

# Breve (e bota breve nisso!) introdução aos algoritmos evolutivos

Paulo Henrique Ribeiro Gabriel

Faculdade de Computação  
Universidade Federal de Uberlândia

semcomp22 – ICMC/USP  
30 de setembro de 2019

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores Genéticos

Problema da Mochila

Avaliação de Desempenho

Próximos Passos

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores Genéticos

Problema da Mochila

Avaliação de Desempenho

Próximos Passos

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

## Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

- ▶ O que são problemas de otimização?
- ▶ Por que são importantes?
- ▶ O que é a Computação Evolutiva e como ela pode ser útil?

- ▶ Diariamente, nos deparamos com problemas que exigem encontrar a melhor solução

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

- ▶ Diariamente, nos deparamos com problemas que exigem encontrar a melhor solução
  - ▶ Caminho mais curto entre dois endereços
  - ▶ Compras de menor custo em um supermercado
  - ▶ Aumento da eficiência de uma equipe de desenvolvimento em um projeto
  - ▶ Redução do custo (e aumento do lucro) na fabricação de um item

- ▶ Diariamente, nos deparamos com problemas que exigem encontrar a melhor solução
  - ▶ Caminho mais curto entre dois endereços
  - ▶ Compras de menor custo em um supermercado
  - ▶ Aumento da eficiência de uma equipe de desenvolvimento em um projeto
  - ▶ Redução do custo (e aumento do lucro) na fabricação de um item
- ▶ Em todos esses contextos, lidamos com problemas de **otimização**

*De um modo geral, o termo otimização se refere ao estudo de problemas em que se busca minimizar ou maximizar uma função por meio da escolha sistemática dos valores de variáveis reais ou inteiras dentro de um conjunto viável<sup>1</sup>*

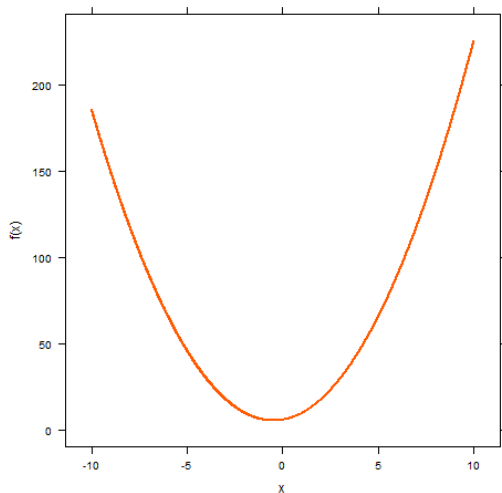
---

<sup>1</sup>Mathematical Programming Glossary, disponível em:  
<https://tinyurl.com/yyhzhp7g>



# Exercício #1

Encontre o mínimo da função  $f(x) = 2x^2 + 2x + 6$



## Exercício #2

E agora?  $f(x) = x \sin(10\pi x) + 1$

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

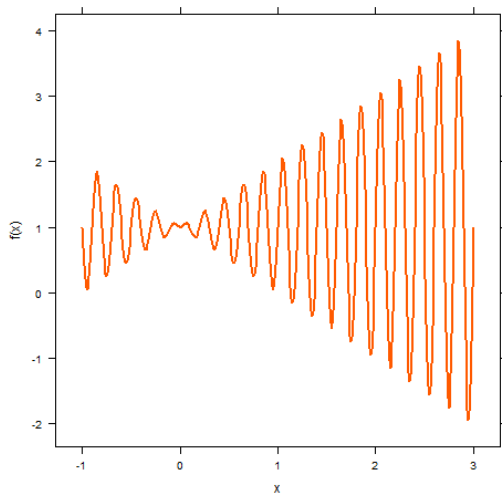
Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

## Exercício #2

E agora?  $f(x) = x \sin(10\pi x) + 1$



- Muitos problemas do mundo real são de difícil resolução

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

- ▶ Muitos problemas do mundo real são de difícil resolução
- ▶ Nesses casos, métodos “clássicos” podem não ser a melhor opção

- ▶ Muitos problemas do mundo real são de difícil resolução
- ▶ Nesses casos, métodos “clássicos” podem não ser a melhor opção
- ▶ Além disso, em muitos cenários, nem ao menos conhecemos como o problema é modelado. . .

- ▶ Muitos problemas do mundo real são de difícil resolução
- ▶ Nesses casos, métodos “clássicos” podem não ser a melhor opção
- ▶ Além disso, em muitos cenários, nem ao menos conhecemos como o problema é modelado. . .
- ▶ . . . o que se tem são informações sobre seu “comportamento”

## Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

- ▶ A computação evolutiva é uma área em constante crescimento



## Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

- ▶ A computação evolutiva é uma área em constante crescimento
- ▶ Diversas razões:
  - ▶ Problemas reais cada vez mais “complexos”

## Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

- ▶ A computação evolutiva é uma área em constante crescimento
- ▶ Diversas razões:
  - ▶ Problemas reais cada vez mais “complexos”
  - ▶ Métodos relativamente simples de implementação

## Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

- ▶ A computação evolutiva é uma área em constante crescimento
- ▶ Diversas razões:
  - ▶ Problemas reais cada vez mais “complexos”
  - ▶ Métodos relativamente simples de implementação
  - ▶ Adaptação de técnicas com pouco esforço

- ▶ Diversas classes de algoritmos
  - ▶ Algoritmos genéticos
  - ▶ Estratégias evolutivas
  - ▶ Programação evolutiva

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

## Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

- ▶ Diversas classes de algoritmos
  - ▶ Algoritmos genéticos
  - ▶ Estratégias evolutivas
  - ▶ Programação evolutiva
- ▶ Todos esses algoritmos são conhecidos como **algoritmos evolutivos** (AEs)

- ▶ Diversas classes de algoritmos
  - ▶ Algoritmos genéticos
  - ▶ Estratégias evolutivas
  - ▶ Programação evolutiva
- ▶ Todos esses algoritmos são conhecidos como **algoritmos evolutivos** (AEs)
- ▶ Outros AEs têm sido desenvolvidos. . .

- ▶ AEs se baseiam em princípios de **teoria da evolução e seleção natural**

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

## Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

- ▶ AEs se baseiam em princípios de **teoria da evolução e seleção natural**
- ▶ Em vez de considerarmos uma única solução, temos um conjunto de possíveis soluções



## Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

- ▶ AEs se baseiam em princípios de **teoria da evolução e seleção natural**
- ▶ Em vez de considerarmos uma única solução, temos um conjunto de possíveis soluções
- ▶ Essas soluções passam por um processo de **evolução**

- ▶ AEs se baseiam em princípios de **teoria da evolução e seleção natural**
- ▶ Em vez de considerarmos uma única solução, temos um conjunto de possíveis soluções
- ▶ Essas soluções passam por um processo de **evolução**
- ▶ Ao longo do processo, as melhores soluções são modificadas e dão origem a soluções ainda melhores

- ▶ AEs se baseiam em princípios de **teoria da evolução e seleção natural**
- ▶ Em vez de considerarmos uma única solução, temos um conjunto de possíveis soluções
- ▶ Essas soluções passam por um processo de **evolução**
- ▶ Ao longo do processo, as melhores soluções são modificadas e dão origem a soluções ainda melhores
  - ▶ Ou, pelo menos, assim desejamos. . .

# Isso funciona?

Algoritmos  
Evolutivos

phrg@ufu.br

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

# Isso funciona?

## Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos



[Soft Computing](#)

July 2019, Volume 23, [Issue 13](#), pp 5099–5116 | [Cite as](#)

## Extended Genetic Algorithm for solving open-shop scheduling problem

Authors

[Authors and affiliations](#)

Ali Asghar Rahmani Hosseinabadi, Javad Vahidi, Behzad Saemi, Arun Kumar Sangaiah , Mohamed Elhoseny

Methodologies and Application

First Online: 07 April 2018

552

Downloads

20

Citations

# Isso funciona?



## Expert Systems with Applications

Volume 125, 1 July 2019, Pages 305-316



### Many-objectives multilevel thresholding image segmentation using Knee Evolutionary Algorithm

Mohamed Abd Elaziz <sup>a, b</sup> ✉, Songfeng Lu <sup>a, c</sup> ✉

✚ Show more

<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.01.075>

Get rights and content

Algoritmos  
Evolutivos

phrg@ufu.br

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos



International Journal of Hydrogen Energy

Volume 44, Issue 10, 22 February 2019, Pages 4630-4649



## Modeling and optimization of hydrogenation of CO<sub>2</sub>: Estimation of kinetic parameters via Artificial Bee Colony (ABC) and Differential Evolution (DE) algorithms

Sara Najari <sup>a</sup>, Gyula Gróf <sup>b</sup>, Samrand Saeidi <sup>b</sup>  , Fausto Gallucci <sup>c</sup>

 [Show more](#)

<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.01.020>

[Get rights and content](#)

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

# Isso funciona?

## Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos




[Soft Computing](#)

September 2019, Volume 23, [Issue 17](#), pp 7671–7697 | [Cite as](#)

## Evolutionary biclustering algorithms: an experimental study on microarray data

Authors

[Authors and affiliations](#)

Ons Maâtouk , Wassim Ayadi, Hend Bouziri, Béatrice Duval

Methodologies and Application

First Online: 17 July 2018

128

Downloads



# Isso funciona?

## Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos



[Soft Computing](#)

October 2019, Volume 23, [Issue 20](#), pp 10055–10083 | [Cite as](#)

## An Evolutionary Algorithm and operators for the Airport Baggage Sorting Station Problem

Authors

[Authors and affiliations](#)

Amadeo Ascó 

**Open Access** | Methodologies and Application  
First Online: 13 October 2018

1

Shares

400

Downloads

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores Genéticos

Problema da Mochila

Avaliação de Desempenho

Próximos Passos

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

Introdução

**Base Biológica**

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

- ▶ Vamos definir um pouco a nomenclatura básica

- ▶ AEs são fortemente inspirados em processos evolutivos que ocorrem na natureza

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

- ▶ AEs são fortemente inspirados em processos evolutivos que ocorrem na natureza
  - ▶ Mutação
  - ▶ Recombinação genética
  - ▶ Seleção natural

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

- ▶ AEs são fortemente inspirados em processos evolutivos que ocorrem na natureza
  - ▶ Mutação
  - ▶ Recombinação genética
  - ▶ Seleção natural
- ▶ Principais componentes de um AE

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

- ▶ AEs são fortemente inspirados em processos evolutivos que ocorrem na natureza
  - ▶ Mutação
  - ▶ Recombinação genética
  - ▶ Seleção natural
- ▶ Principais componentes de um AE
  - ▶ **População** de indivíduos
  - ▶ Cálculo da **aptidão**
  - ▶ **Mudanças dinâmicas** nas populações
  - ▶ **Variabilidade** e **hereditariedade**

- ▶ Em termos biológicos, o cromossomo é a estrutura que codifica como os organismos são constituídos

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos



# Cromossomo, Genes e Alelos

- ▶ Em termos biológicos, o cromossomo é a estrutura que codifica como os organismos são constituídos
- ▶ Nos AEs, os **cromossomos** são as estruturas de dados utilizadas para codificar as possíveis soluções

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

# Cromossomo, Genes e Alelos

- ▶ Em termos biológicos, o cromossomo é a estrutura que codifica como os organismos são constituídos
- ▶ Nos AEs, os **cromossomos** são as estruturas de dados utilizadas para codificar as possíveis soluções
  - ▶ A posição no cromossomo é chamada **gene**
  - ▶ Os valores dos genes são os **alelos**

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

# Cromossomo, Genes e Alelos

- ▶ Em termos biológicos, o cromossomo é a estrutura que codifica como os organismos são constituídos
- ▶ Nos AEs, os **cromossomos** são as estruturas de dados utilizadas para codificar as possíveis soluções
  - ▶ A posição no cromossomo é chamada **gene**
  - ▶ Os valores dos genes são os **alelos**

## Cromossomo

1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---



Alelo = 1  
Gene = 3



Alelo = 0  
Gene = 8

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

- ▶ Cada solução candidata recebe o nome de **indivíduo**

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

- ▶ Cada solução candidata recebe o nome de **indivíduo**
- ▶ A codificação do indivíduo (ou seja, a representação do cromossomo) é o primeiro estágio no projeto de um AE

- ▶ Cada solução candidata recebe o nome de **indivíduo**
- ▶ A codificação do indivíduo (ou seja, a representação do cromossomo) é o primeiro estágio no projeto de um AE
- ▶ É crucial para o bom desempenho do algoritmo

- ▶ Cada solução candidata recebe o nome de **indivíduo**
- ▶ A codificação do indivíduo (ou seja, a representação do cromossomo) é o primeiro estágio no projeto de um AE
- ▶ É crucial para o bom desempenho do algoritmo
- ▶ Um conjunto de indivíduos recebe o nome de **população**

- ▶ A **decodificação** consiste em atribuir um valor, dentro do domínio do problema, para o cromossomo

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos



- ▶ A **decodificação** consiste em atribuir um valor, dentro do domínio do problema, para o cromossomo
  - ▶ Por exemplo, se desejamos maximizar o valor de uma função  $f(x)$ , então o cromossomo pode ser decodificado em um número real, representando o valor de  $x$
  - ▶ Cada problema tem sua maneira de ser decodificado (falaremos sobre isso em breve)

- ▶ A **decodificação** consiste em atribuir um valor, dentro do domínio do problema, para o cromossomo
  - ▶ Por exemplo, se desejamos maximizar o valor de uma função  $f(x)$ , então o cromossomo pode ser decodificado em um número real, representando o valor de  $x$
  - ▶ Cada problema tem sua maneira de ser decodificado (falaremos sobre isso em breve)
- ▶ Em termos biológicos, o valor do cromossomo decodificado é chamado de **fenótipo**

- ▶ A **decodificação** consiste em atribuir um valor, dentro do domínio do problema, para o cromossomo
  - ▶ Por exemplo, se desejamos maximizar o valor de uma função  $f(x)$ , então o cromossomo pode ser decodificado em um número real, representando o valor de  $x$
  - ▶ Cada problema tem sua maneira de ser decodificado (falaremos sobre isso em breve)
- ▶ Em termos biológicos, o valor do cromossomo decodificado é chamado de **fenótipo**
- ▶ O fenótipo é obtido a partir da **função objetivo**

- Uma vez decodificados, os indivíduos (com seus respectivos cromossomos) podem ser classificados (ranqueados)

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

- ▶ Uma vez decodificados, os indivíduos (com seus respectivos cromossomos) podem ser classificados (ranqueados)
- ▶ Para essa classificação, atribuímos uma “nota” ao fenótipo

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

- ▶ Uma vez decodificados, os indivíduos (com seus respectivos cromossomos) podem ser classificados (ranqueados)
- ▶ Para essa classificação, atribuímos uma “nota” ao fenótipo
  - ▶ Ou seja, os indivíduos com melhores fenótipos são os mais adequados

- ▶ Uma vez decodificados, os indivíduos (com seus respectivos cromossomos) podem ser classificados (ranqueados)
- ▶ Para essa classificação, atribuímos uma “nota” ao fenótipo
  - ▶ Ou seja, os indivíduos com melhores fenótipos são os mais adequados
- ▶ Essa nota recebe o nome de **aptidão** ou *fitness*

- ▶ Uma vez decodificados, os indivíduos (com seus respectivos cromossomos) podem ser classificados (ranqueados)
- ▶ Para essa classificação, atribuímos uma “nota” ao fenótipo
  - ▶ Ou seja, os indivíduos com melhores fenótipos são os mais adequados
- ▶ Essa nota recebe o nome de **aptidão** ou *fitness*
- ▶ Essa classificação se dá de diferentes maneiras



Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

- ▶ AEs são algoritmos iterativos

- ▶ AEs são algoritmos iterativos
- ▶ A cada iteração, busca-se melhorar a qualidade das soluções candidatas

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

- ▶ AEs são algoritmos iterativos
- ▶ A cada iteração, busca-se melhorar a qualidade das soluções candidatas
- ▶ Ou seja, procura-se aumentar a aptidão dos indivíduos

- ▶ AEs são algoritmos iterativos
- ▶ A cada iteração, busca-se melhorar a qualidade das soluções candidatas
- ▶ Ou seja, procura-se aumentar a aptidão dos indivíduos
- ▶ Cada iteração recebe o nome de **geração**

- ▶ A cada geração, são selecionados alguns indivíduos para **reprodução**

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

- ▶ A cada geração, são selecionados alguns indivíduos para **reprodução**
- ▶ Essa é a parte central dos AEs: a partir de dois ou mais “reprodutores”, gera-se um ou mais “descendentes”

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

- ▶ A cada geração, são selecionados alguns indivíduos para **reprodução**
- ▶ Essa é a parte central dos AEs: a partir de dois ou mais “reprodutores”, gera-se um ou mais “descendentes”
- ▶ Aqui, também, está a diferença fundamental entre as diferentes abordagens de AEs...

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

- ▶ A cada geração, são selecionados alguns indivíduos para **reprodução**
- ▶ Essa é a parte central dos AEs: a partir de dois ou mais “reprodutores”, gera-se um ou mais “descendentes”
- ▶ Aqui, também, está a diferença fundamental entre as diferentes abordagens de AEs...
- ▶ Dependendo do algoritmo utilizado, e do problema tratado, temos diferentes operadores de seleção e reprodução

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos



- ▶ Não há uma regra para definir número de gerações a ser executado

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

- ▶ Não há uma regra para definir número de gerações a ser executado
- ▶ Em geral, estima-se um valor grande, dentro do tolerável

- ▶ Não há uma regra para definir número de gerações a ser executado
- ▶ Em geral, estima-se um valor grande, dentro do tolerável
- ▶ Outro critério comum é a **convergência**

- ▶ Não há uma regra para definir número de gerações a ser executado
- ▶ Em geral, estima-se um valor grande, dentro do tolerável
- ▶ Outro critério comum é a **convergência**
- ▶ Ou seja, executa-se o AE até que todos (ou a maior parte de) seus indivíduos possuam a mesma aptidão

## Estrutura básica de um AE

**Crie** uma população com **indivíduos** aleatórios (soluções candidatas);

**Avalie** (calcule a aptidão de) todos os indivíduos;

**enquanto** *o critério de parada não for satisfeito* **faça**

**Selecione** genitores a partir da população de pais;

    Crie descendentes usando **operadores de reprodução**  
    sobre os genitores;

**Avalie** os novos descendentes;

**Troque** alguns pais pelos descendentes;

**fim**

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores Genéticos

Problema da Mochila

Avaliação de Desempenho

Próximos Passos

Introdução

Base Biológica

**Prática**

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

Introdução

Base Biológica

**Prática**

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

- ▶ Vamos programar um pouco?

- ▶ Soma dos bits de um vetor
  - ▶  $C : \langle 0, 1, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 1, 0 \rangle = 5$
  - ▶  $C : \langle 0, 1, 1, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 1 \rangle = 7$



- ▶ Soma dos bits de um vetor
  - ▶  $C : \langle 0, 1, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 1, 0 \rangle = 5$
  - ▶  $C : \langle 0, 1, 1, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 1 \rangle = 7$

- ▶ Formalmente:

$$\max \sum_{i=1}^n C_i$$

- ▶ Vamos implementar?

Introdução

Introdução

Base Biológica

Base Biológica

Prática

Prática

**Operadores Genéticos**

**Operadores  
Genéticos**

Problema da  
Mochila

Problema da Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Avaliação de Desempenho

Próximos Passos

Próximos Passos

Introdução

Base Biológica

Prática

**Operadores  
Genéticos**

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

- ▶ Vamos olhar nosso AE mais a fundo

- ▶ A **mutação** operador de mutação modifica aleatoriamente um ou mais genes de um cromossomo

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

- ▶ A **mutação** operador de mutação modifica aleatoriamente um ou mais genes de um cromossomo
- ▶ Um indivíduo gera uma cópia de si mesmo, a qual pode sofrer alterações

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

- ▶ A **mutação** operador de mutação modifica aleatoriamente um ou mais genes de um cromossomo
- ▶ Um indivíduo gera uma cópia de si mesmo, a qual pode sofrer alterações
- ▶ A probabilidade de ocorrência de mutação em um gene é denominada **taxa de mutação**

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

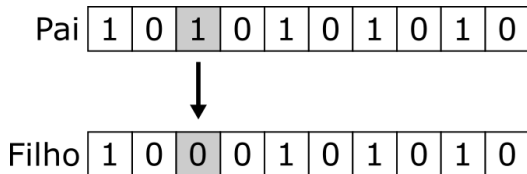
Próximos Passos

- ▶ A **mutação** operador de mutação modifica aleatoriamente um ou mais genes de um cromossomo
- ▶ Um indivíduo gera uma cópia de si mesmo, a qual pode sofrer alterações
- ▶ A probabilidade de ocorrência de mutação em um gene é denominada **taxa de mutação**
  - ▶ Em geral, esse valor é pequeno

- ▶ A **mutação** operador de mutação modifica aleatoriamente um ou mais genes de um cromossomo
- ▶ Um indivíduo gera uma cópia de si mesmo, a qual pode sofrer alterações
- ▶ A probabilidade de ocorrência de mutação em um gene é denominada **taxa de mutação**
  - ▶ Em geral, esse valor é pequeno
- ▶ É também chamado de **reprodução assexuada**



# Exemplo de Mutação



# Recombinação

- ▶ A **recombinação** operador de recombinação é o mecanismo de obtenção de novos indivíduos

- ▶ A **recombinação** operador de recombinação é o mecanismo de obtenção de novos indivíduos
  - ▶ Efetua troca ou combinação dos alelos de dois ou mais indivíduos

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

- ▶ A **recombinação** operador de recombinação é o mecanismo de obtenção de novos indivíduos
  - ▶ Efetua troca ou combinação dos alelos de dois ou mais indivíduos
- ▶ É o principal operador de reprodução dos algoritmos genéticos

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

- ▶ A **recombinação** operador de recombinação é o mecanismo de obtenção de novos indivíduos
  - ▶ Efetua troca ou combinação dos alelos de dois ou mais indivíduos
- ▶ É o principal operador de reprodução dos algoritmos genéticos
- ▶ Fragmentos das características de um indivíduo são trocadas por um fragmento equivalente oriundo de outro indivíduo

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

- ▶ A **recombinação** operador de recombinação é o mecanismo de obtenção de novos indivíduos
  - ▶ Efetua troca ou combinação dos alelos de dois ou mais indivíduos
- ▶ É o principal operador de reprodução dos algoritmos genéticos
- ▶ Fragmentos das características de um indivíduo são trocadas por um fragmento equivalente oriundo de outro indivíduo
- ▶ O resultado desta operação é um indivíduo que combina características de seus pais

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

- ▶ A **recombinação** operador de recombinação é o mecanismo de obtenção de novos indivíduos
  - ▶ Efetua troca ou combinação dos alelos de dois ou mais indivíduos
- ▶ É o principal operador de reprodução dos algoritmos genéticos
- ▶ Fragmentos das características de um indivíduo são trocadas por um fragmento equivalente oriundo de outro indivíduo
- ▶ O resultado desta operação é um indivíduo que combina características de seus pais
- ▶ É conhecido como **crossover** (*crossing-over*) e **reprodução sexuada**

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

# Exemplo de Recombinação

	Ponto de corte									
Pai 1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
Pai 2	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1
Filho 1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1
Filho 2	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0



# Outro Exemplo de Recombinação

	Pontos de corte									
Pai 1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
Pai 2	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1
Filho 1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0
Filho 2	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1

# Retomando...

- Vamos melhorar nosso primeiro algoritmo?

- ▶ Vamos melhorar nosso primeiro algoritmo?
- ▶ Implementaremos:
  - ▶ Uma população de indivíduos
  - ▶ A seleção de dois pais
  - ▶ Uma recombinação
  - ▶ Uma mutação

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores Genéticos

Problema da Mochila

Avaliação de Desempenho

Próximos Passos

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

**Problema da  
Mochila**

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

# Problema da Mochila

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

**Problema da  
Mochila**

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

- ▶ Um problema clássico... e complexo
- ▶ Como os AEs podem ser úteis aqui?

- ▶ O **problema da mochila** (*knapsack*) é um problema de otimização combinatória

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

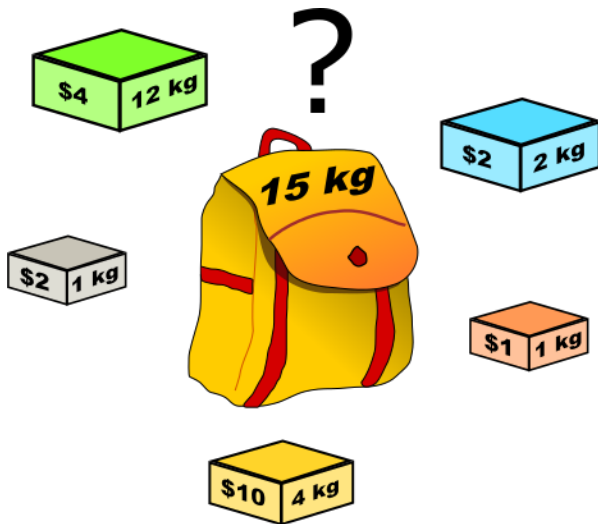
Próximos Passos

- ▶ O **problema da mochila** (*knapsack*) é um problema de otimização combinatória
- ▶ Consistem em preencher uma mochila com objetos de diferentes pesos e valores

- ▶ O **problema da mochila** (*knapsack*) é um problema de otimização combinatória
- ▶ Consistem em preencher uma mochila com objetos de diferentes pesos e valores
- ▶ O objetivo é que se preencha a mochila com o maior valor (lucro) possível, não ultrapassando o peso máximo



# Problema da Mochila



## Formalmente

$$\sum_{i=1}^n v_i x_i, \text{ sujeito a } \sum_{i=1}^n w_i x_i \leq W.$$

sendo que:

- ▶  $W$  é a capacidade total da mochila
- ▶  $n$  é o número de itens
- ▶  $w_i$  é o peso do item  $i$
- ▶  $v_i$  é o valor do item  $i$
- ▶ A variável  $x_i \in \{0, 1\}$  indica se o item será colocado na mochila ( $x_i = 1$ ) ou será descartado ( $x_i = 0$ )

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

# Um Algoritmo Genético para o Problema da Mochila

Algoritmos  
Evolutivos

phrg@ufu.br

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

**Problema da  
Mochila**

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

O que precisamos?

# Um Algoritmo Genético para o Problema da Mochila

O que precisamos?

1. Como codificar nossos cromossomos?

# Um Algoritmo Genético para o Problema da Mochila

O que precisamos?

1. Como codificar nossos cromossomos?
2. Como avaliar nossos indivíduos?

# Um Algoritmo Genético para o Problema da Mochila

O que precisamos?

1. Como codificar nossos cromossomos?
2. Como avaliar nossos indivíduos?
3. Como implementar cada geração?

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores Genéticos

Problema da Mochila

Avaliação de Desempenho

Próximos Passos

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

- ▶ Como saber se meu AE é, de fato, bom
- ▶ Podemos melhorá-lo?



# Um problema com os algoritmos evolutivos

- ▶ AEs são algoritmos estocásticos

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

# Um problema com os algoritmos evolutivos

- ▶ AEs são algoritmos estocásticos
- ▶ Ou seja: várias de suas etapas dependem de decisões aleatórias

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

# Um problema com os algoritmos evolutivos

- ▶ AEs são algoritmos estocásticos
- ▶ Ou seja: várias de suas etapas dependem de decisões aleatórias
  - ▶ A população é gerada aleatoriamente
  - ▶ A reprodução ocorre de maneira aleatória
  - ▶ A seleção tem um forte componente aleatório

# Um problema com os algoritmos evolutivos

- ▶ AEs são algoritmos estocásticos
- ▶ Ou seja: várias de suas etapas dependem de decisões aleatórias
  - ▶ A população é gerada aleatoriamente
  - ▶ A reprodução ocorre de maneira aleatória
  - ▶ A seleção tem um forte componente aleatório
- ▶ Logo, **jamaís** podemos garantir que a população final trará, de fato, a solução do problema

# O que fazer?

Algoritmos  
Evolutivos

phrg@ufu.br

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

# O que fazer?

## Resposta

- ▶ Estatística básica!

# O que fazer?

## Resposta

- ▶ Estatística básica!
- ▶ Não adianta apenas executar o AE uma única vez

# O que fazer?

## Resposta

- ▶ Estatística básica!
- ▶ Não adianta apenas executar o AE uma única vez
  - ▶ Ele pode ter “tido sorte” e encontrado a solução...
  - ▶ ...ou “azar”, e não convergir para uma boa solução

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos



# O que fazer?

## Resposta

- ▶ Estatística básica!
- ▶ Não adianta apenas executar o AE uma única vez
  - ▶ Ele pode ter “tido sorte” e encontrado a solução...
  - ▶ ...ou “azar”, e não convergir para uma boa solução
- ▶ Executa-se o AE repetidas, gerando-se diversas populações finais

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

# O que fazer?

## Resposta

- ▶ Estatística básica!
- ▶ Não adianta apenas executar o AE uma única vez
  - ▶ Ele pode ter “tido sorte” e encontrado a solução...
  - ▶ ...ou “azar”, e não convergir para uma boa solução
- ▶ Executa-se o AE repetidas, gerando-se diversas populações finais
- ▶ Em seguida, calcula-se a média e o desvio-padrão de todas essas populações

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

# O que fazer?

## Resposta

- ▶ Estatística básica!
- ▶ Não adianta apenas executar o AE uma única vez
  - ▶ Ele pode ter “tido sorte” e encontrado a solução. . .
  - ▶ . . .ou “azar”, e não convergir para uma boa solução
- ▶ Executa-se o AE repetidas, gerando-se diversas populações finais
- ▶ Em seguida, calcula-se a média e o desvio-padrão de todas essas populações
- ▶ **Lei dos grande números:** “a média aritmética dos resultados da realização da mesma experiência repetidas vezes tende a se aproximar do valor esperado”

- Pode ser interessante observar a média e o desvio-padrão da população a cada nova geração

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

- ▶ Pode ser interessante observar a média e o desvio-padrão da população a cada nova geração
- ▶ Isso nos permite observar se a qualidade da solução está melhorando, consideravelmente, a cada geração

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

- ▶ Pode ser interessante observar a média e o desvio-padrão da população a cada nova geração
- ▶ Isso nos permite observar se a qualidade da solução está melhorando, consideravelmente, a cada geração
- ▶ Caso não esteja, pode ser que:
  - ▶ Ou nosso algoritmo convergiu (e isso pode não ser muito bom...)

- ▶ Pode ser interessante observar a média e o desvio-padrão da população a cada nova geração
- ▶ Isso nos permite observar se a qualidade da solução está melhorando, consideravelmente, a cada geração
- ▶ Caso não esteja, pode ser que:
  - ▶ Ou nosso algoritmo convergiu (e isso pode não ser muito bom...)
  - ▶ Ou os operadores de reprodução não estão sendo adequados

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores Genéticos

Problema da Mochila

Avaliação de Desempenho

Próximos Passos

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

**Próximos Passos**



- ▶ Um pequeno guia sobre leituras complementares e estudos mais aprofundados



E.G.M. de Lacerda; André C.P.L.F. de Carvalho; Teresa.  
B Ludermir

*Um tutorial sobre algoritmos genéticos.*

Revista de Informática Teórica e Aplicada, v. 9, n. 3,  
p. 7–39, 2002.

Disponível em: <https://tinyurl.com/y396fppz>

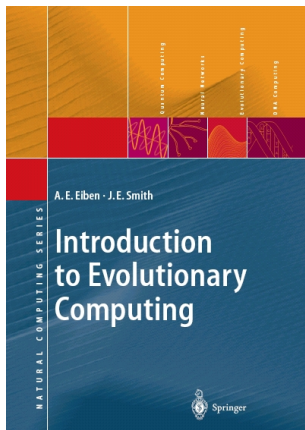
# Livro Texto



A.E. Eiben; J.E. Smith

*Introduction to Evolutionary Computing.*

Springer, 299 p., 2003.



Algoritmos  
Evolutivos

phrg@ufu.br

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos

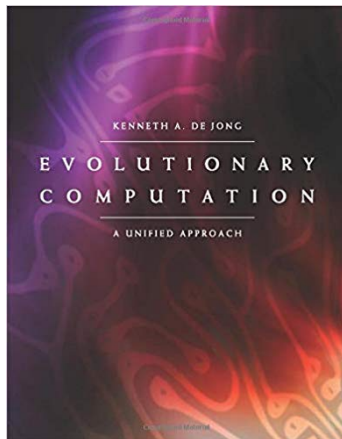
# Outro Ótimo Livro



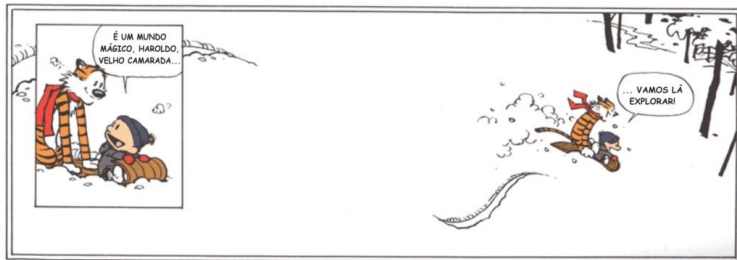
Kenneth A. De Jong

*Evolutionary Computation: A Unified Approach.*

MIT Press, 256 p., 2006.



# Obrigado!



- ▶ **in** <https://www.linkedin.com/in/paulohrgabriel>
- ▶ **G** <https://github.com/paulohrgabriel>
  - ▶ Todos os códigos-fonte deste minicurso estão em:  
<https://github.com/paulohrgabriel/minicurso-semcomp22>

Introdução

Base Biológica

Prática

Operadores  
Genéticos

Problema da  
Mochila

Avaliação de  
Desempenho

Próximos Passos