

Introdução à Análise de Algoritmos

Márcio Moretto Ribeiro

24 de agosto de 2021

Conteúdo

1	Introdução	5
1.1	Apresentação	5
1.2	Algoritmos	6

Capítulo 1

Introdução

1.1 Apresentação

Esta apostila são notas de aula do curso ministrado por mim no segundo semestre de 2021 para as duas turmas noturnas de Sistemas de Informação ministrado à distância por conta da pandemia de COVID19. Seu conteúdo está baseado nos livros que servem de bibliografia para o curso:

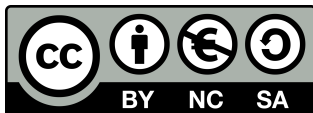
- [1] T. H. Cormen. *Algoritmos: teoria e prática*. Campus, 2012. ISBN: 9788535236996.
- [3] R. Sedgewick. *Algorithms in C*. Algorithms in C. Addison Wesley Professional, 2001. ISBN: 9780201756081.
- [4] R. Sedgewick e K. Wayne. *Algorithms: Algorithms 4*. Pearson Education, 2011. ISBN: 9780132762564.

Além dos livros serviu de material para elaboração dessas notas outros textos citados ao longo do curso bem como as gravações dos cursos do professor Robert Sedgewick para o Coursera e do professor Ronald Rivest para o MIT.

A última versão desta apostila está disponível em um repositório no github (<https://github.com/marciomr/apostila-iaa.git>). Agradeço de antemão eventuais sugestões de correção que forem submetidas pela plataforma.

Alguns dos direitos sobre o conteúdo desta apostila estão protegidos pela licença Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0). Ou seja, você é livre para distribuir cópias

e adaptar este trabalho desde que mantenha a mesma licença, dê o devido crédito ao autor e não faça uso comercial.



1.2 Algoritmos

Um *problema computacional* é a especificação de uma relação desejada entre um certo *valor de entrada* escolhido em um conjunto de valores válidos e o *valor de saída* esperado.

Exemplo 1.2.1:

Problema da busca

Entrada: Uma sequência de $n \in \mathbb{N}$ valores $\langle a_1, \dots, a_n \rangle$ em que $a_i \in \mathbb{Z}$ para $1 \leq i \leq n$ e $b \in \mathbb{Z}$.

Saída: $i \in \mathbb{N}$ tal que $a_i = b$ se existir ou \perp caso contrário.

Exemplo 1.2.2:

Problema da 3-soma

Entrada: Três sequência de $n \in \mathbb{N}$ valores cada $\langle a_1, \dots, a_n \rangle$, $\langle b_1, \dots, b_n \rangle$ e $\langle c_1, \dots, c_n \rangle$ em que $a_i, b_i, c_i \in \mathbb{Z}$ para $1 \leq i \leq n$.

Saída: O número $m \in \mathbb{N}$ de $i, j, k \in \mathbb{N}$ tal que $a_i + b_j + c_k = 0$.

Exemplo 1.2.3:

Problema da ordenação

Entrada: Uma sequência de $n \in \mathbb{N}$ valores $\langle a_1, \dots, a_n \rangle$ em que $a_i \in \mathbb{Z}$ para $1 \leq i \leq n$.

Saída: Uma permutação da sequência de entrada $\langle a'_1, \dots, a'_n \rangle$ tal que $a_i \leq a_j$ para todo $i \leq j$.

Uma *instância do problema* consiste de uma entrada válida para a qual se pretende produzir uma saída esperada. Por exemplo, a sequência $\langle 3, 42, 17, 2, -1 \rangle$ é uma instância do problema da ordenação cuja saída esperada é $\langle -1, 2, 3, 17, 42 \rangle$.

A disciplina de Introdução à Teoria da Computação (ITC) tem como objeto de estudo problemas computacionais, como eles se classificam entre os que tem solução ou não e entre os que tem solução eficiente ou não. A solução de um problema computacional é um algoritmo.

Os objetos de estudo desta disciplina são os algoritmos. Mas afinal, o que são algoritmos?

Um *algoritmo* parte de uma entrada escolhida em um conjunto potencialmente infinito de possibilidades (*princípio da massividade*) para produzir um valor de saída. O algoritmo processa a entrada por meio de uma sequência de passos (*princípio da discretude*) que produzem valores intermediários. Cada passo segue uma instrução simples (*princípio da elementaridade*) que só depende dos valores anteriores, não admitindo ambiguidades (*princípio da exatidão*) [2].

Um *programa* é a realização de um algoritmo em certa *linguagem de programação*. Assim, um algoritmo é, de um lado, a solução de um problema de computação e, de outro, uma abstração de um conjunto de programas, ele é a idéia por trás do programa.

Um algoritmo é *correto* se para toda instância do problema ele produz a saída esperada depois de uma sequência finita de passos. Nesse caso dizemos que o algoritmo *resolve* o problema.

Há uma controversa se devemos ou não considerar uma sequência infinita de instruções como um algoritmo. Essa questão, complicada, está no coração do nascimento da ciência da computação e será tratada em ITC. Neste curso focaremos nos algoritmos corretos e, assim, escaparemos da questão.

Para enfatizar o fato de que um algoritmo é uma abstração de um programa, eles serão apresentados neste curso em uma linguagem informal co-

nhhecida como *pseudo-código*.

Exemplo 1.2.4:

Considere a seguinte solução para o problema da busca.

```

BUSCASIMPLES( $A, b$ )
1  ▷ Recebe  $\langle a_1, \dots, a_n \rangle \in \mathbb{Z}^n$  e  $b \in \mathbb{Z}$ 
2  ▷ Devolve  $i$  tal que  $a_i = b$  se existir e  $\perp$  caso contrário
3  for  $i \leftarrow 1$  até  $n$ 
4      do if  $a_i = b$ 
5          then return  $i$ 
6  return  $\perp$ 

```

Esta disciplina estuda algoritmos. Como podemos garantir que certo algoritmo resolve um problema, ou seja, que ele é correto? Como podemos comparar duas soluções distintas para um mesmo problema? Ou seja, se conhecemos dois um mais algoritmos corretos para um mesmo problema, como avaliamos qual é melhor?

Avaliaremos os algoritmos corretos a partir da quantidade de recursos que ele consome. Estudaremos particularmente dois recursos: espaço de memória e, principalmente, o tempo de execução.

Nos capítulos seguintes veremos uma série de algoritmos para resolver alguns problemas centrais da computação como o problema da busca e da ordenação. Avaliaremos os algoritmos apresentado quanto sua corretude e sua eficiência em consumo de tempo e espaço de memória.

No Capítulo X apresentaremos o estudo dos algoritmos a partir do método empírico. Relembraremos o método e veremos um exemplo comparando o tempo de execução de duas soluções para o problema da busca em sequências ordenadas. Então exploraremos técnicas para arriscar modelos matemáticos adequados para avaliar o consumo de tempo dos algoritmos. E finalmente veremos ferramentas matemáticas uteis para comparar funções quanto ao seu crescimento, a chamada notação assintótica. No Capítulo X estudaremos algoritmos de ordenação como estudo de caso da teoria apresentada anteriormente. Veremos uma série de algoritmos que resolvem o mesmo problema e utilizaremos as técnicas apresentadas para construir e testar modelos do consumo de tempo deles. Estudaremos também um limite teórico da eficiência

do problema da ordenação e veremos dois algoritmos que superam esse limite utilizando mais informações do que as assumidas no enunciado do teorema. Concluiremos a apostila no Capítulo X apresentando algoritmos e técnicas um pouco mais avançados como programação dinâmica e análise amortizada.

Bibliografia

- [1] T. H. Cormen. *Algoritmos: teoria e prática*. Campus, 2012. ISBN: 9788535236996.
- [2] A.I. Mal'cev. *Algorithms and Recursive Functions*. Wolters-Noorhoff, 1970.
- [3] R. Sedgewick. *Algorithms in C*. Algorithms in C. Addison Wesley Professional, 2001. ISBN: 9780201756081.
- [4] R. Sedgewick e K. Wayne. *Algorithms: Algorithms 4*. Pearson Education, 2011. ISBN: 9780132762564.