

# Análise de Algoritmos

Estruturas de Dados e Algoritmos – Ciência da Computação



Prof. Daniel Saad Nogueira  
Nunes

IFB – Instituto Federal de Brasília,  
Campus Taguatinga



# Sumário

---

- 1 Introdução
- 2 Notação Assintótica



# Sumário

---

## 1 Introdução



# Análise de Algoritmos

---

## Análise de Algoritmos

- Analisar algoritmos é essencial para que se possa prever os recursos, tais como tempo e espaço, a serem utilizados.
- Temos que definir um modelo computacional, visto que diferentes modelos computacionais possuem diferentes complexidades nas operações:
  - ▶ Máquina de Turing.
  - ▶ Cálculo- $\lambda$ .
  - ▶ Assembly Mips.
  - ▶ Código em  $C$ .
- É necessário fixar um modelo computacional para a análise de algoritmos.



# Modelo RAM

---

## Modelo RAM

- O Modelo RAM corresponde bem à maioria das Arquiteturas encontradas no mundo real:
  - ▶ Instruções aritméticas (add, div, ...);
  - ▶ Instruções de dados (load, str, cpy);
  - ▶ Instruções de controle (branches, loops, ...);
- Cada operação básica leva um passo, e, neste modelo, o tempo é mensurado pelo número de **passos**, já o espaço pelo número de **posições** de memória utilizados.



# Análise de Algoritmos

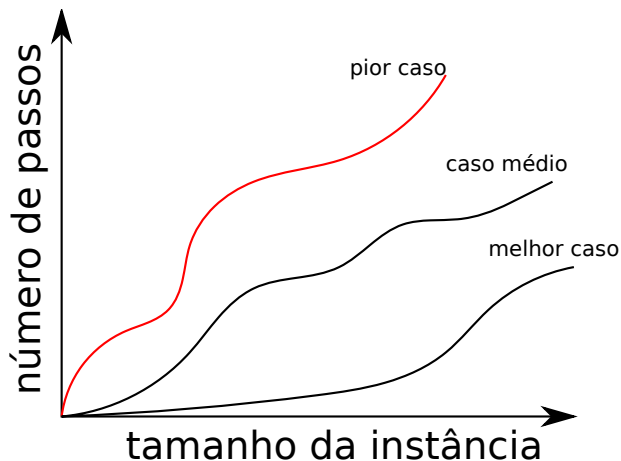
---

## Pior Caso, Caso Médio e Melhor Caso

- O **pior caso** de complexidade de um algoritmo é a função definida pelo maior número de passos com tamanho de instância  $n$ .
- O melhor caso de complexidade é dada pela função definida pelo menor número de passos com tamanho de instância  $n$ .
- O caso médio de complexidade do algoritmo é dado por uma função definida pela média do número de passos sobre todas as instâncias de tamanho  $n$ .



# Análise de Algoritmos





# Inspeção Linear

---

```
int acha_menor(int* v, int n){
    int i;
    int menor = INT_MAX;
    for(i=0; i<n; i++){
        menor = menor > v[i] ? v[i] : menor;
    }
    return menor;
}
```





# Análise de Algoritmos

---

- Qual o número de passos no pior caso de acharmos o menor elemento em um vetor arbitrário?
- Qual o número de passos no melhor caso de acharmos o menor elemento em um vetor arbitrário?



# Análise de Algoritmos

---

- Não sabemos ao certo.
- Mas é proporcional ao tamanho do vetor, isto é, é  $c \cdot n$  para alguma constante  $n$ .



# Notação Assintótica

---

## Notação Assintótica

- Contar precisamente o número de passos executados numa máquina RAM é muito trabalhoso.
- Depende muitas vezes de detalhes específicos de implementação.
- É interessante colocar tudo em função de uma cota superior e uma cota inferior de complexidade de tempo e espaço.
- Ferramenta: Notação Assintótica.



# Sumário

---

## 2 Notação Assintótica



# Notação Assintótica

---

- Chegar na fórmula fechada do número de passos do pior caso de um algoritmo é muito complicado.
- Por exemplo:

$$2n^2 + 10n + 300$$

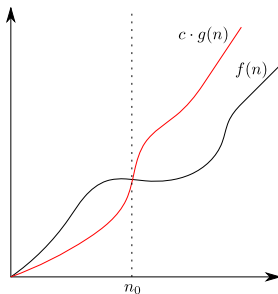
- Nos dá quase a mesma informação que a função de pior caso cresce de maneira quadrática em função do tamanho da entrada.
- Além disso, a fórmula fechada depende de como as instruções foram usadas, e isto dificulta bastante o processo.
- A notação assintótica despreza esses detalhes e se concentra somente no crescimento da função.



# Notação $O$

## Notação $O$

$$O(g(n)) = \{f(n) | 0 \leq f(n) \leq c \cdot g(n), c \in \mathbb{R}^+, \forall n > n_0 \in \mathbb{R}^+\}$$





# Notação $O$

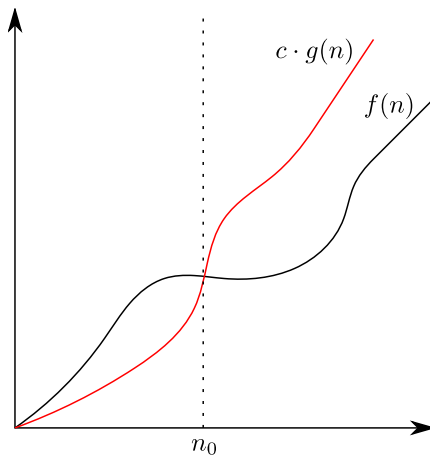


Figura: Notação  $O$ .



# Notação $O$

---

## Notação $O$

- A notação  $O$  nos dá uma cota superior, em termos assintóticos.
- Intuitivamente, ela nos diz que se uma função  $f \in O(g(n))$ , então  $f$  não cresce mais rápido que  $g(n)$ , em termos assintóticos.

## Exemplo

$$\begin{array}{ll} n^2 \in O(n^3) & n^2 \notin O(1) \\ n \in O(2^n) & 2n^2 \notin O(n) \\ \log n \in O(\log^2 n) & \log n \notin O(\log \log n) \end{array}$$






# Notação $\Omega$

---

## Notação $\Omega$

$$\Omega(g(n)) = \{f(n) | 0 \leq c \cdot g(n) \leq f(n), c \in \mathbb{R}^+, \forall n > n_0 \in \mathbb{R}^+\}$$

 figuras/Omega.pdf



# Notação $\Omega$

---

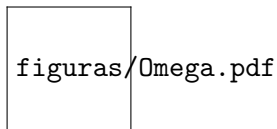


Figura: Notação  $\Omega$ .



# Notação $\Omega$

---

## Notação $\Omega$

- A notação  $\Omega$  nos dá uma cota inferior, em termos assintóticos.
- Intuitivamente, ela nos diz que se uma função  $f \in \Omega(g(n))$ , então  $f$  cresce mais rápido que  $g(n)$ , em termos assintóticos.

## Exemplo

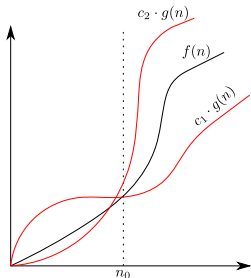
$$\begin{array}{ll} n^2 \in \Omega(n) & n^2 \notin \Omega(n^3) \\ 2n^2 \in \Omega(n^2) & 2n^2 \notin \Omega(2^n) \\ \log n \in \Omega(\log \log n) & \log n \notin \Omega(n) \end{array}$$



# Notação $\Theta$

## Notação $\Theta$

$$\Theta(g(n)) = \{f(n) | 0 \leq c_1 \cdot g(n) \leq f(n) \leq c_2 \cdot g(n), \\ c_1, c_2 \in \mathbb{R}^+, \forall n > n_0 \in \mathbb{R}^+\}$$





# Notação $\Theta$

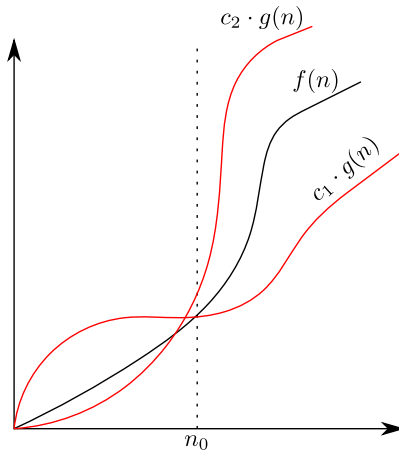


Figura: Notação  $\Theta$ .



# Notação $\Theta$

---

## Notação $\Theta$

- A notação  $\Theta$  nos dá uma cota **justa**, em termos assintóticos.
- Intuitivamente, ela nos diz que se uma função  $f \in \Theta(g(n))$ , então  $f$  cresce tanto quanto  $g(n)$ , em termos assintóticos.

## Exemplo

$$\begin{array}{ll} n^2 \in \Theta(n^2) & n^2 \notin \Theta(n^3) \\ 10^{900}n^2 \in \Theta(n^2) & 200n^2 \notin \Theta(n) \\ \frac{1}{2} \log n \in \Theta(\log n) & \frac{1}{2} \log n \notin \Theta(\sqrt{n}) \end{array}$$



# Notação Assintótica

---

## Ajustando as Cotas

- É imprescindível buscar sempre uma cota justa para a função de custo de pior caso de um algoritmo, isto é:
  - ▶  $O(g(n)) \downarrow$
  - ▶  $\Omega(g(n)) \uparrow$
  - ▶  $\Theta(g(n))$
- Superestimar cotas superiores ou subestimar cotas inferiores levam uma estimativa inadequada dos recursos necessários para a execução do algoritmo.



# Notação Assintótica

---

- Voltando a nosso algoritmo de achar o menor.
- Qual o número de passos necessários no pior caso?





# Inspeção Linear

---

```
int acha_menor(int* v, int n){
    int i;
    int menor = INT_MAX;
    for(i=0; i<n; i++){
        menor = menor > v[i] ? v[i] : menor;
    }
    return menor;
}
```



# Notação Assintótica

---

$$\Theta(n)$$