se os parênteses estão balanceados

- Exemplos corretos:
 - $(a + b)$
 - $(a * b) + (c / (d - e))$
- Exemplos incorretos:
 - $(a + b$
 - $(a * b) + (c / d - e))$

Exercício

Temos uma expressão aritmética e queremos saber se os parênteses estão balanceados

- Exemplos corretos:
 - $(a + b)$
 - $(a * b) + (c / (d - e))$
- Exemplos incorretos:
 - $(a + b$
 - $(a * b) + (c / d - e))$
 - $)a + b($

Exercício

Temos uma expressão aritmética e queremos saber se os parênteses estão balanceados

- Exemplos corretos:
 - $(a + b)$
 - $(a * b) + (c / (d - e))$
- Exemplos incorretos:
 - $(a + b$
 - $(a * b) + (c / d - e))$
 - $)a + b($

Escreva uma função que, dada uma sequência de parênteses, diz se ela é balanceada ou não

Exercício

Temos uma expressão aritmética e queremos saber se os parênteses estão balanceados

- Exemplos corretos:
 - $(a + b)$
 - $(a * b) + (c / (d - e))$
- Exemplos incorretos:
 - $(a + b$
 - $(a * b) + (c / d - e))$
 - $)a + b($

Escreva uma função que, dada uma sequência de parênteses, diz se ela é balanceada ou não

- Vamos ignorar operandos e operadores

Exercício

Temos uma expressão aritmética e queremos saber se os parênteses estão balanceados

- Exemplos corretos:
 - $(a + b)$
 - $(a * b) + (c / (d - e))$
- Exemplos incorretos:
 - $(a + b$
 - $(a * b) + (c / d - e))$
 - $)a + b($

Escreva uma função que, dada uma sequência de parênteses, diz se ela é balanceada ou não

- Vamos ignorar operandos e operadores
- Ex: $()(())$

Solução

```
1 int balanceada(char *s) {
2     int abertos = 0;
3     for(int i = 0; s[i] != '\0'; i++) {
4         if (s[i] == '(')
5             abertos++;
6         else if (s[i] == ')')
7             abertos--;
8         if (abertos < 0)
9             return 0;
10    }
11    return abertos == 0;
12 }
```

Balanceamento de delimitadores

Uma sequência de delimitadores é **balanceada** se for

Balanceamento de delimitadores

Uma sequência de delimitadores é **balanceada** se for

- *vazia*

Balanceamento de delimitadores

Uma sequência de delimitadores é **balanceada** se for

- *vazia*
- ou [*sequência balanceada*]

Balanceamento de delimitadores

Uma sequência de delimitadores é **balanceada** se for

- *vazia*
- ou **[sequência balanceada]**
- ou **(sequência balanceada)**

Balanceamento de delimitadores

Uma sequência de delimitadores é **balanceada** se for

- *vazia*
- ou **[sequência balanceada]**
- ou **(sequência balanceada)**
- ou a concatenação de duas sequências balanceadas

Balanceamento de delimitadores

Uma sequência de delimitadores é **balanceada** se for

- *vazia*
- ou **[sequência balanceada]**
- ou **(sequência balanceada)**
- ou a concatenação de duas sequências balanceadas

Exemplos:

Balanceada

[[]]

([() ([])])

Não Balanceada

([]

[[))

([)]

Balanceamento de delimitadores

Uma sequência de delimitadores é **balanceada** se for

- *vazia*
- ou **[sequência balanceada]**
- ou **(sequência balanceada)**
- ou a concatenação de duas sequências balanceadas

Exemplos:

Balanceada

[[]]

([() ([])])

Não Balanceada

([]

[[))

([)]

Para testar, leia cada símbolo e se:

Balanceamento de delimitadores

Uma sequência de delimitadores é **balanceada** se for

- *vazia*
- ou **[sequência balanceada]**
- ou **(sequência balanceada)**
- ou a concatenação de duas sequências balanceadas

Exemplos:

Balanceada

[[]]

([() ([])])

Não Balanceada

([]

[[))

([)]

Para testar, leia cada símbolo e se:

1. leu **(** ou **[**: empilha o símbolo lido

Balanceamento de delimitadores

Uma sequência de delimitadores é **balanceada** se for

- *vazia*
- ou **[sequência balanceada]**
- ou **(sequência balanceada)**
- ou a concatenação de duas sequências balanceadas

Exemplos:

Balanceada

[[]]

([() ([])])

Não Balanceada

([]

[[))

([)]

Para testar, leia cada símbolo e se:

1. leu **(** ou **[**: empilha o símbolo lido
2. leu **]**: desempilha **[**

Balanceamento de delimitadores

Uma sequência de delimitadores é **balanceada** se for

- *vazia*
- ou **[sequência balanceada]**
- ou **(sequência balanceada)**
- ou a concatenação de duas sequências balanceadas

Exemplos:

Balanceada

[[]]

([() ([])])

Não Balanceada

([]

[[))

([)]

Para testar, leia cada símbolo e se:

1. leu **(** ou **[**: empilha o símbolo lido
2. leu **]**: desempilha **[**
3. leu **)**: desempilha **(**

Implementação em C

```
1 int eh_balanceada(char *str) {
```

Implementação em C

```
1 int eh_balanceada(char *str) {  
2     p_pilha pilha;
```

Implementação em C

```
1 int eh_balanceada(char *str) {  
2     p_pilha pilha;  
3     int i, ok = 1;  
4     char par;
```

Implementação em C

```
1 int eh_balanceada(char *str) {  
2     p_pilha pilha;  
3     int i, ok = 1;  
4     char par;  
5     pilha = criar_pilha();
```

Implementação em C

```
1 int eh_balanceada(char *str) {
2     p_pilha pilha;
3     int i, ok = 1;
4     char par;
5     pilha = criar_pilha();
6     for (i = 0; ok && str[i] != '\0'; i++)
```

Implementação em C

```
1 int eh_balanceada(char *str) {
2     p_pilha pilha;
3     int i, ok = 1;
4     char par;
5     pilha = criar_pilha();
6     for (i = 0; ok && str[i] != '\0'; i++)
7         if (str[i] == '[' || str[i] == '(') {
8             empilhar(pilha, str[i]);
9         }
```

Implementação em C

```
1 int eh_balanceada(char *str) {
2     p_pilha pilha;
3     int i, ok = 1;
4     char par;
5     pilha = criar_pilha();
6     for (i = 0; ok && str[i] != '\0'; i++)
7         if (str[i] == '[' || str[i] == '(') {
8             empilhar(pilha, str[i]);
9         } else if (eh_vazia(pilha)) {
10            ok = 0;
11        }
```

Implementação em C

```
1 int eh_balanceada(char *str) {
2     p_pilha pilha;
3     int i, ok = 1;
4     char par;
5     pilha = criar_pilha();
6     for (i = 0; ok && str[i] != '\0'; i++)
7         if (str[i] == '[' || str[i] == '(') {
8             empilhar(pilha, str[i]);
9         } else if (eh_vazia(pilha)) {
10            ok = 0;
11        } else {
12            par = desempilhar(pilha);
```

Implementação em C

```
1 int eh_balanceada(char *str) {
2     p_pilha pilha;
3     int i, ok = 1;
4     char par;
5     pilha = criar_pilha();
6     for (i = 0; ok && str[i] != '\0'; i++)
7         if (str[i] == '[' || str[i] == '(') {
8             empilhar(pilha, str[i]);
9         } else if (eh_vazia(pilha)) {
10            ok = 0;
11        } else {
12            par = desempilhar(pilha);
13            if (str[i] == ']' && par != '[')
14                ok = 0;
```

Implementação em C

```
1 int eh_balanceada(char *str) {
2     p_pilha pilha;
3     int i, ok = 1;
4     char par;
5     pilha = criar_pilha();
6     for (i = 0; ok && str[i] != '\0'; i++)
7         if (str[i] == '[' || str[i] == '(') {
8             empilhar(pilha, str[i]);
9         } else if (eh_vazia(pilha)) {
10            ok = 0;
11        } else {
12            par = desempilhar(pilha);
13            if (str[i] == ']' && par != '[')
14                ok = 0;
15            if (str[i] == ')' && par != '(')
16                ok = 0;
```

Implementação em C

```
1 int eh_balanceada(char *str) {
2     p_pilha pilha;
3     int i, ok = 1;
4     char par;
5     pilha = criar_pilha();
6     for (i = 0; ok && str[i] != '\0'; i++)
7         if (str[i] == '[' || str[i] == '(') {
8             empilhar(pilha, str[i]);
9         } else if (eh_vazia(pilha)) {
10            ok = 0;
11        } else {
12            par = desempilhar(pilha);
13            if (str[i] == ']' && par != '[')
14                ok = 0;
15            if (str[i] == ')' && par != '(')
16                ok = 0;
17        }
```

Implementação em C

```
1 int eh_balanceada(char *str) {
2     p_pilha pilha;
3     int i, ok = 1;
4     char par;
5     pilha = criar_pilha();
6     for (i = 0; ok && str[i] != '\0'; i++)
7         if (str[i] == '[' || str[i] == '(') {
8             empilhar(pilha, str[i]);
9         } else if (eh_vazia(pilha)) {
10            ok = 0;
11        } else {
12            par = desempilhar(pilha);
13            if (str[i] == ']' && par != '[')
14                ok = 0;
15            if (str[i] == ')' && par != '(')
16                ok = 0;
17        }
18    if (!eh_vazia(pilha))
19        ok = 0;
```

Implementação em C

```
1 int eh_balanceada(char *str) {
2     p_pilha pilha;
3     int i, ok = 1;
4     char par;
5     pilha = criar_pilha();
6     for (i = 0; ok && str[i] != '\0'; i++)
7         if (str[i] == '[' || str[i] == '(') {
8             empilhar(pilha, str[i]);
9         } else if (eh_vazia(pilha)) {
10            ok = 0;
11        } else {
12            par = desempilhar(pilha);
13            if (str[i] == ']' && par != '[')
14                ok = 0;
15            if (str[i] == ')' && par != '(')
16                ok = 0;
17        }
18    if (!eh_vazia(pilha))
19        ok = 0;
20    destruir_pilha(pilha);
}
```

Implementação em C

```
1 int eh_balanceada(char *str) {
2     p_pilha pilha;
3     int i, ok = 1;
4     char par;
5     pilha = criar_pilha();
6     for (i = 0; ok && str[i] != '\0'; i++)
7         if (str[i] == '[' || str[i] == '(') {
8             empilhar(pilha, str[i]);
9         } else if (eh_vazia(pilha)) {
10            ok = 0;
11        } else {
12            par = desempilhar(pilha);
13            if (str[i] == ']' && par != '[')
14                ok = 0;
15            if (str[i] == ')' && par != '(')
16                ok = 0;
17        }
18    if (!eh_vazia(pilha))
19        ok = 0;
20    destruir_pilha(pilha);
21    return ok;
22 }
```

Implementação em C

```
1 int eh_balanceada(char *str) {
2     p_pilha pilha;
3     int i, ok = 1;
4     char par;
5     pilha = criar_pilha();
6     for (i = 0; ok && str[i] != '\0'; i++)
7         if (str[i] == '[' || str[i] == '(') {
8             empilhar(pilha, str[i]);
9         } else if (eh_vazia(pilha)) {
10            ok = 0;
11        } else {
12            par = desempilhar(pilha);
13            if (str[i] == ']' && par != '[')
14                ok = 0;
15            if (str[i] == ')' && par != '(')
16                ok = 0;
17        }
18    if (!eh_vazia(pilha))
19        ok = 0;
20    destruir_pilha(pilha);
21    return ok;
22 }
```

- E se usássemos `return 0` dentro do `for`?

Notação de expressões

Notação de expressões

Notação de expressões

Exemplo 1:

Notação de expressões

Exemplo 1:

- Infixa: $a + b$

Notação de expressões

Exemplo 1:

- Infixa: $a + b$
- Pré-fixa: $+ a b$

Notação de expressões

Exemplo 1:

- Infixa: $a + b$
- Pré-fixa: $+ a b$
- Pós-fixa: $a b +$

Notação de expressões

Exemplo 1:

- Infixa: $a + b$
- Pré-fixa: $+ a b$
- Pós-fixa: $a b +$

Notação de expressões

Exemplo 1:

- Infixa: $a + b$
- Pré-fixa: $+ a b$
- Pós-fixa: $a b +$

Exemplo 2:

Notação de expressões

Exemplo 1:

- Infixa: $a + b$
- Pré-fixa: $+ a b$
- Pós-fixa: $a b +$

Exemplo 2:

- Infixa: $5 * ((9 + 8) * 4 * 6 + 7)$

Notação de expressões

Exemplo 1:

- Infixa: $a + b$
- Pré-fixa: $+ a b$
- Pós-fixa: $a b +$

Exemplo 2:

- Infixa: $5 * ((9 + 8) * 4 * 6 + 7)$
- Pré-fixa: $* 5 + * + 9 8 * 4 6 7$

Notação de expressões

Exemplo 1:

- Infixa: $a + b$
- Pré-fixa: $+ a b$
- Pós-fixa: $a b +$

Exemplo 2:

- Infixa: $5 * ((9 + 8) * 4 * 6 + 7)$
- Pré-fixa: $* 5 + * + 9 8 * 4 6 7$
- Pós-fixa: $5 9 8 + 4 6 * * 7 + *$

Notação de expressões

Exemplo 1:

- Infixa: $a + b$
- Pré-fixa: $+ a b$
- Pós-fixa: $a b +$

Exemplo 2:

- Infixa: $5 * ((9 + 8) * 4 * 6 + 7)$
- Pré-fixa: $* 5 + * + 9 8 * 4 6 7$
- Pós-fixa: $5 9 8 + 4 6 * * 7 + *$

Notação de expressões aritméticas:

Notação de expressões

Exemplo 1:

- Infixa: $a + b$
- Pré-fixa: $+ a b$
- Pós-fixa: $a b +$

Exemplo 2:

- Infixa: $5 * ((9 + 8) * 4 * 6 + 7)$
- Pré-fixa: $* 5 + * + 9 8 * 4 6 7$
- Pós-fixa: $5 9 8 + 4 6 * * 7 + *$

Notação de expressões aritméticas:

1. **Infixa**: é a notação cotidiana

Notação de expressões

Exemplo 1:

- Infixa: $a + b$
- Pré-fixa: $+ a b$
- Pós-fixa: $a b +$

Exemplo 2:

- Infixa: $5 * ((9 + 8) * 4 * 6 + 7)$
- Pré-fixa: $* 5 + * + 9 8 * 4 6 7$
- Pós-fixa: $5 9 8 + 4 6 * * 7 + *$

Notação de expressões aritméticas:

1. **Infixa**: é a notação cotidiana
 - operador **entre** operandos

Notação de expressões

Exemplo 1:

- Infixa: $a + b$
- Pré-fixa: $+ a b$
- Pós-fixa: $a b +$

Exemplo 2:

- Infixa: $5 * ((9 + 8) * 4 * 6 + 7)$
- Pré-fixa: $* 5 + * + 9 8 * 4 6 7$
- Pós-fixa: $5 9 8 + 4 6 * * 7 + *$

Notação de expressões aritméticas:

1. **Infixa**: é a notação cotidiana

- operador **entre** operandos
- precisa de parênteses para evitar ambiguidade

Notação de expressões

Exemplo 1:

- Infixa: $a + b$
- Pré-fixa: $+ a b$
- Pós-fixa: $a b +$

Exemplo 2:

- Infixa: $5 * ((9 + 8) * 4 * 6 + 7)$
- Pré-fixa: $* 5 + * + 9 8 * 4 6 7$
- Pós-fixa: $5 9 8 + 4 6 * * 7 + *$

Notação de expressões aritméticas:

1. **Infixa**: é a notação cotidiana

- operador **entre** operandos
- precisa de parênteses para evitar ambiguidade
- ou requer uma ordem de precedência de operadores

Notação de expressões

Exemplo 1:

- Infixa: $a + b$
- Pré-fixa: $+ a b$
- Pós-fixa: $a b +$

Exemplo 2:

- Infixa: $5 * ((9 + 8) * 4 * 6 + 7)$
- Pré-fixa: $* 5 + * + 9 8 * 4 6 7$
- Pós-fixa: $5 9 8 + 4 6 * * 7 + *$

Notação de expressões aritméticas:

1. **Infixa**: é a notação cotidiana

- operador **entre** operandos
- precisa de parênteses para evitar ambiguidade
- ou requer uma ordem de precedência de operadores

Notação de expressões

Exemplo 1:

- Infixa: $a + b$
- Pré-fixa: $+ a b$
- Pós-fixa: $a b +$

Exemplo 2:

- Infixa: $5 * ((9 + 8) * 4 * 6 + 7)$
- Pré-fixa: $* 5 + * + 9 8 * 4 6 7$
- Pós-fixa: $5 9 8 + 4 6 * * 7 + *$

Notação de expressões aritméticas:

1. **Infixa**: é a notação cotidiana
 - operador **entre** operandos
 - precisa de parênteses para evitar ambiguidade
 - ou requer uma ordem de precedência de operadores
2. **Pré-fixa**: é a notação polonesa do lógico Jan Lukasiewicz

Notação de expressões

Exemplo 1:

- Infixa: $a + b$
- Pré-fixa: $+ a b$
- Pós-fixa: $a b +$

Exemplo 2:

- Infixa: $5 * ((9 + 8) * 4 * 6 + 7)$
- Pré-fixa: $* 5 + * + 9 8 * 4 6 7$
- Pós-fixa: $5 9 8 + 4 6 * * 7 + *$

Notação de expressões aritméticas:

1. **Infixa**: é a notação cotidiana

- operador **entre** operandos
- precisa de parênteses para evitar ambiguidade
- ou requer uma ordem de precedência de operadores

2. **Pré-fixa**: é a notação polonesa do lógico Jan Lukasiewicz

- operador **precede** operandos

Notação de expressões

Exemplo 1:

- Infixa: $a + b$
- Pré-fixa: $+ a b$
- Pós-fixa: $a b +$

Exemplo 2:

- Infixa: $5 * ((9 + 8) * 4 * 6 + 7)$
- Pré-fixa: $* 5 + * + 9 8 * 4 6 7$
- Pós-fixa: $5 9 8 + 4 6 * * 7 + *$

Notação de expressões aritméticas:

1. **Infixa**: é a notação cotidiana

- operador **entre** operandos
- precisa de parênteses para evitar ambiguidade
- ou requer uma ordem de precedência de operadores

2. **Pré-fixa**: é a notação polonesa do lógico Jan Lukasiewicz

- operador **precede** operandos

Notação de expressões

Exemplo 1:

- Infixa: $a + b$
- Pré-fixa: $+ a b$
- Pós-fixa: $a b +$

Exemplo 2:

- Infixa: $5 * ((9 + 8) * 4 * 6 + 7)$
- Pré-fixa: $* 5 + * + 9 8 * 4 6 7$
- Pós-fixa: $5 9 8 + 4 6 * * 7 + *$

Notação de expressões aritméticas:

1. **Infixa**: é a notação cotidiana
 - operador **entre** operandos
 - precisa de parênteses para evitar ambiguidade
 - ou requer uma ordem de precedência de operadores
2. **Pré-fixa**: é a notação polonesa do lógico Jan Lukasiewicz
 - operador **precede** operandos
3. **Pós-fixa**: é notação polonesa reversa (RPN) de calculadoras HP

Notação de expressões

Exemplo 1:

- Infixa: $a + b$
- Pré-fixa: $+ a b$
- Pós-fixa: $a b +$

Exemplo 2:

- Infixa: $5 * ((9 + 8) * 4 * 6 + 7)$
- Pré-fixa: $* 5 + * + 9 8 * 4 6 7$
- Pós-fixa: $5 9 8 + 4 6 * * 7 + *$

Notação de expressões aritméticas:

1. **Infixa**: é a notação cotidiana
 - operador **entre** operandos
 - precisa de parênteses para evitar ambiguidade
 - ou requer uma ordem de precedência de operadores
2. **Pré-fixa**: é a notação polonesa do lógico Jan Lukasiewicz
 - operador **precede** operandos
3. **Pós-fixa**: é notação polonesa reversa (RPN) de calculadoras HP
 - operador **suced**e operandos

Exemplo de cálculo de expressão

- **Infixa:** $2 * ((2 + 1) * 4 + 1) = 26$
- **Pós-fixa:** $2 2 1 + 4 * 1 + *$

Exemplo de cálculo de expressão

- **Infixa:** $2 * ((2 + 1) * 4 + 1) = 26$
- **Pós-fixa:** $2 2 1 + 4 * 1 + *$

Resolvendo com notação infixa:

Exemplo de cálculo de expressão

- **Infixa:** $2 * ((2 + 1) * 4 + 1) = 26$
- **Pós-fixa:** $2 2 1 + 4 * 1 + *$

Resolvendo com notação infixa:

$$2 * ((2 + 1) * 4 + 1)$$

Exemplo de cálculo de expressão

- **Infixa:** $2 * ((2 + 1) * 4 + 1) = 26$
- **Pós-fixa:** $2 2 1 + 4 * 1 + *$

Resolvendo com notação infixa:

$$2 * (3 * 4 + 1)$$

Exemplo de cálculo de expressão

- **Infixa:** $2 * ((2 + 1) * 4 + 1) = 26$
- **Pós-fixa:** $2 2 1 + 4 * 1 + *$

Resolvendo com notação infixa:

$$2 * (12 + 1)$$

Exemplo de cálculo de expressão

- **Infixa:** $2 * ((2 + 1) * 4 + 1) = 26$
- **Pós-fixa:** $2 2 1 + 4 * 1 + *$

Resolvendo com notação infixa:

$$2 * 13$$

Exemplo de cálculo de expressão

- **Infixa:** $2 * ((2 + 1) * 4 + 1) = 26$
- **Pós-fixa:** $2 2 1 + 4 * 1 + *$

Resolvendo com notação infixa:

26

Exemplo de cálculo de expressão

- **Infixa:** $2 * ((2 + 1) * 4 + 1) = 26$
- **Pós-fixa:** $2 2 1 + 4 * 1 + *$

Resolvendo com notação infixa:

26

Resolvendo com notação pós-fixa:

Exemplo de cálculo de expressão

- **Infixa:** $2 * ((2 + 1) * 4 + 1) = 26$
- **Pós-fixa:** $2 2 1 + 4 * 1 + *$

Resolvendo com notação infixa:

26

Resolvendo com notação pós-fixa:

2

Exemplo de cálculo de expressão

- **Infixa:** $2 * ((2 + 1) * 4 + 1) = 26$
- **Pós-fixa:** $2 2 1 + 4 * 1 + *$

Resolvendo com notação infixa:

26

Resolvendo com notação pós-fixa:

2 2

Exemplo de cálculo de expressão

- **Infixa:** $2 * ((2 + 1) * 4 + 1) = 26$
- **Pós-fixa:** $2 2 1 + 4 * 1 + *$

Resolvendo com notação infixa:

26

Resolvendo com notação pós-fixa:

2 2 1

Exemplo de cálculo de expressão

- **Infixa:** $2 * ((2 + 1) * 4 + 1) = 26$
- **Pós-fixa:** $2 2 1 + 4 * 1 + *$

Resolvendo com notação infixa:

26

Resolvendo com notação pós-fixa:

2 2 1 +

Exemplo de cálculo de expressão

- **Infixa:** $2 * ((2 + 1) * 4 + 1) = 26$
- **Pós-fixa:** $2 2 1 + 4 * 1 + *$

Resolvendo com notação infixa:

26

Resolvendo com notação pós-fixa:

2 3

Exemplo de cálculo de expressão

- **Infixa:** $2 * ((2 + 1) * 4 + 1) = 26$
- **Pós-fixa:** $2 2 1 + 4 * 1 + *$

Resolvendo com notação infixa:

26

Resolvendo com notação pós-fixa:

2 3 4

Exemplo de cálculo de expressão

- **Infixa:** $2 * ((2 + 1) * 4 + 1) = 26$
- **Pós-fixa:** $2 2 1 + 4 * 1 + *$

Resolvendo com notação infixa:

26

Resolvendo com notação pós-fixa:

2 3 4 *

Exemplo de cálculo de expressão

- **Infixa:** $2 * ((2 + 1) * 4 + 1) = 26$
- **Pós-fixa:** $2 2 1 + 4 * 1 + *$

Resolvendo com notação infixa:

26

Resolvendo com notação pós-fixa:

2 12

Exemplo de cálculo de expressão

- **Infixa:** $2 * ((2 + 1) * 4 + 1) = 26$
- **Pós-fixa:** $2 2 1 + 4 * 1 + *$

Resolvendo com notação infixa:

26

Resolvendo com notação pós-fixa:

2 12 1

Exemplo de cálculo de expressão

- **Infixa:** $2 * ((2 + 1) * 4 + 1) = 26$
- **Pós-fixa:** $2 2 1 + 4 * 1 + *$

Resolvendo com notação infixa:

26

Resolvendo com notação pós-fixa:

2 12 1 +

Exemplo de cálculo de expressão

- **Infixa:** $2 * ((2 + 1) * 4 + 1) = 26$
- **Pós-fixa:** $2 2 1 + 4 * 1 + *$

Resolvendo com notação infixa:

26

Resolvendo com notação pós-fixa:

2 13

Exemplo de cálculo de expressão

- **Infixa:** $2 * ((2 + 1) * 4 + 1) = 26$
- **Pós-fixa:** $2 2 1 + 4 * 1 + *$

Resolvendo com notação infixa:

26

Resolvendo com notação pós-fixa:

2 13 *

Exemplo de cálculo de expressão

- **Infixa:** $2 * ((2 + 1) * 4 + 1) = 26$
- **Pós-fixa:** $2 2 1 + 4 * 1 + *$

Resolvendo com notação infixa:

26

Resolvendo com notação pós-fixa:

26

Calculando expressões pós-fixas

Algoritmo:

Calculando expressões pós-fixas

Algoritmo:

1. Para cada elemento lido:

Calculando expressões pós-fixas

Algoritmo:

1. Para cada elemento lido:
 - Se for número n :

Calculando expressões pós-fixas

Algoritmo:

1. Para cada elemento lido:
 - Se for número n :
 - empilha n

Calculando expressões pós-fixas

Algoritmo:

1. Para cada elemento lido:
 - Se for número n :
 - empilha n
 - Se for operador \oplus :

Calculando expressões pós-fixas

Algoritmo:

1. Para cada elemento lido:
 - Se for número n :
 - empilha n
 - Se for operador \oplus :
 - desempilha $operando_1$

Calculando expressões pós-fixas

Algoritmo:

1. Para cada elemento lido:
 - Se for número n :
 - empilha n
 - Se for operador \oplus :
 - desempilha $operando_1$
 - desempilha $operando_2$

Calculando expressões pós-fixas

Algoritmo:

1. Para cada elemento lido:

– Se for número n :

– empilha n

– Se for operador \oplus :

– desempilha $operando_1$

– desempilha $operando_2$

– empilha $operando_2 \oplus operando_1$

Calculando expressões pós-fixas

Algoritmo:

1. Para cada elemento lido:
 - Se for número n :
 - empilha n
 - Se for operador \oplus :
 - desempilha $operando_1$
 - desempilha $operando_2$
 - empilha $operando_2 \oplus operando_1$
2. Desempilha (único) valor da pilha e retorna

Convertendo de infixa para pós-fixa

Objetivo:

1 + 2 * 3 / 4 * 5 - 6 \Rightarrow 1 2 3 * 4 / 5 * + 6 -

Convertendo de infixa para pós-fixa

Objetivo:

1 + 2 * 3 / 4 * 5 - 6 \Rightarrow 1 2 3 * 4 / 5 * + 6 -

Ideia:

Convertendo de infixa para pós-fixa

Objetivo:

1 + 2 * 3 / 4 * 5 - 6 \Rightarrow 1 2 3 * 4 / 5 * + 6 -

Ideia:

- Copiamos os números diretamente na saída

Convertendo de infixa para pós-fixa

Objetivo:

1 + 2 * 3 / 4 * 5 - 6 \Rightarrow 1 2 3 * 4 / 5 * + 6 -

Ideia:

- Copiamos os números diretamente na saída
- Quando aparece um operador na entrada

Convertendo de infixa para pós-fixa

Objetivo:

1 + 2 * 3 / 4 * 5 - 6 \Rightarrow 1 2 3 * 4 / 5 * + 6 -

Ideia:

- Copiamos os números diretamente na saída
- Quando aparece um operador na entrada
 - enquanto o operador no topo tem precedência maior ou igual ao operador na entrada

Convertendo de infixa para pós-fixa

Objetivo:

1 + 2 * 3 / 4 * 5 - 6 \Rightarrow 1 2 3 * 4 / 5 * + 6 -

Ideia:

- Copiamos os números diretamente na saída
- Quando aparece um operador na entrada
 - enquanto o operador no topo tem precedência maior ou igual ao operador na entrada
 - desempilhamos e copiamos na saída

Convertendo de infixa para pós-fixa

Objetivo:

1 + 2 * 3 / 4 * 5 - 6 \Rightarrow 1 2 3 * 4 / 5 * + 6 -

Ideia:

- Copiamos os números diretamente na saída
- Quando aparece um operador na entrada
 - enquanto o operador no topo tem precedência maior ou igual ao operador na entrada
 - desempilhamos e copiamos na saída
 - empilhamos o operador novo

Convertendo de infixa para pós-fixa

Objetivo:

1 + 2 * 3 / 4 * 5 - 6 \Rightarrow 1 2 3 * 4 / 5 * + 6 -

Ideia:

- Copiamos os números diretamente na saída
- Quando aparece um operador na entrada
 - enquanto o operador no topo tem precedência maior ou igual ao operador na entrada
 - desempilhamos e copiamos na saída
 - empilhamos o operador novo
- No final, desempilhamos todos os elementos da pilha, copiando para a saída

Convertendo de infixa para pós-fixa

Objetivo:

1 + 2 * 3 / 4 * 5 - 6 \Rightarrow 1 2 3 * 4 / 5 * + 6 -

Ideia:

- Copiamos os números diretamente na saída
- Quando aparece um operador na entrada
 - enquanto o operador no topo tem precedência maior ou igual ao operador na entrada
 - desempilhamos e copiamos na saída
 - empilhamos o operador novo
- No final, desempilhamos todos os elementos da pilha, copiando para a saída

Observações:

Convertendo de infixa para pós-fixa

Objetivo:

1 + 2 * 3 / 4 * 5 - 6 \Rightarrow 1 2 3 * 4 / 5 * + 6 -

Ideia:

- Copiamos os números diretamente na saída
- Quando aparece um operador na entrada
 - enquanto o operador no topo tem precedência maior ou igual ao operador na entrada
 - desempilhamos e copiamos na saída
 - empilhamos o operador novo
- No final, desempilhamos todos os elementos da pilha, copiando para a saída

Observações:

- Usamos uma nova operação: “olhar topo da pilha”.

Convertendo de infixa para pós-fixa

Objetivo:

$1 + 2 * 3 / 4 * 5 - 6 \Rightarrow 1 2 3 * 4 / 5 * + 6 -$

Ideia:

- Copiamos os números diretamente na saída
- Quando aparece um operador na entrada
 - enquanto o operador no topo tem precedência maior ou igual ao operador na entrada
 - desempilhamos e copiamos na saída
 - empilhamos o operador novo
- No final, desempilhamos todos os elementos da pilha, copiando para a saída

Observações:

- Usamos uma nova operação: “olhar topo da pilha”.
 - É possível fazer sem?

Convertendo de infixa para pós-fixa

Objetivo:

1 + 2 * 3 / 4 * 5 - 6 \Rightarrow 1 2 3 * 4 / 5 * + 6 -

Ideia:

- Copiamos os números diretamente na saída
- Quando aparece um operador na entrada
 - enquanto o operador no topo tem precedência maior ou igual ao operador na entrada
 - desempilhamos e copiamos na saída
 - empilhamos o operador novo
- No final, desempilhamos todos os elementos da pilha, copiando para a saída

Observações:

- Usamos uma nova operação: “olhar topo da pilha”.
 - É possível fazer sem?
- Como generalizar para o caso em que a expressão tem parênteses?

Pilhas e recursão

Pergunta: Qual a relação entre *pilhas* e *recursão*?

Pilhas e recursão

Pergunta: Qual a relação entre *pilhas* e *recursão*?

```
1 int fat(int n) {
2     int ret, ant;
3     if (n == 0)
4         ret = 1;
5     else {
6         ant = fat(n - 1);
7         ret = n * ant;
8     }
9     return ret;
10 }
```

Pilhas e recursão

Pergunta: Qual a relação entre *pilhas* e *recursão*?

```
1 int fat(int n) {
2     int ret, ant;
3     if (n == 0)
4         ret = 1;
5     else {
6         ant = fat(n - 1);
7         ret = n * ant;
8     }
9     return ret;
10 }
```

Vamos tentar descobrir simulando uma chamada: **fat(4)**

Pilha de Chamadas

Estado da “pilha” de chamadas para `fat(4)`:

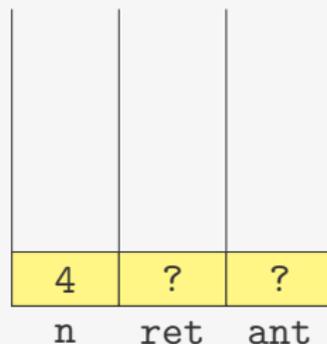
```
1 int fat(int n) {  
2     int ret, ant;  
3     if (n == 0)  
4         ret = 1;  
5     else {  
6         ant = fat(n - 1);  
7         ret = n * ant;  
8     }  
9     return ret;  
10 }
```



Pilha de Chamadas

Estado da “pilha” de chamadas para `fat(4)`:

```
1 int fat(int n) {  
2     int ret, ant;  
3     if (n == 0)  
4         ret = 1;  
5     else {  
6         ant = fat(n - 1);  
7         ret = n * ant;  
8     }  
9     return ret;  
10 }
```



Pilha de Chamadas

Estado da “pilha” de chamadas para `fat(4)`:

```
1 int fat(int n) {  
2   int ret, ant;  
3   if (n == 0)  
4     ret = 1;  
5   else {  
6     ant = fat(n - 1);  
7     ret = n * ant;  
8   }  
9   return ret;  
10 }
```

3	?	?
4	?	?
n	ret	ant

Pilha de Chamadas

Estado da “pilha” de chamadas para `fat(4)`:

```
1 int fat(int n) {  
2     int ret, ant;  
3     if (n == 0)  
4         ret = 1;  
5     else {  
6         ant = fat(n - 1);  
7         ret = n * ant;  
8     }  
9     return ret;  
10 }
```

2	?	?
3	?	?
4	?	?
n	ret	ant

Pilha de Chamadas

Estado da “pilha” de chamadas para `fat(4)`:

```
1 int fat(int n) {
2   int ret, ant;
3   if (n == 0)
4     ret = 1;
5   else {
6     ant = fat(n - 1);
7     ret = n * ant;
8   }
9   return ret;
10 }
```

	1	?	?
	2	?	?
	3	?	?
	4	?	?
	n	ret	ant

Pilha de Chamadas

Estado da “pilha” de chamadas para `fat(4)`:

```
1 int fat(int n) {  
2   int ret, ant;  
3   if (n == 0)  
4     ret = 1;  
5   else {  
6     ant = fat(n - 1);  
7     ret = n * ant;  
8   }  
9   return ret;  
10 }
```

0	?	?
1	?	?
2	?	?
3	?	?
4	?	?
n	ret	ant

Pilha de Chamadas

Estado da “pilha” de chamadas para `fat(4)`:

```
1 int fat(int n) {
2   int ret, ant;
3   if (n == 0)
4     ret = 1;
5   else {
6     ant = fat(n - 1);
7     ret = n * ant;
8   }
9   return ret;
10 }
```

0	1	?
1	?	?
2	?	?
3	?	?
4	?	?
n	ret	ant

Pilha de Chamadas

Estado da “pilha” de chamadas para `fat(4)`:

```
1 int fat(int n) {
2   int ret, ant;
3   if (n == 0)
4     ret = 1;
5   else {
6     ant = fat(n - 1);
7     ret = n * ant;
8   }
9   return ret;
10 }
```

0	1	?
1	?	?
2	?	?
3	?	?
4	?	?
n	ret	ant

Pilha de Chamadas

Estado da “pilha” de chamadas para `fat(4)`:

```
1 int fat(int n) {  
2   int ret, ant;  
3   if (n == 0)  
4     ret = 1;  
5   else {  
6     ant = fat(n - 1);  
7     ret = n * ant;  
8   }  
9   return ret;  
10 }
```

1	?	1
2	?	?
3	?	?
4	?	?
n	ret	ant

Pilha de Chamadas

Estado da “pilha” de chamadas para `fat(4)`:

```
1 int fat(int n) {  
2   int ret, ant;  
3   if (n == 0)  
4     ret = 1;  
5   else {  
6     ant = fat(n - 1);  
7     ret = n * ant;  
8   }  
9   return ret;  
10 }
```

	1	1	1
	2	?	?
	3	?	?
	4	?	?
	n	ret	ant

Pilha de Chamadas

Estado da “pilha” de chamadas para `fat(4)`:

```
1 int fat(int n) {  
2     int ret, ant;  
3     if (n == 0)  
4         ret = 1;  
5     else {  
6         ant = fat(n - 1);  
7         ret = n * ant;  
8     }  
9     return ret;  
10 }
```

2	?	1
3	?	?
4	?	?
n	ret	ant

Pilha de Chamadas

Estado da “pilha” de chamadas para `fat(4)`:

```
1 int fat(int n) {  
2   int ret, ant;  
3   if (n == 0)  
4     ret = 1;  
5   else {  
6     ant = fat(n - 1);  
7     ret = n * ant;  
8   }  
9   return ret;  
10 }
```

2	2	1
3	?	?
4	?	?
n	ret	ant

Pilha de Chamadas

Estado da “pilha” de chamadas para `fat(4)`:

```
1 int fat(int n) {
2   int ret, ant;
3   if (n == 0)
4     ret = 1;
5   else {
6     ant = fat(n - 1);
7     ret = n * ant;
8   }
9   return ret;
10 }
```

3	?	2
4	?	?
n	ret	ant

Pilha de Chamadas

Estado da “pilha” de chamadas para `fat(4)`:

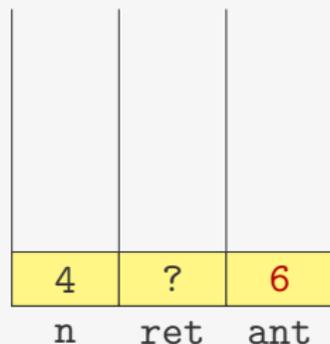
```
1 int fat(int n) {  
2     int ret, ant;  
3     if (n == 0)  
4         ret = 1;  
5     else {  
6         ant = fat(n - 1);  
7         ret = n * ant;  
8     }  
9     return ret;  
10 }
```

3	6	2
4	?	?
n	ret	ant

Pilha de Chamadas

Estado da “pilha” de chamadas para `fat(4)`:

```
1 int fat(int n) {  
2     int ret, ant;  
3     if (n == 0)  
4         ret = 1;  
5     else {  
6         ant = fat(n - 1);  
7         ret = n * ant;  
8     }  
9     return ret;  
10 }
```



Pilha de Chamadas

Estado da “pilha” de chamadas para `fat(4)`:

```
1 int fat(int n) {
2   int ret, ant;
3   if (n == 0)
4     ret = 1;
5   else {
6     ant = fat(n - 1);
7     ret = n * ant;
8   }
9   return ret;
10 }
```

4	24	6
n	ret	ant

Pilhas e recursão (continuando)

Quando empilhamos:

Pilhas e recursão (continuando)

Quando empilhamos:

- Alocamos espaço para as variáveis locais (**n**, **ret**, **ant**)

Pilhas e recursão (continuando)

Quando empilhamos:

- Alocamos espaço para as variáveis locais (**n**, **ret**, **ant**)

Quando desempilhamos:

Pilhas e recursão (continuando)

Quando empilhamos:

- Alocamos espaço para as variáveis locais (**n**, **ret**, **ant**)

Quando desempilhamos:

- Quando a chamada de **fat(n)** retorna, apagamos o espaço para as variáveis locais

Pilhas e recursão (continuando)

Quando empilhamos:

- Alocamos espaço para as variáveis locais (`n`, `ret`, `ant`)

Quando desempilhamos:

- Quando a chamada de `fat(n)` retorna, apagamos o espaço para as variáveis locais
- Restabelecemos os valores das variáveis locais para o valor que tinham antes da chamada

Pilhas e recursão (continuando)

Quando empilhamos:

- Alocamos espaço para as variáveis locais (**n**, **ret**, **ant**)

Quando desempilhamos:

- Quando a chamada de **fat(n)** retorna, apagamos o espaço para as variáveis locais
- Restabelecemos os valores das variáveis locais para o valor que tinham antes da chamada

O conjunto de variáveis locais formam um elemento da pilha

Pilhas e recursão (continuando)

Quando empilhamos:

- Alocamos espaço para as variáveis locais (`n`, `ret`, `ant`)

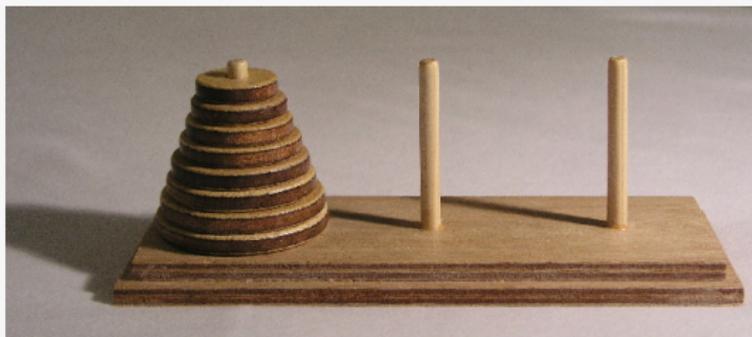
Quando desempilhamos:

- Quando a chamada de `fat(n)` retorna, apagamos o espaço para as variáveis locais
- Restabelecemos os valores das variáveis locais para o valor que tinham antes da chamada

O conjunto de variáveis locais formam um elemento da pilha

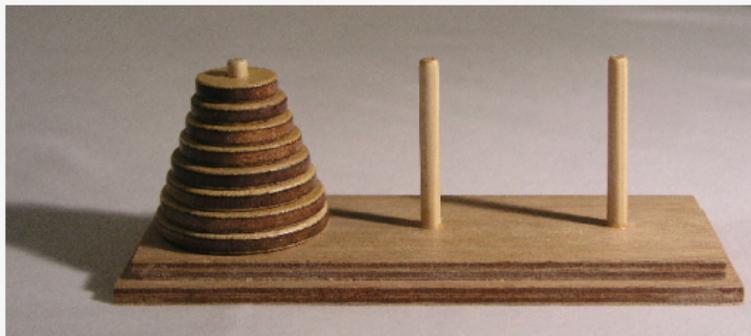
Isto é, a recursão pode ser simulada usando uma pilha de suas variáveis locais

Um exemplo mais complexo: Torres de Hanói



```
1 void hanoi(int n, char orig, char dest, char aux) {  
2   if (n > 0) {  
3     hanoi(n - 1, orig, aux, dest);  
4     printf("move de %c para %c\n", orig, dest);  
5     hanoi(n - 1, aux, dest, orig);  
6   }  
7 }
```

Um exemplo mais complexo: Torres de Hanói



```
1 void hanoi(int n, char orig, char dest, char aux) {  
2     if (n > 0) {  
3         hanoi(n - 1, orig, aux, dest);  
4         printf("move de %c para %c\n", orig, dest);  
5         hanoi(n - 1, aux, dest, orig);  
6     }  
7 }
```

Precisamos além de empilhar a variáveis locais, armazenar em qual linha devemos voltar a execução do código

Pilhas e recursão

O **registro de ativação** de uma função é o conjunto formado por:

Pilhas e recursão

O **registro de ativação** de uma função é o conjunto formado por:

1. Variáveis locais

Pilhas e recursão

O **registro de ativação** de uma função é o conjunto formado por:

1. Variáveis locais
2. Endereço de retorno após a chamada

Pilhas e recursão

O **registro de ativação** de uma função é o conjunto formado por:

1. Variáveis locais
2. Endereço de retorno após a chamada

A **pilha de execução** (ou pilha de chamadas) é a pilha dos registros de ativação das várias chamadas em execução em um programa

Buscando um elemento em uma lista ligada

Versão recursiva:

```
1 p_no busca_rec(p_no lista, int x) {
2   if (lista == NULL || lista->dado == x)
3     return lista;
4   else
5     return busca_rec(lista->prox, x);
6 }
```

Buscando um elemento em uma lista ligada

Versão recursiva:

```
1 p_no busca_rec(p_no lista, int x) {
2   if (lista == NULL || lista->dado == x)
3     return lista;
4   else
5     return busca_rec(lista->prox, x);
6 }
```

Note que:

Buscando um elemento em uma lista ligada

Versão recursiva:

```
1 p_no busca_rec(p_no lista, int x) {
2   if (lista == NULL || lista->dado == x)
3     return lista;
4   else
5     return busca_rec(lista->prox, x);
6 }
```

Note que:

- a recursão é a última coisa antes do retorno da função

Buscando um elemento em uma lista ligada

Versão recursiva:

```
1 p_no busca_rec(p_no lista, int x) {
2   if (lista == NULL || lista->dado == x)
3     return lista;
4   else
5     return busca_rec(lista->prox, x);
6 }
```

Note que:

- a recursão é a última coisa antes do retorno da função
- i.e., devolvemos o valor de retorno da chamada `busca_rec(lista->prox, x)`, mas não o manipulamos

Buscando um elemento em uma lista ligada

Versão recursiva:

```
1 p_no busca_rec(p_no lista, int x) {
2   if (lista == NULL || lista->dado == x)
3     return lista;
4   else
5     return busca_rec(lista->prox, x);
6 }
```

Note que:

- a recursão é a última coisa antes do retorno da função
- i.e., devolvemos o valor de retorno da chamada `busca_rec(lista->prox, x)`, mas não o manipulamos
- exceto na base, o retorno não depende do valor das variáveis locais

Buscando um elemento em uma lista ligada

Versão recursiva:

```
1 p_no busca_rec(p_no lista, int x) {
2   if (lista == NULL || lista->dado == x)
3     return lista;
4   else
5     return busca_rec(lista->prox, x);
6 }
```

Note que:

- a recursão é a última coisa antes do retorno da função
- i.e., devolvemos o valor de retorno da chamada `busca_rec(lista->prox, x)`, mas não o manipulamos
- exceto na base, o retorno não depende do valor das variáveis locais
 - Depende apenas do valor de retorno da chamada recursiva

Eliminação de Recursão

Podemos eliminar o uso de recursão na nossa função

Eliminação de Recursão

Podemos eliminar o uso de recursão na nossa função

Versão recursiva:

```
1 p_no busca_rec(p_no lista, int x) {
2     if (lista == NULL || lista->dado == x)
3         return lista;
4     else
5         return busca_rec(lista->prox, x);
6 }
```

Eliminação de Recursão

Podemos eliminar o uso de recursão na nossa função

Versão recursiva:

```
1 p_no busca_rec(p_no lista, int x) {
2     if (lista == NULL || lista->dado == x)
3         return lista;
4     else
5         return busca_rec(lista->prox, x);
6 }
```

Eliminando a recursão:

```
1 p_no busca_iterativa(p_no lista, int x) {
2     while(lista != NULL && lista->dado != x)
3         lista = lista->prox;
4     return lista;
5 }
```

Recursão de Cauda

Se o último passo de uma função $f(x)$ é o retorno de $f(y)$ então

Recursão de Cauda

Se o último passo de uma função $f(x)$ é o retorno de $f(y)$ então

- podemos reiterar a função $f(x)$ usando $x = y$

Recursão de Cauda

Se o último passo de uma função $f(x)$ é o retorno de $f(y)$ então

- podemos reiterar a função $f(x)$ usando $x = y$
- usando um `while`

Recursão de Cauda

Se o último passo de uma função $f(x)$ é o retorno de $f(y)$ então

- podemos reiterar a função $f(x)$ usando $x = y$
- usando um `while`
- até chegar em uma das bases da recursão

Recursão de Cauda

Se o último passo de uma função $f(x)$ é o retorno de $f(y)$ então

- podemos reiterar a função $f(x)$ usando $x = y$
- usando um `while`
- até chegar em uma das bases da recursão

Chamamos esse tipo de recursão de **recursão de cauda**

Recursão geral

Note que `hanoi` e `fat` não têm recursão de cauda

Recursão geral

Note que `hanoi` e `fat` não têm recursão de cauda

Recursão geral

Note que `hanoi` e `fat` não têm recursão de cauda

```
1 void hanoi(int n, char orig, char dest, char aux) {
2   if (n > 0) {
3     hanoi(n - 1, orig, aux, dest);
4     printf("move de %c para %c\n", orig, dest);
5     hanoi(n - 1, aux, dest, orig);
6   }
7 }
```

Recursão geral

Note que `hanoi` e `fat` não têm recursão de cauda

```
1 void hanoi(int n, char orig, char dest, char aux) {
2   if (n > 0) {
3     hanoi(n - 1, orig, aux, dest);
4     printf("move de %c para %c\n", orig, dest);
5     hanoi(n - 1, aux, dest, orig);
6   }
7 }
```

Recursão geral

Note que `hanoi` e `fat` não têm recursão de cauda

```
1 void hanoi(int n, char orig, char dest, char aux) {
2   if (n > 0) {
3     hanoi(n - 1, orig, aux, dest);
4     printf("move de %c para %c\n", orig, dest);
5     hanoi(n - 1, aux, dest, orig);
6   }
7 }
```

```
1 int fat(int n) {
2   int ret, ant;
3   if (n == 0)
4     ret = 1;
5   else {
6     ant = fat(n - 1);
7     ret = n * ant;
8   }
9   return ret;
10 }
```

Recursão geral

Note que `hanoi` e `fat` não têm recursão de cauda

```
1 void hanoi(int n, char orig, char dest, char aux) {
2     if (n > 0) {
3         hanoi(n - 1, orig, aux, dest);
4         printf("move de %c para %c\n", orig, dest);
5         hanoi(n - 1, aux, dest, orig);
6     }
7 }
```

```
1 int fat(int n) {
2     int ret, ant;
3     if (n == 0)
4         ret = 1;
5     else {
6         ant = fat(n - 1);
7         ret = n * ant;
8     }
9     return ret;
10 }
```

Recursões que não são de cauda também podem ser eliminadas

Recursão geral

Note que `hanoi` e `fat` não têm recursão de cauda

```
1 void hanoi(int n, char orig, char dest, char aux) {
2   if (n > 0) {
3     hanoi(n - 1, orig, aux, dest);
4     printf("move de %c para %c\n", orig, dest);
5     hanoi(n - 1, aux, dest, orig);
6   }
7 }
```

```
1 int fat(int n) {
2   int ret, ant;
3   if (n == 0)
4     ret = 1;
5   else {
6     ant = fat(n - 1);
7     ret = n * ant;
8   }
9   return ret;
10 }
```

Recursões que não são de cauda também podem ser eliminadas

- Porém é necessário utilizar uma pilha

Recursão geral

Note que `hanoi` e `fat` não têm recursão de cauda

```
1 void hanoi(int n, char orig, char dest, char aux) {
2   if (n > 0) {
3     hanoi(n - 1, orig, aux, dest);
4     printf("move de %c para %c\n", orig, dest);
5     hanoi(n - 1, aux, dest, orig);
6   }
7 }
```

```
1 int fat(int n) {
2   int ret, ant;
3   if (n == 0)
4     ret = 1;
5   else {
6     ant = fat(n - 1);
7     ret = n * ant;
8   }
9   return ret;
10 }
```

Recursões que não são de cauda também podem ser eliminadas

- Porém é necessário utilizar uma pilha
- E o processo é mais trabalhoso

Recursão vs. Iteração

Algoritmos recursivos:

Recursão vs. Iteração

Algoritmos recursivos:

- mais fáceis de entender e de criar

Recursão vs. Iteração

Algoritmos recursivos:

- mais fáceis de entender e de criar
- mais elegantes

Recursão vs. Iteração

Algoritmos recursivos:

- mais fáceis de entender e de criar
- mais elegantes

Algoritmos iterativos:

Recursão vs. Iteração

Algoritmos recursivos:

- mais fáceis de entender e de criar
- mais elegantes

Algoritmos iterativos:

- Normalmente mais rápidos do que os recursivos

Recursão vs. Iteração

Algoritmos recursivos:

- mais fáceis de entender e de criar
- mais elegantes

Algoritmos iterativos:

- Normalmente mais rápidos do que os recursivos
- Não precisamos empilhar registros a cada iteração

Recursão vs. Iteração

Algoritmos recursivos:

- mais fáceis de entender e de criar
- mais elegantes

Algoritmos iterativos:

- Normalmente mais rápidos do que os recursivos
- Não precisamos empilhar registros a cada iteração

Eliminação de recursão de cauda é uma ótima forma de otimização

Recursão vs. Iteração

Algoritmos recursivos:

- mais fáceis de entender e de criar
- mais elegantes

Algoritmos iterativos:

- Normalmente mais rápidos do que os recursivos
- Não precisamos empilhar registros a cada iteração

Eliminação de recursão de cauda é uma ótima forma de otimização

- E é feita automaticamente por alguns compiladores

Recursão vs. Iteração

Algoritmos recursivos:

- mais fáceis de entender e de criar
- mais elegantes

Algoritmos iterativos:

- Normalmente mais rápidos do que os recursivos
- Não precisamos empilhar registros a cada iteração

Eliminação de recursão de cauda é uma ótima forma de otimização

- E é feita automaticamente por alguns compiladores

“We should forget about small efficiencies, say about 97% of the time: **premature optimization is the root of all evil**. Yet we should not pass up our opportunities in that critical 3%”

Donald E. Knuth

Exercício

Elimine a recursão da busca binária:

```
1 int busca_binaria(int *dados, int l, int r, int x) {
2     int m = (l+r)/2;
3     if (l > r)
4         return -1;
5     if (dados[m] == x)
6         return m;
7     else if (dados[m] < x)
8         return busca_binaria(dados, m + 1, r, x);
9     else
10        return busca_binaria(dados, l, m - 1, x);
11 }
```

Solução

```
1 int busca_binaria_iterativa(int *dados, int l, int r, int x) {
2     while (l <= r) {
3         int m = (l+r)/2;
4         if (dados[m] == x)
5             return m;
6         else if (dados[m] < x)
7             l = m + 1;
8         else
9             r = m - 1;
10    }
11    return -1;
12 }
```

Dúvidas?