

MC102 – Aula 21

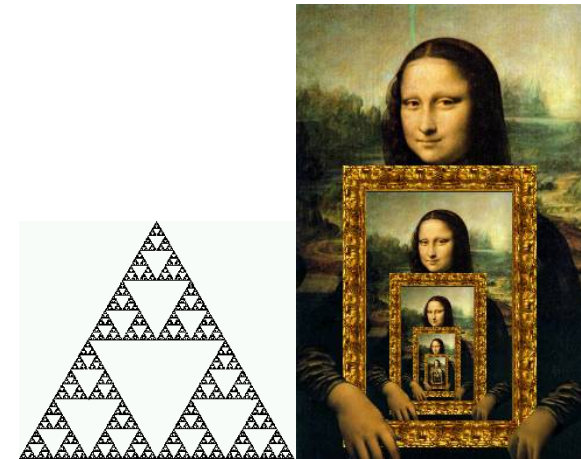
Recursão

Instituto de Computação – Unicamp

31 de Maio de 2012

Recursividade

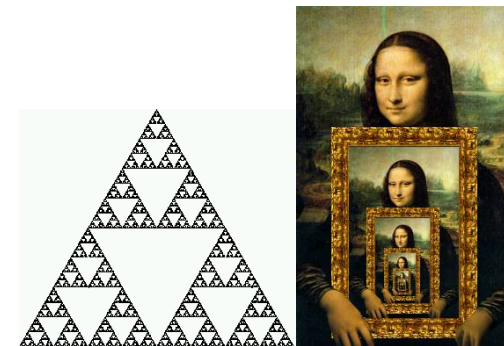
Um objeto é dito recursivo se pode ser definido em termos de si próprio.



Roteiro

- 1 Recursão
- 2 Fatorial
- 3 O que acontece na memória
- 4 Recursão × Iteração
- 5 Soma em um Vetor
- 6 Números de fibonacci
- 7 Exercício

Recursividade



Recursão

é o processo de resolução de um problema, reduzindo-o em um ou mais subproblemas com as seguintes características:

- 1 - São idênticos aos problemas originais;
- 2 - São mais simples de resolver.

Recursão

Pode-se utilizar sempre que for possível expressar a solução de um problema em função do próprio problema.

Para se codificar programas de modo recursivo usa-se uma função, a qual pode **chamar a si mesma**.

Por que aprender recursão?

- É uma nova forma de pensar a resolução de problemas
- É uma poderosa ferramenta de programação
- Utiliza o paradigma de dividir-e-conquistar
 - ▶ Existem muitos problemas que apresentam **soluções elegantes** de dividir-e-conquistar



- Uma vez realizada a primeira subdivisão, a mesma técnica de decomposição é usada para dividir cada subproblema
- Eventualmente, os subproblemas tornam-se tão simples que é possível resolvê-los sem efetuar novas subdivisões
- A solução completa do problema original é obtida através da “montagem” das soluções componentes

Recursividade - dividir em problemas menores

Dizendo isso de uma outra forma:

- Se a instância em questão é pequena
 - ▶ resolva-a diretamente
- Senão
 - ▶ reduza-a a uma instância menor do mesmo problema, aplique o método à instância menor e volte à instância original

- Este processo de resolução de problemas está diretamente ligado ao conceito de **indução matemática**.
- Toma-se como hipótese a ideia de que a solução de um problema de tamanho t pode ser obtida a partir da solução de subproblemas de tamanho $t - 1$



- Devemos criar um algoritmo para resolver um determinado problema.
- Usando o método de recursão/indução, a solução de um problema pode ser expressa da seguinte forma:
 - ▶ Primeiramente, definimos a solução para casos básicos;
 - ▶ Em seguida, definimos como resolver o problema para um caso geral, utilizando-se de soluções para instâncias menores do problema.



- Devemos criar um algoritmo para resolver um determinado problema.
- Usando o método de recursão/indução, a solução de um problema pode ser expressa da seguinte forma:
 - ▶ Primeiramente, definimos a solução para casos básicos;
 - ▶ Em seguida, definimos como resolver o problema para um caso geral, utilizando-se de soluções para instâncias menores do problema.



- Devemos criar um algoritmo para resolver um determinado problema.
- Usando o método de recursão/indução, a solução de um problema pode ser expressa da seguinte forma:
 - ▶ Primeiramente, definimos a solução para casos básicos;
 - ▶ Em seguida, definimos como resolver o problema para um caso geral, utilizando-se de soluções para instâncias menores do problema.

- **Indução:** Técnica de demonstração matemática onde algum parâmetro da proposição a ser demonstrada envolve números naturais.
- Seja T uma proposição que desejamos provar como verdadeira para todos valores naturais n .
- Ao invés de provar diretamente que T é válido para todos os valores de n , basta provar as duas condições 1 e 3 a seguir:
- **Passo base:** PROVAR que T é válido para $n = 1$.
- **Hipótese de Indução:** Assumimos que T é válido para $n - 1$.
- **Passo de Indução:** Sabendo que T é válido para $n - 1$ devemos PROVAR que T é válido para n .

- **Indução:** Técnica de demonstração matemática onde algum parâmetro da proposição a ser demonstrada envolve números naturais.
- Seja T uma proposição que desejamos provar como verdadeira para todos valores naturais n .
- Ao invés de provar diretamente que T é válido para todos os valores de n , basta provar as duas condições 1 e 3 a seguir:
- **Passo base:** PROVAR que T é válido para $n = 1$.
- **Hipótese de Indução:** Assumimos que T é válido para $n - 1$.
- **Passo de Indução:** Sabendo que T é válido para $n - 1$ devemos PROVAR que T é válido para n .

- **Indução:** Técnica de demonstração matemática onde algum parâmetro da proposição a ser demonstrada envolve números naturais.
- Seja T uma proposição que desejamos provar como verdadeira para todos valores naturais n .
- Ao invés de provar diretamente que T é válido para todos os valores de n , basta provar as duas condições 1 e 3 a seguir:
- **Passo base:** PROVAR que T é válido para $n = 1$.
- **Hipótese de Indução:** Assumimos que T é válido para $n - 1$.
- **Passo de Indução:** Sabendo que T é válido para $n - 1$ devemos PROVAR que T é válido para n .

- **Indução:** Técnica de demonstração matemática onde algum parâmetro da proposição a ser demonstrada envolve números naturais.
- Seja T uma proposição que desejamos provar como verdadeira para todos valores naturais n .
- Ao invés de provar diretamente que T é válido para todos os valores de n , basta provar as duas condições 1 e 3 a seguir:
- **Passo base:** PROVAR que T é válido para $n = 1$.
- **Hipótese de Indução:** Assumimos que T é válido para $n - 1$.
- **Passo de Indução:** Sabendo que T é válido para $n - 1$ devemos PROVAR que T é válido para n .

- **Indução:** Técnica de demonstração matemática onde algum parâmetro da proposição a ser demonstrada envolve números naturais.
 - Seja T uma proposição que desejamos provar como verdadeira para todos valores naturais n .
 - Ao invés de provar diretamente que T é válido para todos os valores de n , basta provar as duas condições 1 e 3 a seguir:
- 1 **Passo base:** PROVAR que T é válido para $n = 1$.
 - 2 **Hipótese de Indução:** Assumimos que T é válido para $n - 1$.
 - 3 **Passo de Indução:** Sabendo que T é válido para $n - 1$ devemos PROVAR que T é válido para n .

- Por que a indução funciona? Por que as duas condições são suficientes?
 - ▶ Mostramos que T é válido para um caso simples como $n = 1$.
 - ▶ Com o passo da indução mostramos que T é válido para $n = 2$.
 - ▶ Como T é válido para $n = 2$, pelo passo de indução, T também é válido para $n = 3$, e assim por diante.

- **Indução:** Técnica de demonstração matemática onde algum parâmetro da proposição a ser demonstrada envolve números naturais.
 - Seja T uma proposição que desejamos provar como verdadeira para todos valores naturais n .
 - Ao invés de provar diretamente que T é válido para todos os valores de n , basta provar as duas condições 1 e 3 a seguir:
- 1 **Passo base:** PROVAR que T é válido para $n = 1$.
 - 2 **Hipótese de Indução:** Assumimos que T é válido para $n - 1$.
 - 3 **Passo de Indução:** Sabendo que T é válido para $n - 1$ devemos PROVAR que T é válido para n .

Teorema

A soma $S(n)$ dos primeiros n números naturais é $n(n + 1)/2$

Prova.

Base: Para $n = 1$ devemos mostrar que $n(n + 1)/2 = 1$, o que é claramente verdade.

Hip. de Indução: Vamos assumir que é válido para um valor n , ou seja, $S(n) = n(n + 1)/2$.

Passo: Devemos mostrar que é válido para $n + 1$, ou seja, devemos mostrar que $S(n + 1) = (n + 1)(n + 2)/2$. Por definição, $S(n + 1) = S(n) + n + 1$. Por hipótese $S(n) = n(n + 1)/2$, logo

$$\begin{aligned}
 S(n + 1) &= S(n) + n + 1 \\
 &= n(n + 1)/2 + n + 1 \\
 &= n(n + 1)/2 + 2(n + 1)/2 \\
 &= (n + 2)(n + 1)/2
 \end{aligned}$$

Exemplo

Teorema

A soma $S(n)$ dos primeiros n números naturais é $n(n+1)/2$

Prova.

Base: Para $n = 1$ devemos mostrar que $n(n+1)/2 = 1$, o que é claramente verdade.

Hip. de Indução: Vamos assumir que é válido para um valor n , ou seja, $S(n) = n(n+1)/2$.

Passo: Devemos mostrar que é válido para $n+1$, ou seja, devemos mostrar que $S(n+1) = (n+1)(n+2)/2$. Por definição, $S(n+1) = S(n) + n + 1$. Por hipótese $S(n) = n(n+1)/2$, logo

$$\begin{aligned} S(n+1) &= S(n) + n + 1 \\ &= n(n+1)/2 + n + 1 \\ &= n(n+1)/2 + 2(n+1)/2 \\ &= (n+2)(n+1)/2 \end{aligned}$$



Recursão



- Definições recursivas de funções funcionam como o *princípio matemático da indução* que vimos anteriormente.
- A ideia é que a solução de um problema pode ser expressa da seguinte forma:
 - ▶ Definimos a solução para os casos básicos;
 - ▶ Definimos como resolver o problema geral utilizando soluções do mesmo problema só que para casos menores.



Exemplo

Teorema

A soma $S(n)$ dos primeiros n números naturais é $n(n+1)/2$

Prova.

Base: Para $n = 1$ devemos mostrar que $n(n+1)/2 = 1$, o que é claramente verdade.

Hip. de Indução: Vamos assumir que é válido para um valor n , ou seja, $S(n) = n(n+1)/2$.

Passo: Devemos mostrar que é válido para $n+1$, ou seja, devemos mostrar que $S(n+1) = (n+1)(n+2)/2$. Por definição, $S(n+1) = S(n) + n + 1$. Por hipótese $S(n) = n(n+1)/2$, logo

$$\begin{aligned} S(n+1) &= S(n) + n + 1 \\ &= n(n+1)/2 + n + 1 \\ &= n(n+1)/2 + 2(n+1)/2 \\ &= (n+2)(n+1)/2 \end{aligned}$$



Fatorial

Problema: Calcular o fatorial de um número ($n!$). Ex: $n=4!$

- $4! = 4*3!$ ← subdividimos o problema
- $3! = 3*2!$ ← subdividimos o problema
- $2! = 2*1!$ ← subdividimos o problema
- $1! = 1$ ← Opa! temos uma solução!
- Note que ao chegarmos a solução da “menor parte” do problema, não precisamos mais dividi-lo! Esta é a **condição de parada!**



Fatorial

Problema: Calcular o fatorial de um número ($n!$). Ex: $n=4!$

- $4! = 4 \cdot 3!$ \Leftarrow subdividimos o problema
- $3! = 3 \cdot 2!$ \Leftarrow subdividimos o problema
- $2! = 2 \cdot 1!$ \Leftarrow subdividimos o problema
- $1! = 1$ \Leftarrow Opa! temos uma solução!
- Note que ao chegarmos a solução da “menor parte” do problema, não precisamos mais dividi-lo! Esta é a **condição de parada!**

Fatorial

Problema: Calcular o fatorial de um número ($n!$). Ex: $n=4!$

- $4! = 4 \cdot 3!$ \Leftarrow subdividimos o problema
- $3! = 3 \cdot 2!$ \Leftarrow subdividimos o problema
- $2! = 2 \cdot 1!$ \Leftarrow subdividimos o problema
- $1! = 1$ \Leftarrow Opa! temos uma solução!
- Note que ao chegarmos a solução da “menor parte” do problema, não precisamos mais dividi-lo! Esta é a **condição de parada!**

Fatorial

Problema: Calcular o fatorial de um número ($n!$). Ex: $n=4!$

- $4! = 4 \cdot 3!$ \Leftarrow subdividimos o problema
- $3! = 3 \cdot 2!$ \Leftarrow subdividimos o problema
- $2! = 2 \cdot 1!$ \Leftarrow subdividimos o problema
- $1! = 1$ \Leftarrow Opa! temos uma solução!
- Note que ao chegarmos a solução da “menor parte” do problema, não precisamos mais dividi-lo! Esta é a **condição de parada!**

Fatorial

Problema: Calcular o fatorial de um número ($n!$). Ex: $n=4!$

- $4! = 4 \cdot 3!$ \Leftarrow subdividimos o problema
- $3! = 3 \cdot 2!$ \Leftarrow subdividimos o problema
- $2! = 2 \cdot 1!$ \Leftarrow subdividimos o problema
- $1! = 1$ \Leftarrow Opa! temos uma solução!
- Note que ao chegarmos a solução da “menor parte” do problema, não precisamos mais dividi-lo! Esta é a **condição de parada!**

Fatorial

Problema: Calcular o fatorial de um número ($n!$). Ex: $n=4!$

- $4! = 4*3!$ \Leftarrow subdividimos o problema
- $3! = 3*2!$ \Leftarrow subdividimos o problema
- $2! = 2*1!$ \Leftarrow subdividimos o problema
- $1! = 1$ \Leftarrow Opa! temos uma solução!
- Note que ao chegarmos a solução da “menor parte” do problema, não precisamos mais dividi-lo! Esta é a **condição de parada!**

Fatorial

Problema: Calcular o fatorial de um número ($n!$).

Qual o caso base e o passo da indução?

- Se n é igual a 1, então o fatorial é 1.

Qual seria o passo indutivo?

- Temos que expressar a solução para $n > 1$, supondo que já sabemos a solução para algum caso mais simples.
- $n! = n * (n - 1)!$.

Este caso é trivial pois a própria definição do fatorial é recursiva.

Fatorial

Problema: Calcular o fatorial de um número ($n!$).

Qual o caso base e o passo da indução?

- Se n é igual a 1, então o fatorial é 1.

Qual seria o passo indutivo?

- Temos que expressar a solução para $n > 1$, supondo que já sabemos a solução para algum caso mais simples.
- $n! = n * (n - 1)!$.

Este caso é trivial pois a própria definição do fatorial é recursiva.

Fatorial

Problema: Calcular o fatorial de um número ($n!$).

Qual o caso base e o passo da indução?

- Se n é igual a 1, então o fatorial é 1.

Qual seria o passo indutivo?

- Temos que expressar a solução para $n > 1$, supondo que já sabemos a solução para algum caso mais simples.
- $n! = n * (n - 1)!$.

Este caso é trivial pois a própria definição do fatorial é recursiva.

Portanto, a solução do problema pode ser expressa da seguinte forma:

- Se $n = 1$ então $n! = 1$.
- Se $n > 1$ então $n! = n * (n - 1)!$.

Note como aplicamos o princípio da indução:

- Sabemos a solução para um caso base: $n = 1$.
- Definimos a solução do problema geral $n!$ em termos do mesmo problema só que para um caso menor ($(n - 1)!$).

- Para solucionar o problema, é feita uma chamada para a própria função, por isso, esta função é chamada *recursiva*.
- Recursividade geralmente permite uma descrição mais clara e concisa dos algoritmos, especialmente quando o problema é recursivo por natureza.

Fatorial em C

```
long fatr(long n){
    long x,r;
    if(n == 1) //Passo Básico = condição de parada
        return 1;
    else{
        x = n-1;
        r = fatr(x); //Sabendo o fatorial de (n-1)
        return (n* r); //calculamos o fatorial de n
    }
}
```

Fatorial

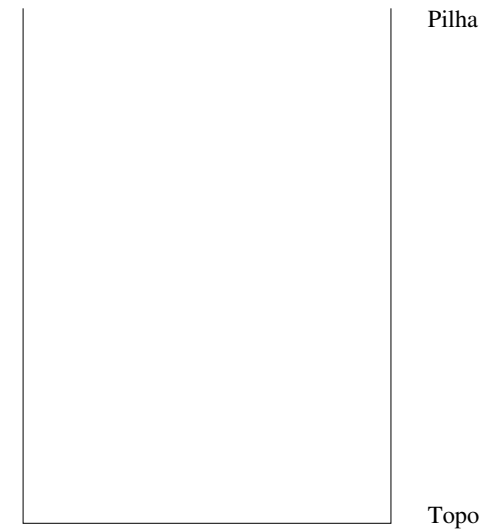
- Para solucionar o problema, é feita uma chamada para a própria função, por isso, esta função é chamada *recursiva*.
- Recursividade geralmente permite uma descrição mais clara e concisa dos algoritmos, especialmente quando o problema é recursivo por natureza.

O que acontece na memória

- Precisamos entender como é feito o controle sobre as variáveis locais em chamadas recursivas.
- A memória de um sistema computacional é dividida em três partes:
 - ▶ **Espaço Estático:** Contém as variáveis globais e código do programa.
 - ▶ **Heap:** Para alocação dinâmica de memória.
 - ▶ **Pilha:** Para execução de funções.

O que acontece na memória

Inicialmente a pilha está vazia.



O que acontece na memória

O que acontece na pilha:

- Toda vez que uma função é invocada, suas variáveis locais são armazenadas no topo da pilha.
- Quando uma função termina a sua execução, suas variáveis locais são removidas da pilha.

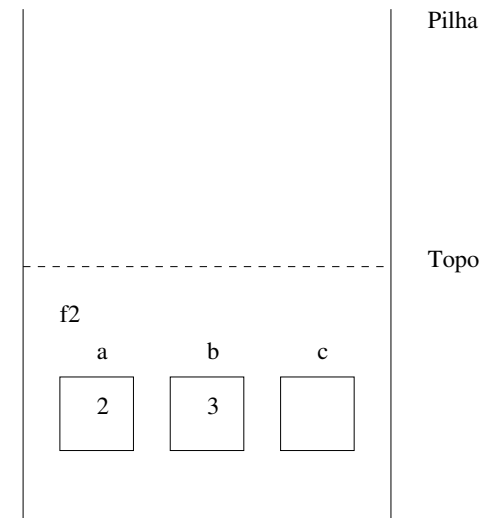
Considere o exemplo:

```
int f1(int a, int b){
    int c=5;
    return (c+a+b);
}
```

```
int f2(int a, int b){
    int c;
    c = f1(b, a);
    return c;
}
```

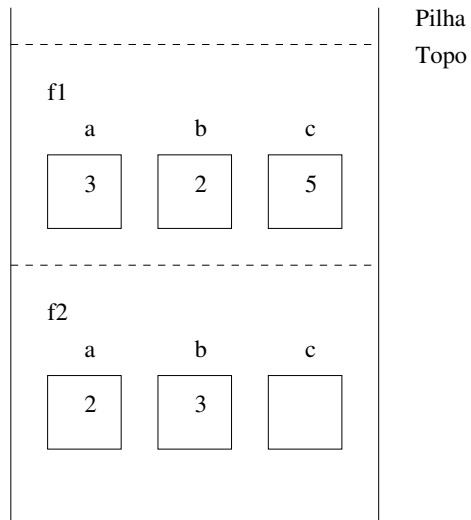
```
int main(){
    f2(2, 3);
}
```

Quando **f2(2,3)** é invocada, suas variáveis locais são alocadas no topo da pilha.



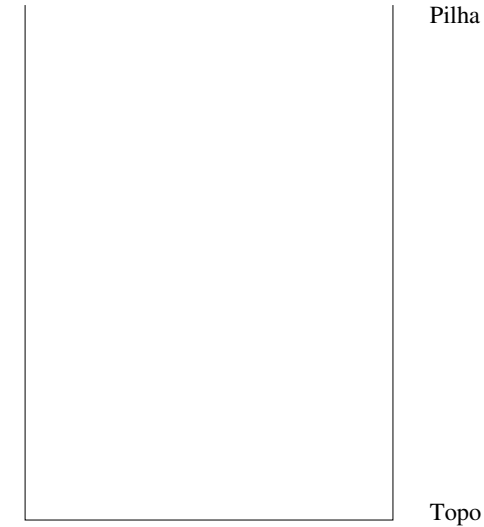
O que acontece na memória

A função **f2** invoca a função **f1(b,a)** e as variáveis locais desta são alocadas no topo da pilha sobre as de **f2**.



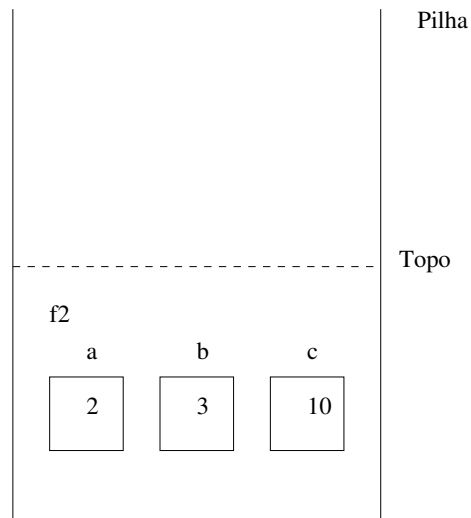
O que acontece na memória

Finalmente **f2** termina a sua execução devolvendo 10. Suas variáveis locais são removidas da pilha.



O que acontece na memória

A função **f1** termina, devolvendo 10. As variáveis locais de **f1** são removidas da pilha.



O que acontece na memória

No caso de chamadas recursivas para uma mesma função, é como se cada chamada correspondesse a uma função distinta.

- As execuções das chamadas de funções recursivas são feitas na pilha, assim como qualquer função.
- O último conjunto de variáveis alocadas na pilha, que está no topo, corresponde às variáveis da última chamada da função.
- Quando termina a execução de uma chamada da função, as variáveis locais desta são removidas da pilha.

Usando recursão em programação

Considere novamente a solução recursiva para se calcular o fatorial e assumamos que seja feita a chamada **fatr(4)**.

```
long fatr(long n){
    long x,r;
    if(n == 1) //Passo Básico= condição de parada
        return 1;
    else{
        x = n-1;
        r = fatr(x); //Sabendo o fatorial de (n-1)
        return (n* r); //calculamos o fatorial de n
    }
}
```

O que acontece na memória

- Cada chamada da função *fatr* cria novas variáveis locais de mesmo nome (n, x, r).
- Portanto, várias variáveis n, x e r podem existir em um dado momento.
- Em um dado instante, o nome n (ou x ou r) refere-se à variável local ao corpo da função que está sendo executada naquele instante.

O que acontece na memória

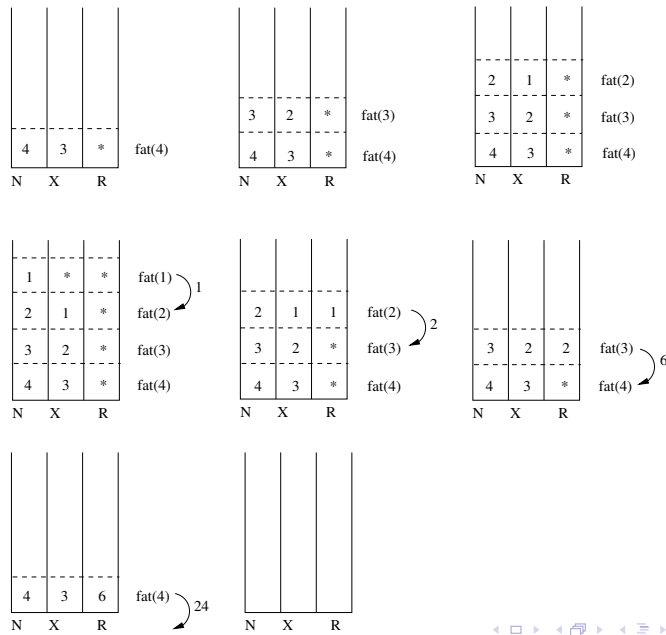
- Cada chamada da função *fatr* cria novas variáveis locais de mesmo nome (n, x, r).
- Portanto, várias variáveis n, x e r podem existir em um dado momento.
- Em um dado instante, o nome n (ou x ou r) refere-se à variável local ao corpo da função que está sendo executada naquele instante.

O que acontece na memória

- Cada chamada da função *fatr* cria novas variáveis locais de mesmo nome (n, x, r).
- Portanto, várias variáveis n, x e r podem existir em um dado momento.
- Em um dado instante, o nome n (ou x ou r) refere-se à variável local ao corpo da função que está sendo executada naquele instante.

O que acontece na memória

Estado da Pilha de execução para $fatr(4)$.



Recursão × Iteração

- Soluções recursivas são geralmente mais concisas que as iterativas. Programas mais simples.
- Cópia dos parâmetros a cada chamada recursiva é um custo adicional para as soluções recursivas.

O que acontece na memória

- É claro que as variáveis x e r são desnecessárias.
- Você também deveria testar se n não é negativo!

```
long fatr (long n){
    if(n <= 1) //Passo Básico = condição de parada
        return 1;
    else //Sabendo o fatorial de (n-1)
        //calculamos o fatorial de n
        return (n* fatr(n-1));
}
```

Exemplo: Soma de elementos de um vetor

- Suponha que temos um vetor v de inteiros de tamanho $n + 1$, e queiramos saber a soma dos seus elementos da posição 0 até n .
- Como podemos descrever este problema de forma recursiva? Isto é, como podemos descrever este problema em função de si mesmo?
- Vamos denotar por $S(n)$ a soma dos elementos das posições 0 até n do vetor. Com isso temos:
 - ▶ Se $n = 0$ então a soma é igual a $v[0]$.
 - ▶ Se $n > 0$ então a soma é igual a $v[n] + S(n - 1)$.

Exemplo: Soma de elementos de um vetor

- Suponha que temos um vetor v de inteiros de tamanho $n + 1$, e queiramos saber a soma dos seus elementos da posição 0 até n .
- Como podemos descrever este problema de forma recursiva? Isto é, como podemos descrever este problema em função de si mesmo?
- Vamos denotar por $S(n)$ a soma dos elementos das posições 0 até n do vetor. Com isso temos:
 - ▶ Se $n = 0$ então a soma é igual a $v[0]$.
 - ▶ Se $n > 0$ então a soma é igual a $v[n] + S(n - 1)$.

Algoritmo em C

```
int soma(int v[], int n){  
    if(n == 0)  
        return v[0]; //condição de parada  
    else  
        return v[n] + soma(v,n-1);  
}
```

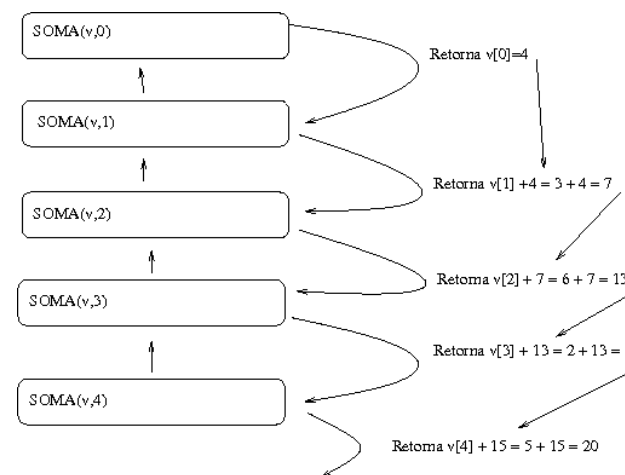
Exemplo: Soma de elementos de um vetor

- Suponha que temos um vetor v de inteiros de tamanho $n + 1$, e queiramos saber a soma dos seus elementos da posição 0 até n .
- Como podemos descrever este problema de forma recursiva? Isto é, como podemos descrever este problema em função de si mesmo?
- Vamos denotar por $S(n)$ a soma dos elementos das posições 0 até n do vetor. Com isso temos:
 - ▶ Se $n = 0$ então a soma é igual a $v[0]$.
 - ▶ Se $n > 0$ então a soma é igual a $v[n] + S(n - 1)$.

Exemplo de execução

É claro que o você deve se certificar de usar valores válidos de n .

$V = (4, 3, 6, 2, 5)$



- O método recursivo sempre termina:
 - ▶ Existência de um caso base.
 - ▶ A cada chamada recursiva do método temos um valor menor de n .

- A série de fibonacci é a seguinte:
 - ▶ 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, ...
- Queremos determinar qual é o n -ésimo ($\text{fib}(n)$) número da série.
- Como descrever o n -ésimo número de fibonacci de forma recursiva?

Algoritmo em C

Versão iterativa:

```
int calcula_soma(int[] v, int n){
    int soma=0, i;
    for(i=0;i<=n;i++)
        soma = soma + v[i];
    return soma;
}
```

Fibonacci

- No caso base temos:
 - ▶ Se $n = 1$ ou $n = 2$ então $\text{fib}(n) = 1$.
- Sabendo casos anteriores podemos computar $\text{fib}(n)$ como:
 - ▶ $\text{fib}(n) = \text{fib}(n - 1) + \text{fib}(n - 2)$.

Algoritmo em C

A definição anterior é traduzida diretamente em um algoritmo em C:

```
long fibo(long n){
    if(n <= 2)
        return 1; //condição de parada
    else
        return (fibo(n-1) + fibo(n-2));
}
```

Exercício

Mostre a execução da função recursiva **imprime** abaixo:
O que será impresso?

```
#include <stdio.h>

void imprime(int v[], int i, int n);

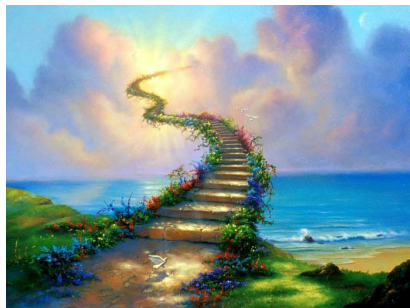
int main(){
    int vet[] = {1,2,3,4,5,6,7,8,9,10};

    imprime(vet, 0, 9);
    printf("\n");
}

void imprime(int v[], int i, int n){
    if(i==n){
        printf("%d, ", v[i]);
    }
    else{
        imprime(v,i+1,n);
        printf("%d, ", v[i]);
    }
}
```

Relembrando

- Recursão é uma técnica para se criar algoritmos onde:
 - Devemos descrever soluções para casos básicos.
 - sem eles não temos **condição de parada** → **loop infinito**



- Assumindo a existência de soluções para casos menores, mostramos como obter solução para o caso maior.
- Algoritmos recursivos geralmente são mais claros e concisos.
 - Implementador deve avaliar clareza de código × eficiência do algoritmo.

Exercício

- Mostre o estado da pilha de memória durante a execução da função **fibo** com a chamada **fibo(5)**.