

SICO7A

SISTEMAS INTELIGENTES 1

Aula 03 H - Algoritmos Genéticos

Prof. Rafael G. **Mantovani**

Roteiro



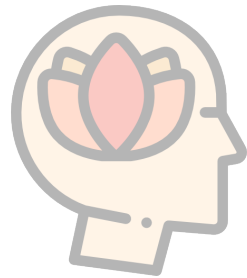
- 1 Introdução**
- 2 Métodos Populacionais**
- 3 Algoritmos Genéticos**
- 4 Operadores**
- 5 Exercícios**
- 6 Referências**

Roteiro

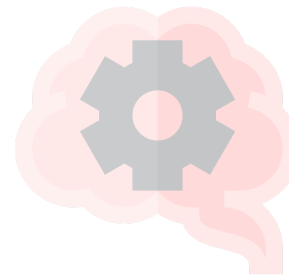
- 1 Introdução**
- 2 Métodos Populacionais**
- 3 Algoritmos Genéticos**
- 4 Operadores**
- 5 Exercícios**
- 6 Referências**

Introdução

IA
Simbólica



IA
Conexionista



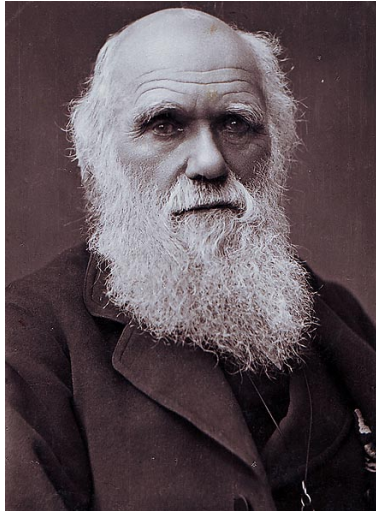
IA
Evolutiva



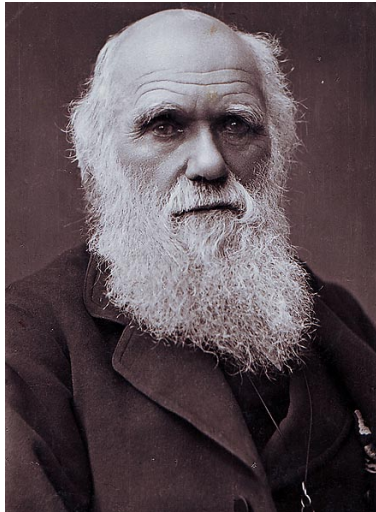
IA
Distribuída



Introdução



Introdução

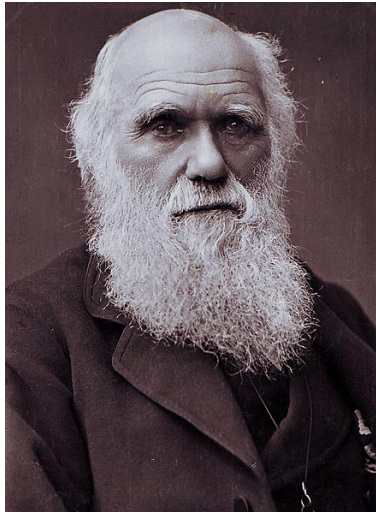


Charles Darwin



Gregor Mendel

Introdução



Charles Darwin

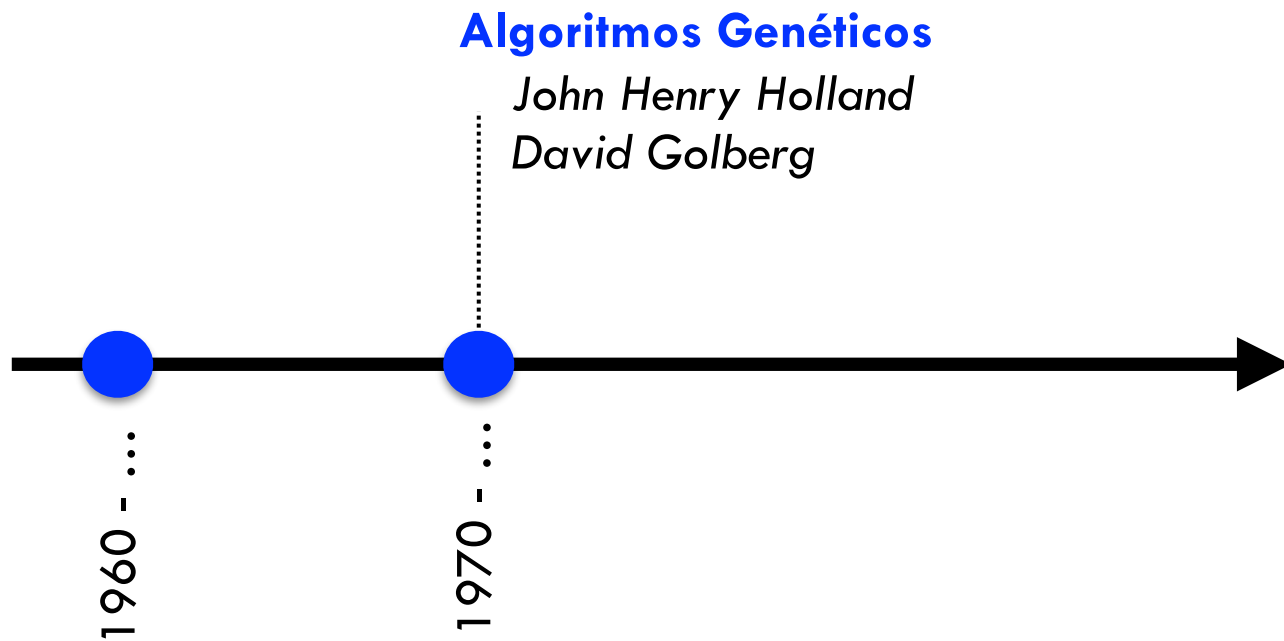
1859: Teoria da Seleção Natural



Gregor Mendel

1865: Genética

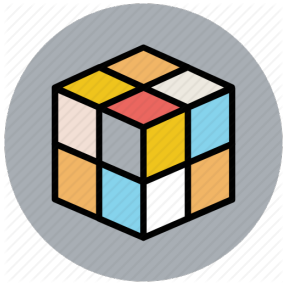
Introdução



Introdução

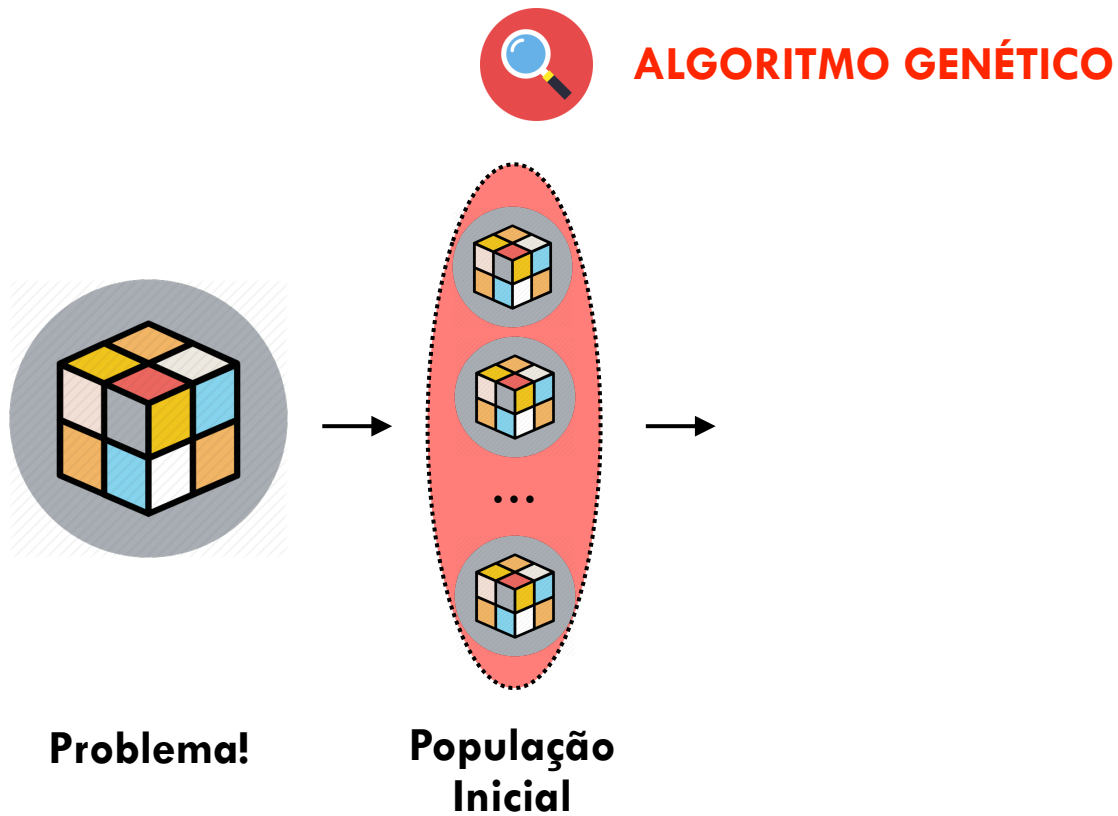


ALGORITMO GENÉTICO

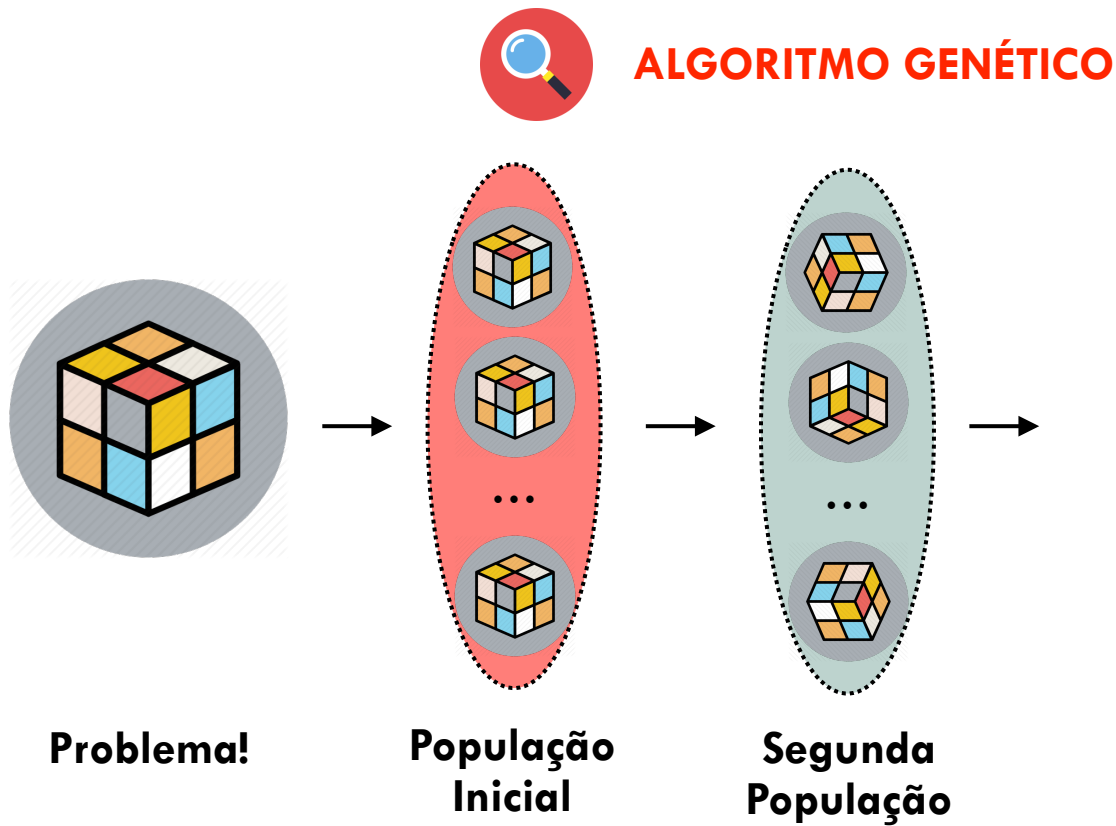


Problema!

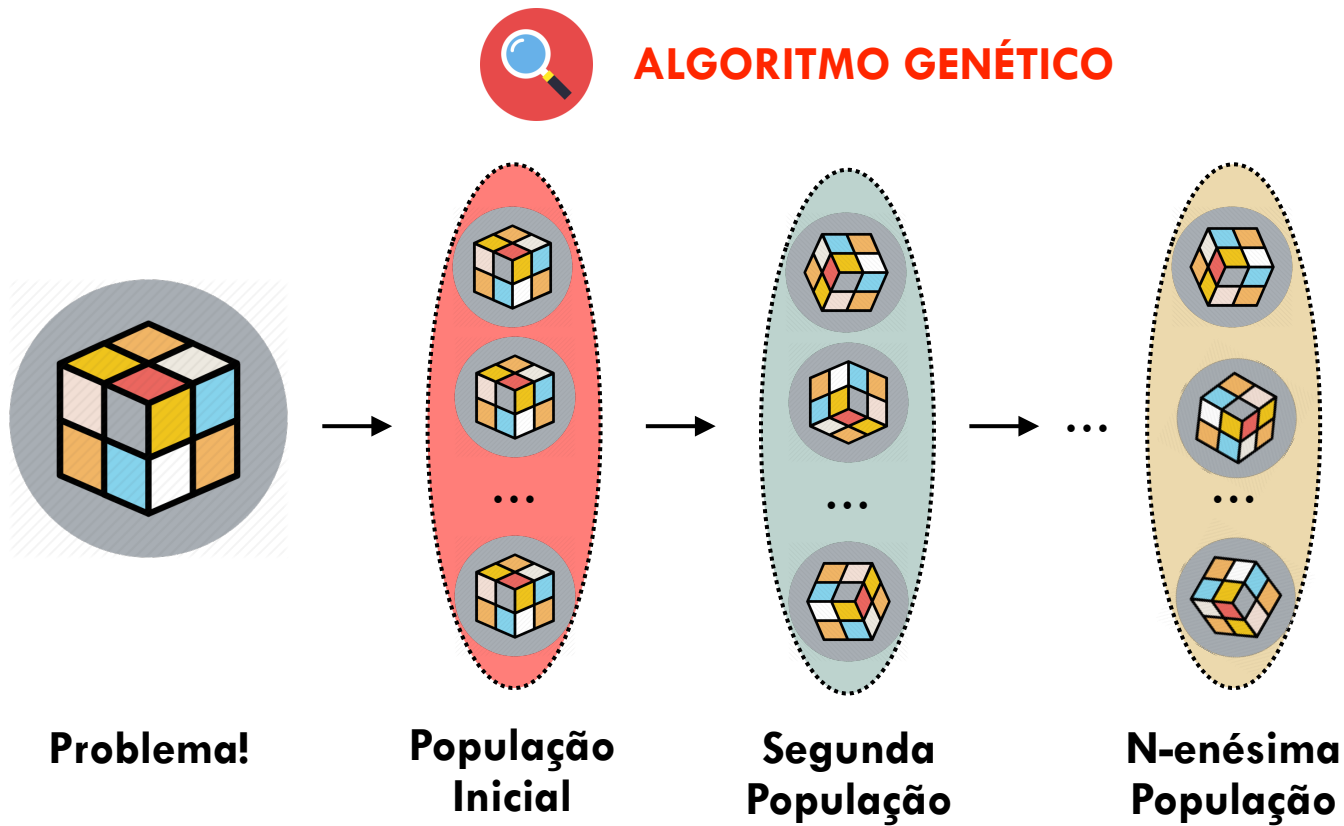
Introdução



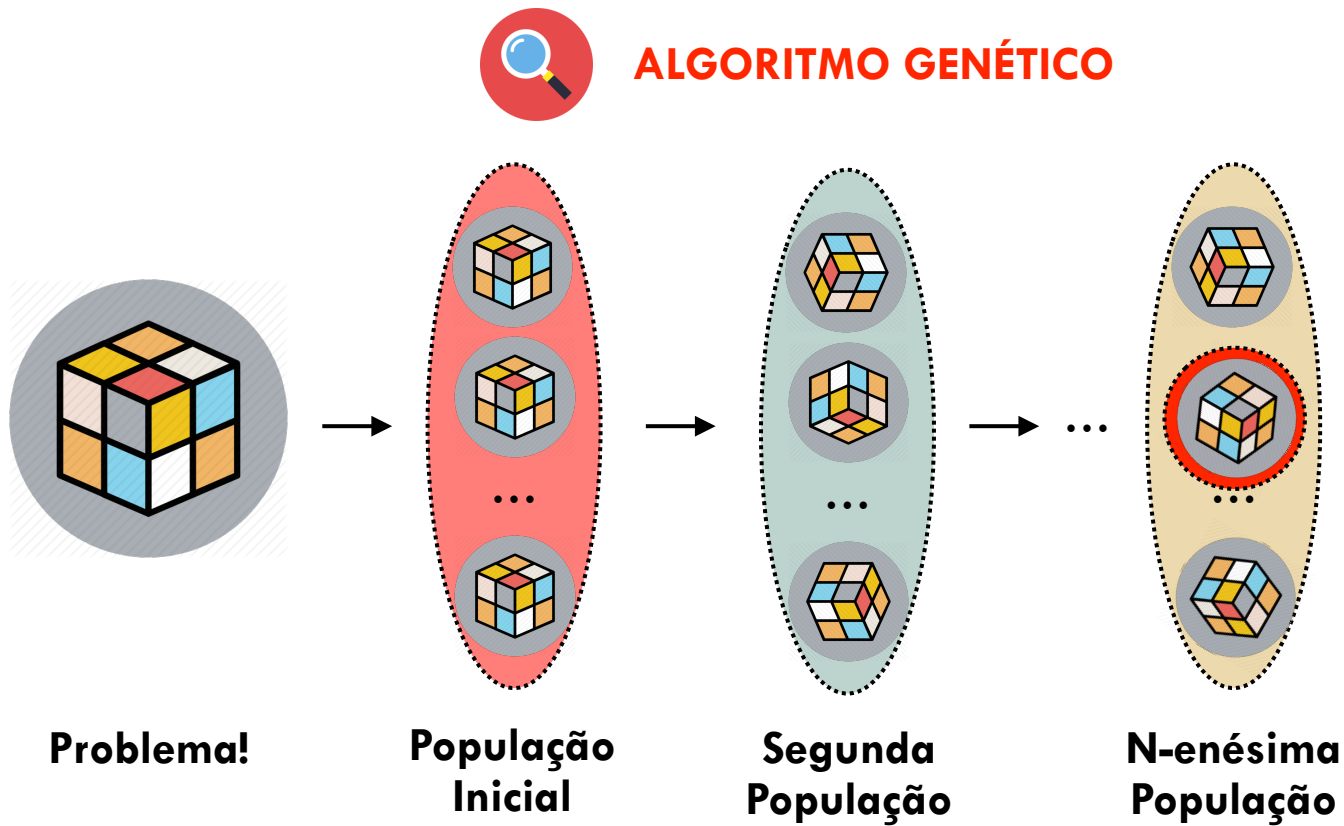
Introdução



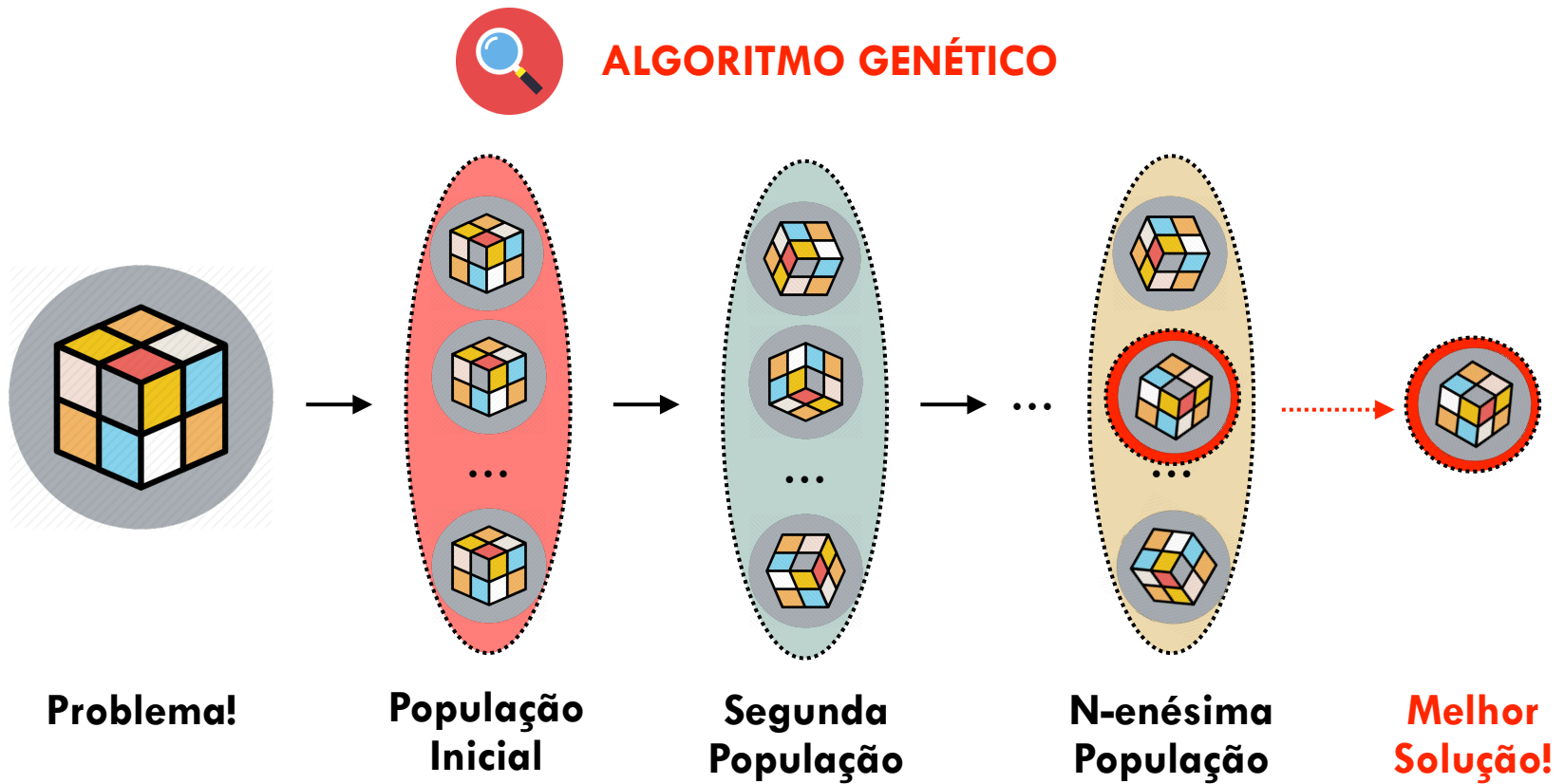
Introdução



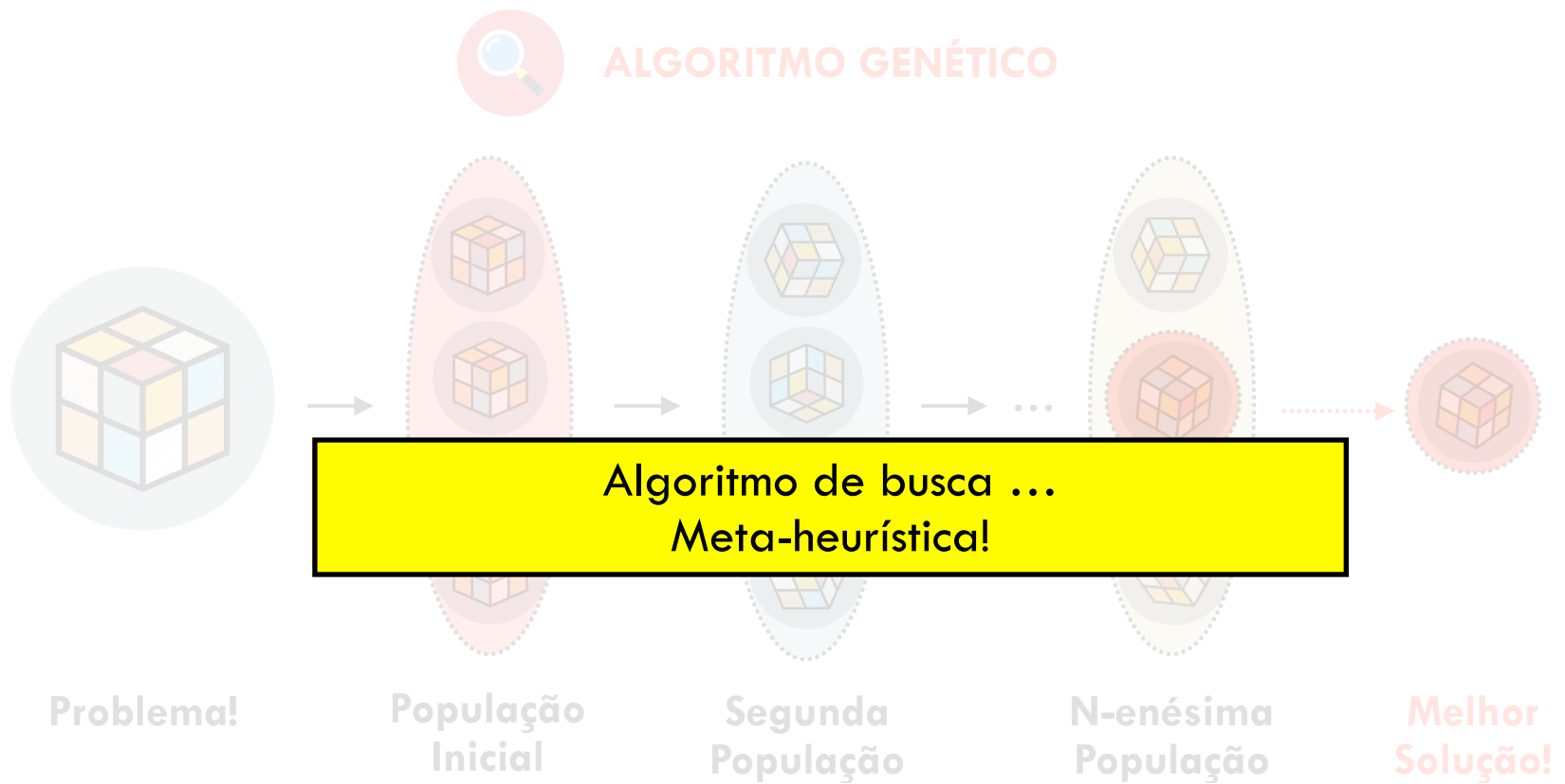
Introdução



Introdução



Introdução



Roteiro



- 1 Introdução
- 2 Métodos Populacionais
- 3 Algoritmos Genéticos
- 4 Exercícios
- 5 Referências

Métodos Populacionais



Métodos Populacionais



Método populacional: possuem uma amostra de soluções candidatas ao invés de uma única solução.

Métodos Populacionais



Método populacional: possuem uma amostra de soluções candidatas ao invés de uma única solução.

- Cada solução está envolvida com processos de **ajuste** e **avaliação**

Métodos Populacionais

Método populacional: possuem uma amostra de soluções candidatas ao invés de uma única solução.

- Cada solução está envolvida com processos de **ajuste** e **avaliação**
- Soluções candidatas afetam **como** as outras soluções candidatas vão se adaptar

Métodos Populacionais

Método populacional: possuem uma amostra de soluções candidatas ao invés de uma única solução.

- Cada solução está envolvida com processos de **ajuste** e **avaliação**
- Soluções candidatas afetam **como** as outras soluções candidatas vão se adaptar
- Inspiração na **biologia**

Métodos Populacionais

Método populacional: possuem uma amostra de soluções candidatas ao invés de uma única solução.

- Cada solução está envolvida com processos de **ajuste** e **avaliação**
- Soluções candidatas afetam **como** as outras soluções candidatas vão se adaptar
- Inspiração na **biologia**

Computação Evolutiva !

Métodos Populacionais

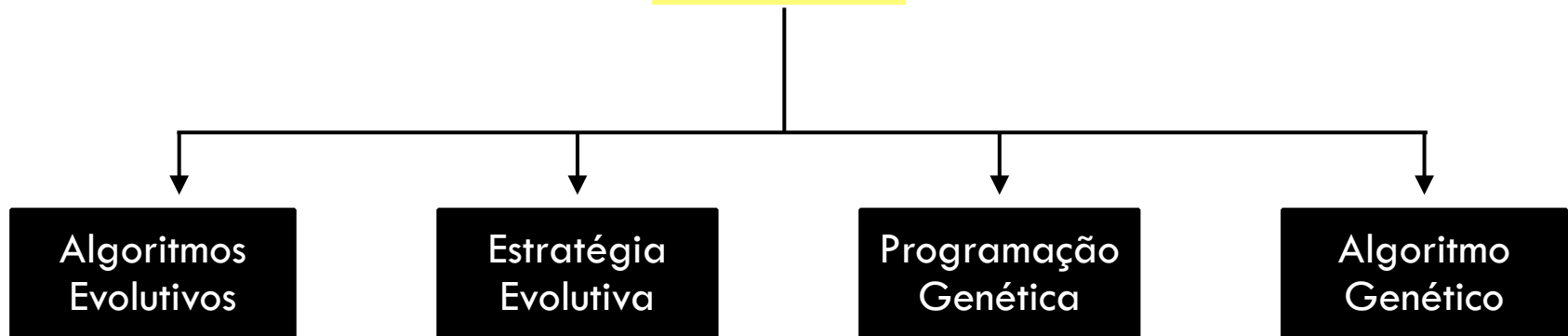


**Computação
Evolutiva**

Métodos Populacionais



**Computação
Evolutiva**



Métodos Populacionais



Termos comuns usados na Computação Evolutiva



Métodos Populacionais

Termos comuns usados na Computação Evolutiva

Indivíduo: uma solução candidata

Filho/Pai: um **filho** é uma cópia ajustada de uma solução candidata (seu **pai**)

População: um conjunto de soluções candidatas (**indivíduos**)

Fitness: qualidade

Superfície de Fitness: função de qualidade

Avaliação: computar o **fitness** (qualidade) de um **indivíduo**

Seleção: escolher alguns indivíduos baseados no **fitness**

Mutação: ajuste planejado. Funciona como uma reprodução "assexuada"

Crossover: ajuste especial que manipula dois **pais**, mistura seus conteúdos, e produz novos **filhos**. Funciona como uma reprodução "sexuada"

Métodos Populacionais

Termos comuns usados na Computação Evolutiva

Reprodução: produz um ou mais **filhos** a partir de uma população de **pais** através de um processo iterativo de **seleção** e ajuste (tipicamente **mutação**)

Genótipo/Genoma: a estrutura de dados de um **indivíduo**, usada durante a **reprodução**

Cromossomo: um **genótipo** na forma de um vetor de tamanho fixo

Gene: uma posição do **cromossomo**

Alelo: uma configuração específica de um **gene**

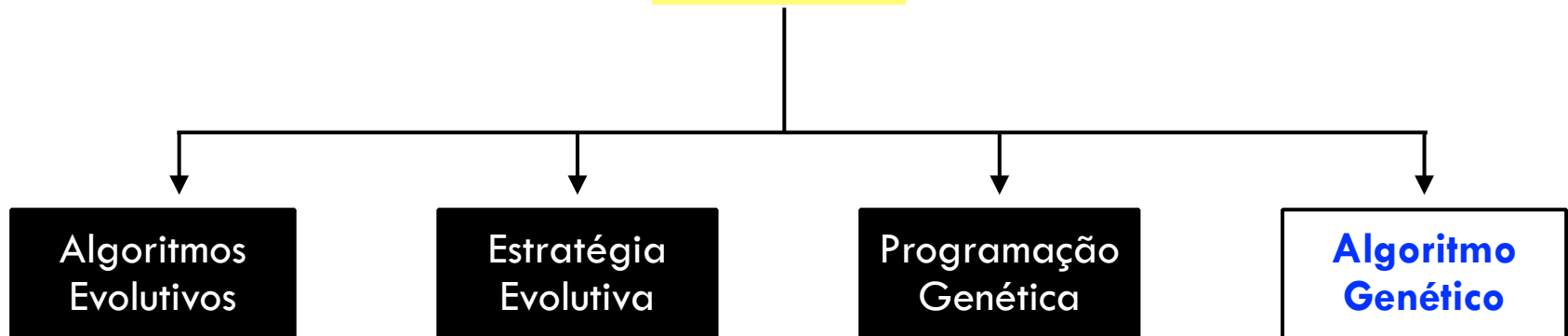
Fenótipo: como os **indivíduos** operam durante a avaliação de **fitness**

Geração: um ciclo de avaliação de **fitness**, **reprodução** e recombinação de **população**, a **população** produzida em cada ciclo

Métodos Populacionais



**Computação
Evolutiva**

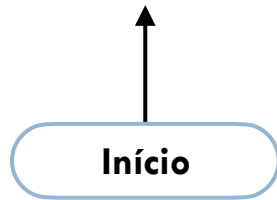


Roteiro

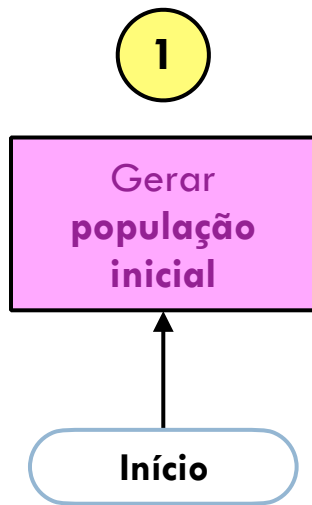


- 1 Introdução
- 2 Métodos Populacionais
- 3 Algoritmos Genéticos
- 4 Operadores
- 5 Exercícios
- 6 Referências

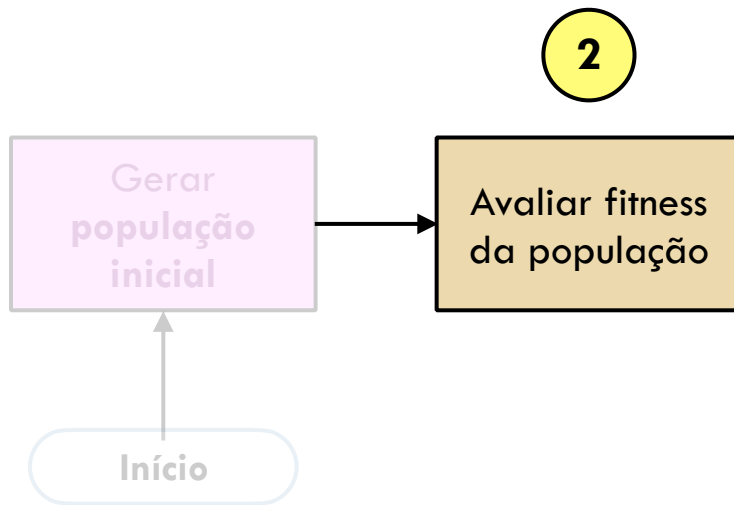
Algoritmos Genéticos



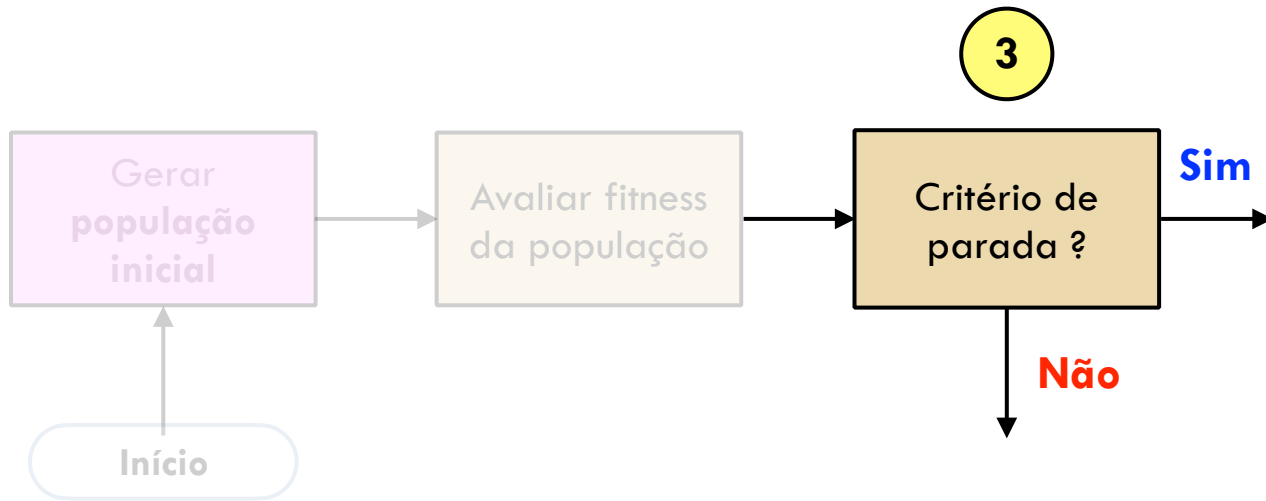
Algoritmos Genéticos



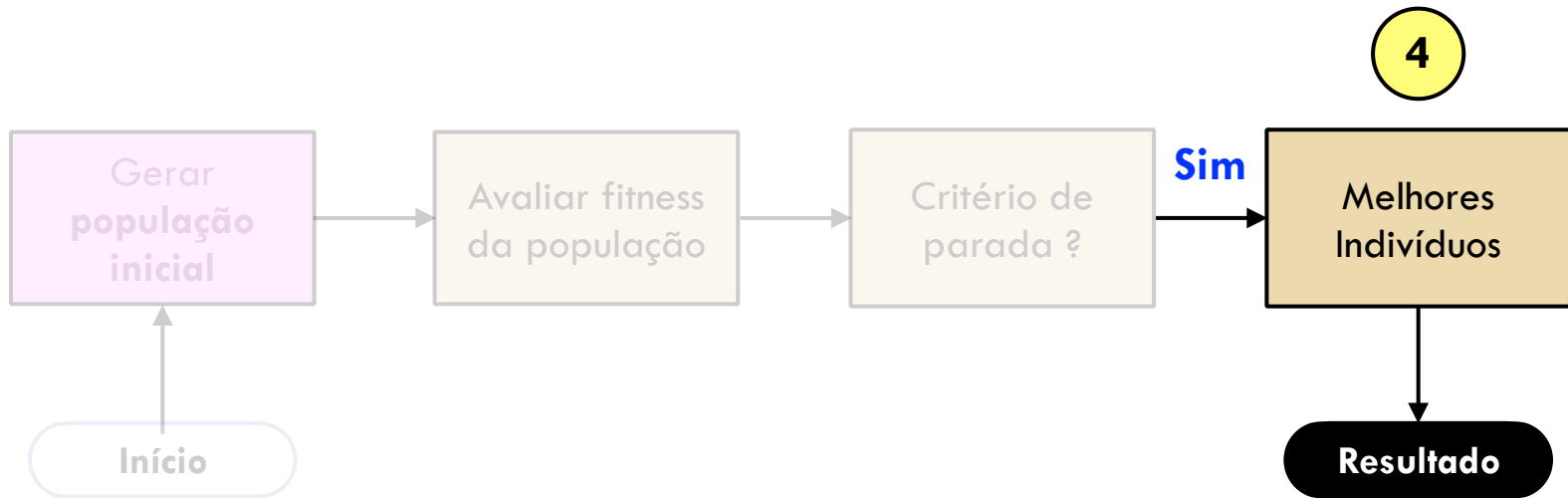
Algoritmos Genéticos



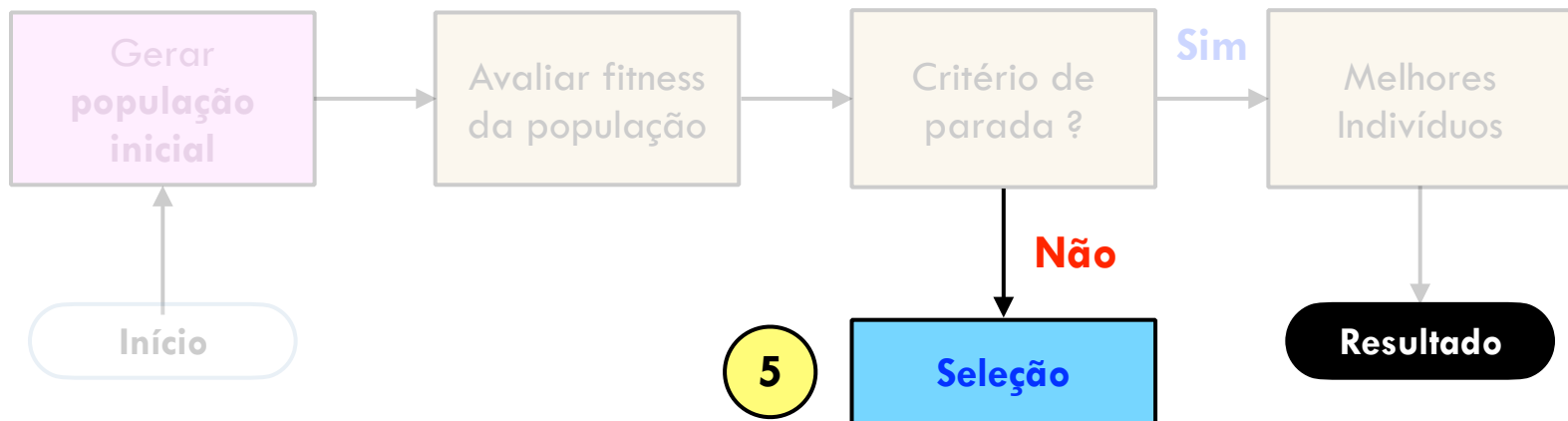
Algoritmos Genéticos



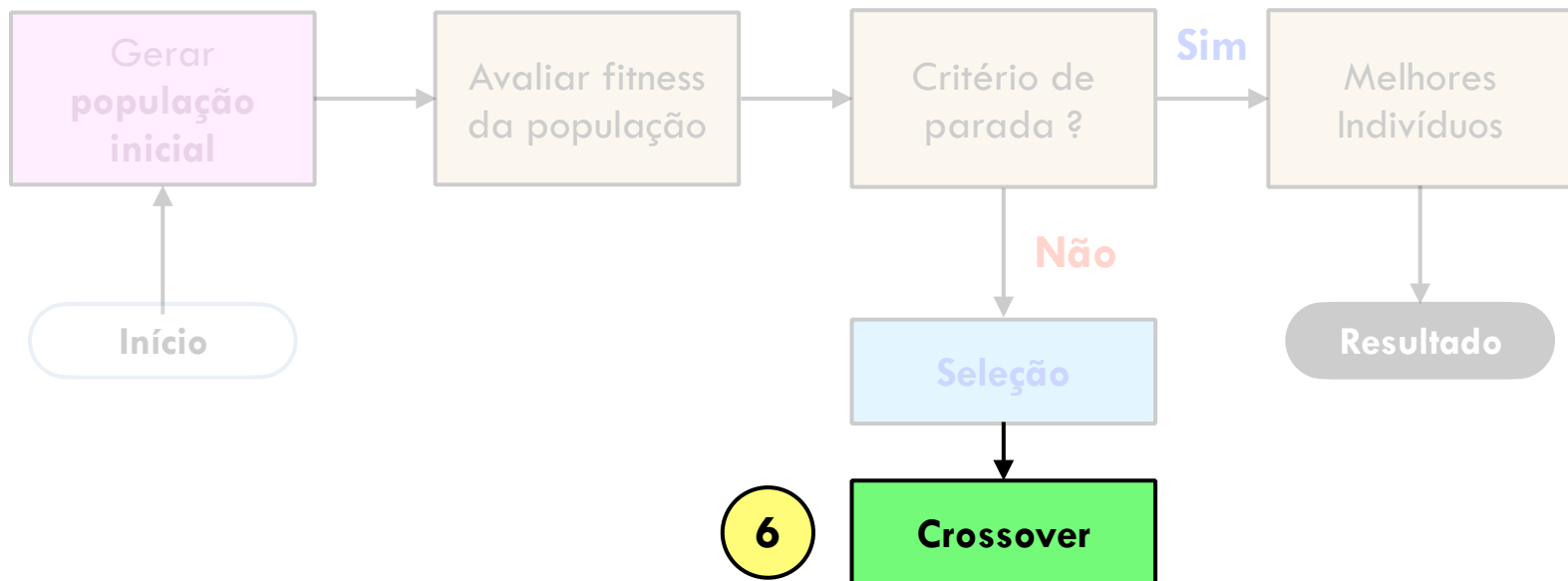
Algoritmos Genéticos



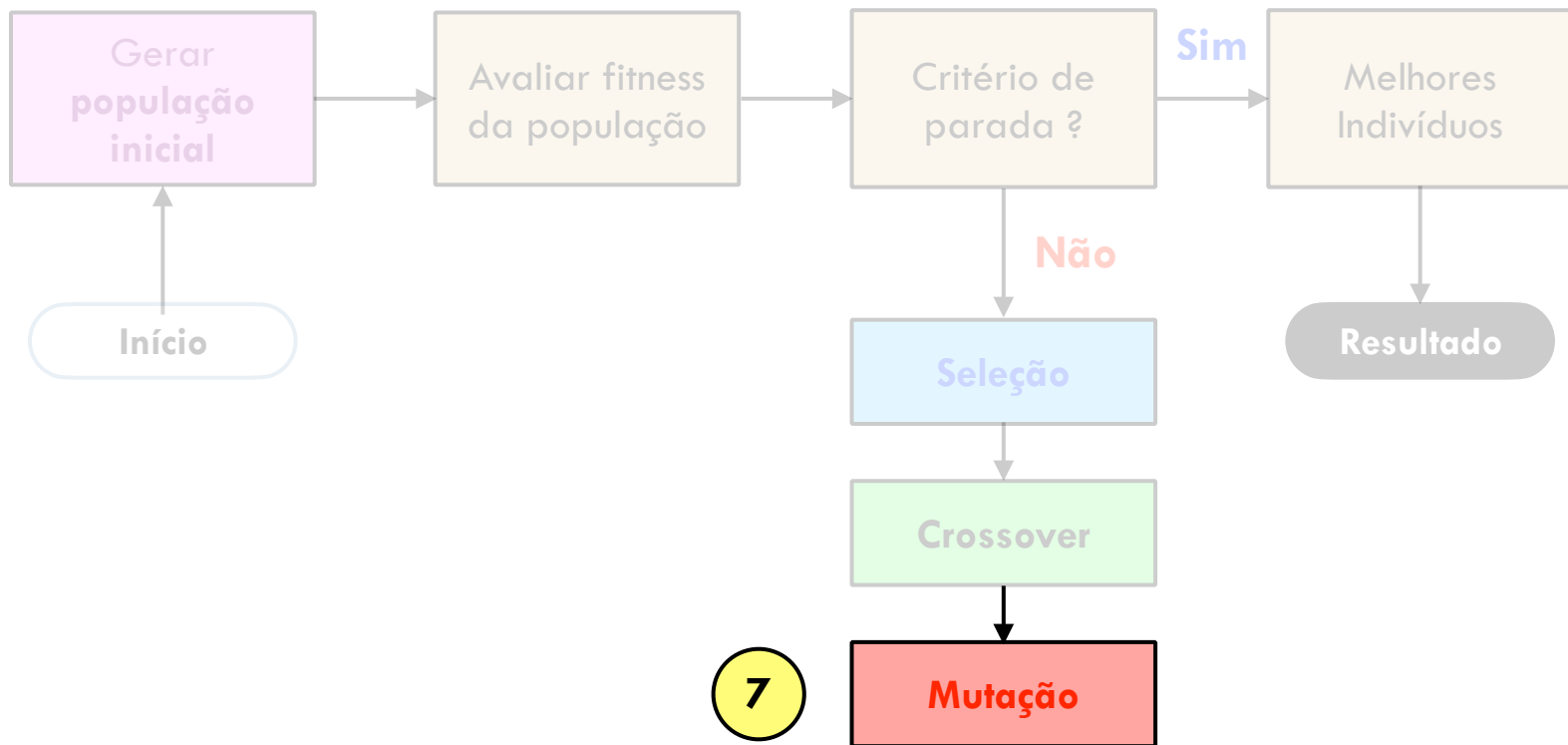
Algoritmos Genéticos



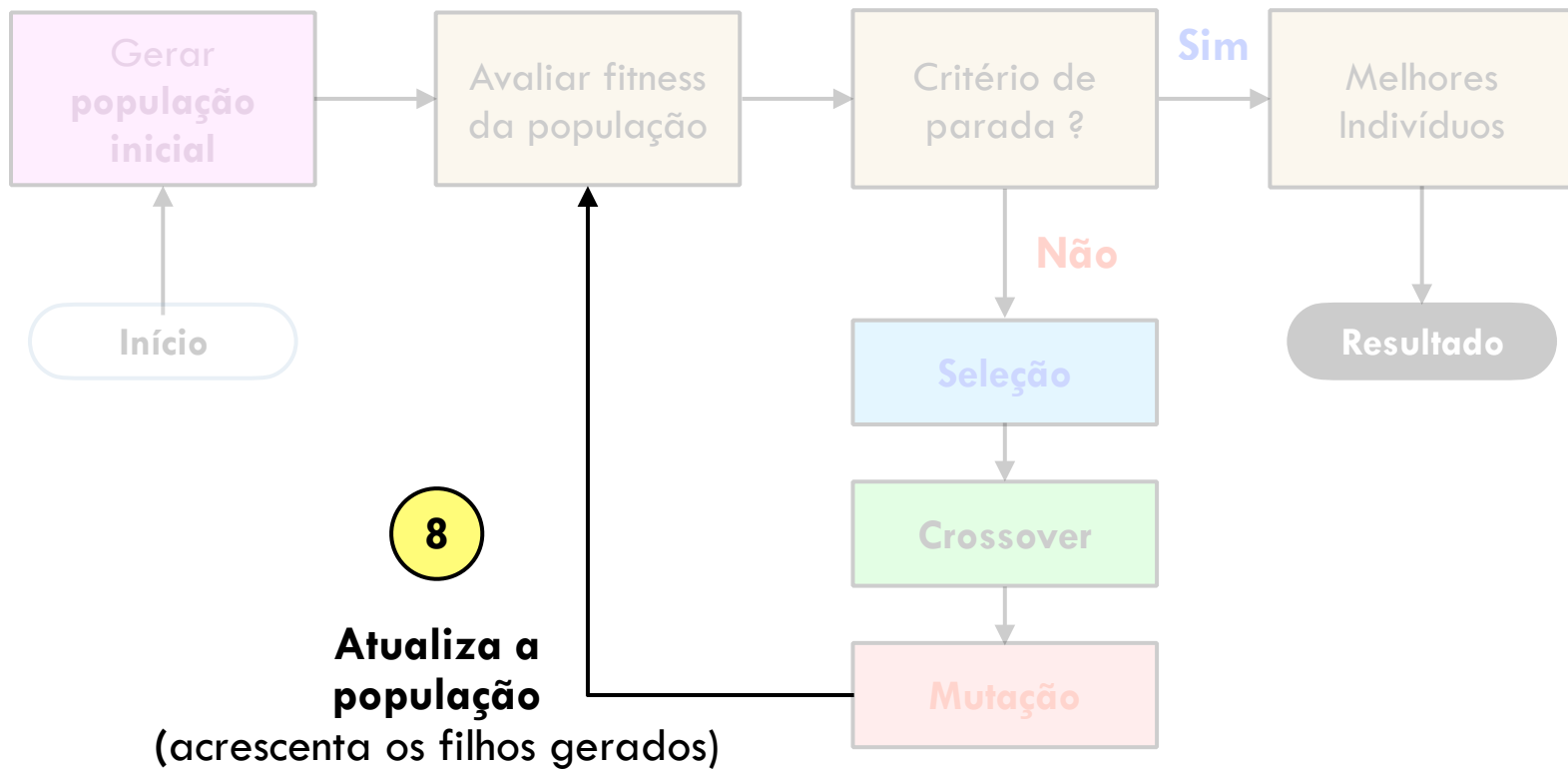
Algoritmos Genéticos



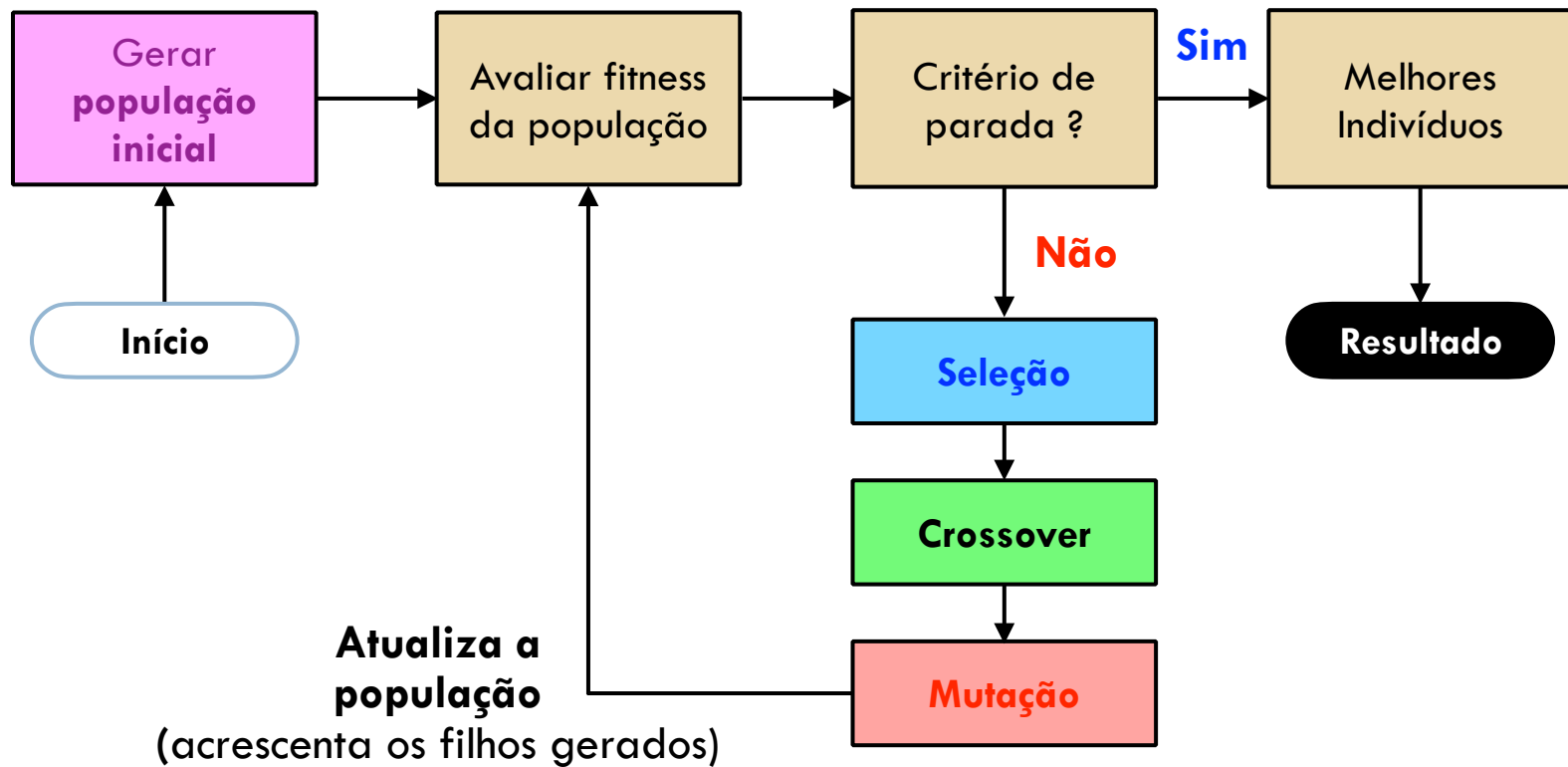
Algoritmos Genéticos



Algoritmos Genéticos



Algoritmos Genéticos



Pseudocódigo:

Algoritmo Genético (AG):

```
1.  popsiz ← tamanho desejado de população
2.  P ← { }
3.  Para popsiz vezes Faça
4.  |   P ← P ∪ {novo indivíduo aleatório}
5.  Melhor ← ∅
6.  Repita
7.  |   Para cada indivíduo Pi ∈ P Faça
8.  |   |   AvaliaFitness(Pi)
9.  |   |   Se Melhor = ∅ ou Fitness(Pi) > Fitness (Melhor) Então
10.  |   |   |   Melhor ← Pi
11.  |   Q ← { }
```


Pseudocódigo:

Algoritmo Genético (AG):

```
12. Para (popsize/2) vezes Faça
13.   Pai Pa ← SelecionaComSubstituição(P)
14.   Pai Pb ← SelecionaComSubstituição(P)
15.   Filhos Ca, Cb ← Crossover( Cópia (Pa), Cópia (Pb) )
16.   Q ← Q ∪ {Mutate (Ca), Mutate (Cb)}
17.   P ← Q
18. Até Melhor é a solução ideal ou critério de parada foi satisfeito
19. Retorne Melhor
```

Algoritmos Genéticos

Questões importantes para o bom funcionamento de um AG:

- Como definir a **representação** do indivíduo ?
- Qual estratégia de **seleção** usar?
- Quais operadores de busca (**crossover** e **mutação**) usar?

Algoritmos Genéticos

Questões importantes para o bom funcionamento de um AG:

- Como definir a **representação** do indivíduo ?
- Qual estratégia de **seleção** usar?
- Quais operadores de busca (**crossover** e **mutação**) usar?

Roteiro

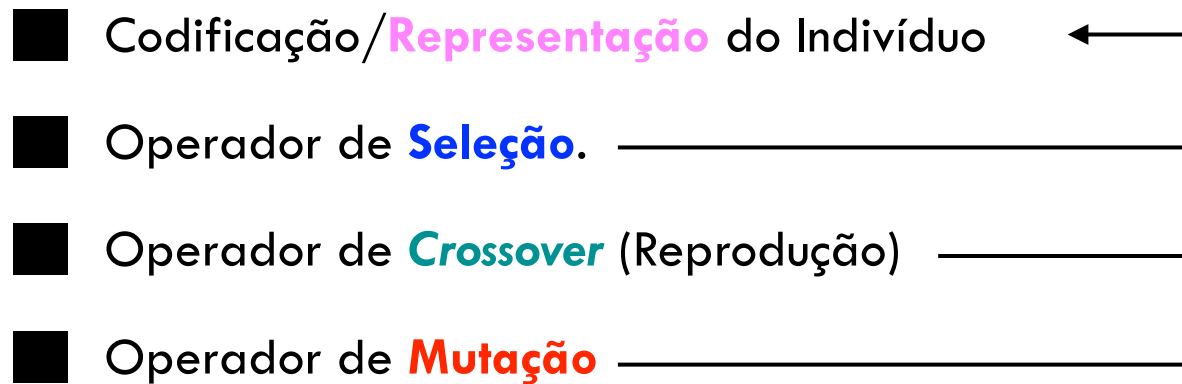


- 1** Introdução
- 2** Métodos Populacionais
- 3** Algoritmos Genéticos
- 4** Operadores
- 5** Exercícios
- 6** Referências

Operadores

- Codificação/**Representação** do Indivíduo
- Operador de **Seleção**.
- Operador de **Crossover** (Reprodução)
- Operador de **Mutação**

Operadores



<< Dependência >>

Operadores

- Codificação/**Representação** do Indivíduo
- Operador de **Seleção**.
- Operador de **Crossover** (Reprodução)
- Operador de **Mutação**

Representação



Indivíduo (cromossomo) pode ser representado por um conjunto de parâmetros (**genes**)

Representação

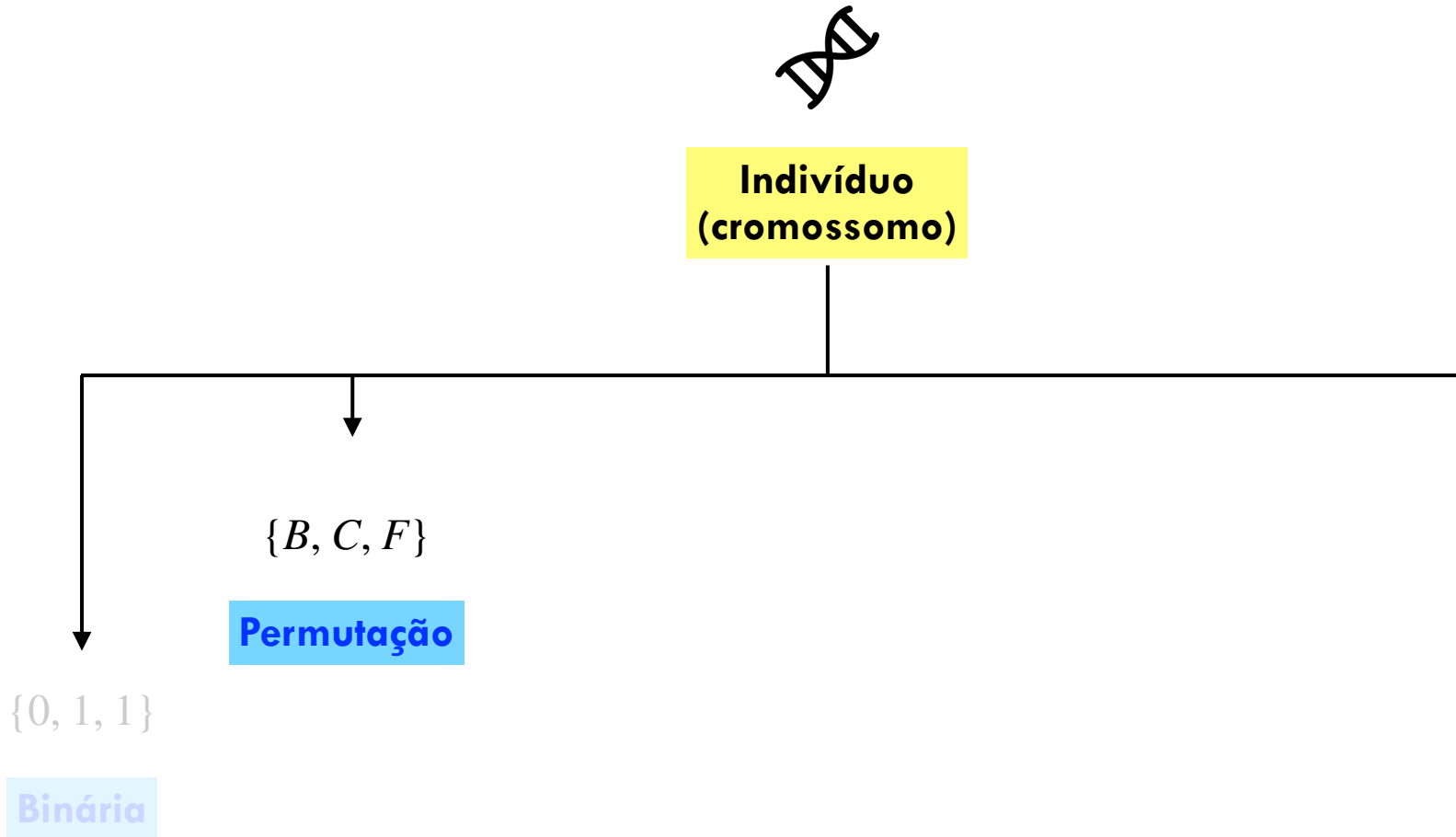


**Indivíduo
(cromossomo)**

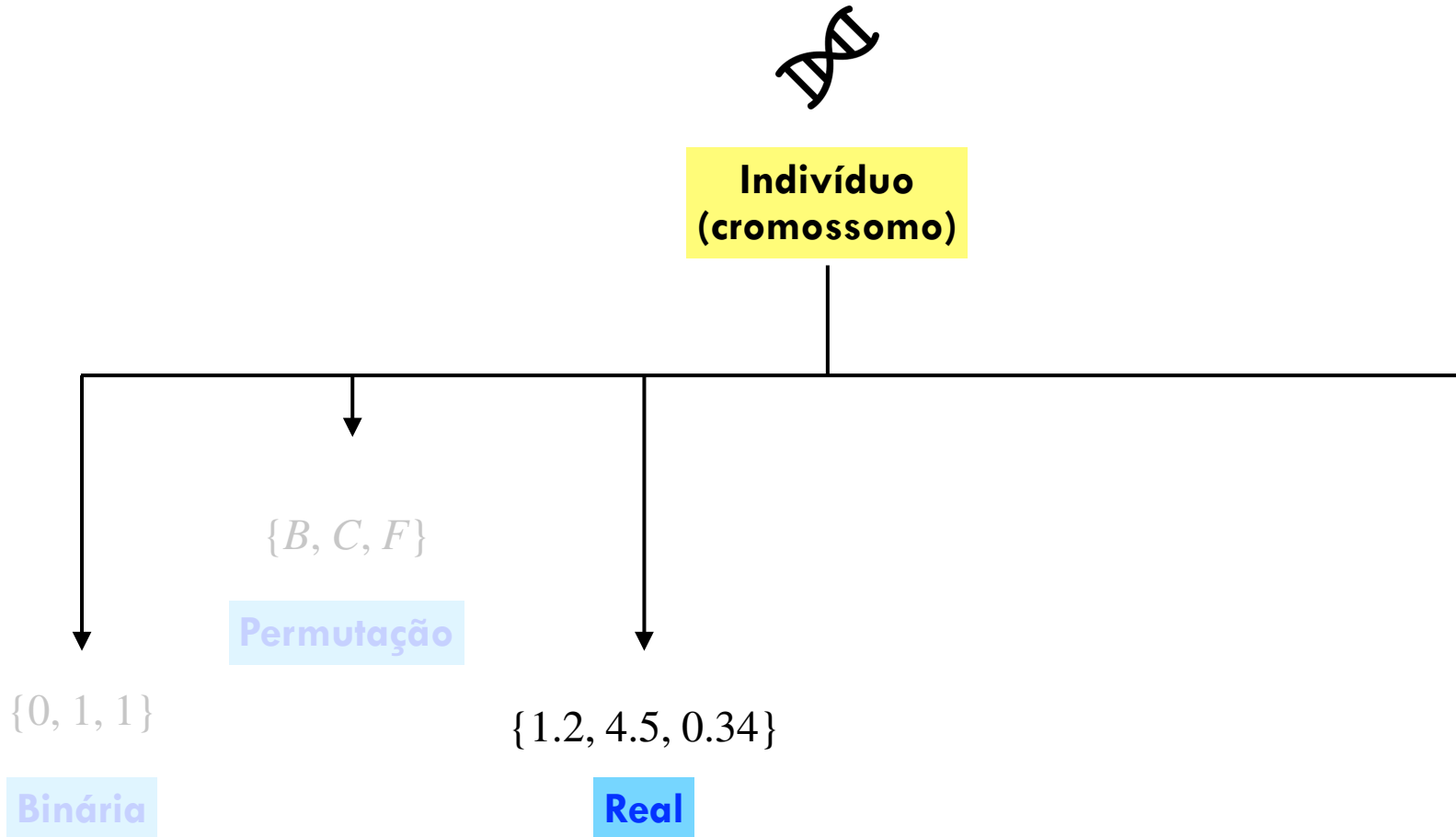
$\{0, 1, 1\}$

Binária

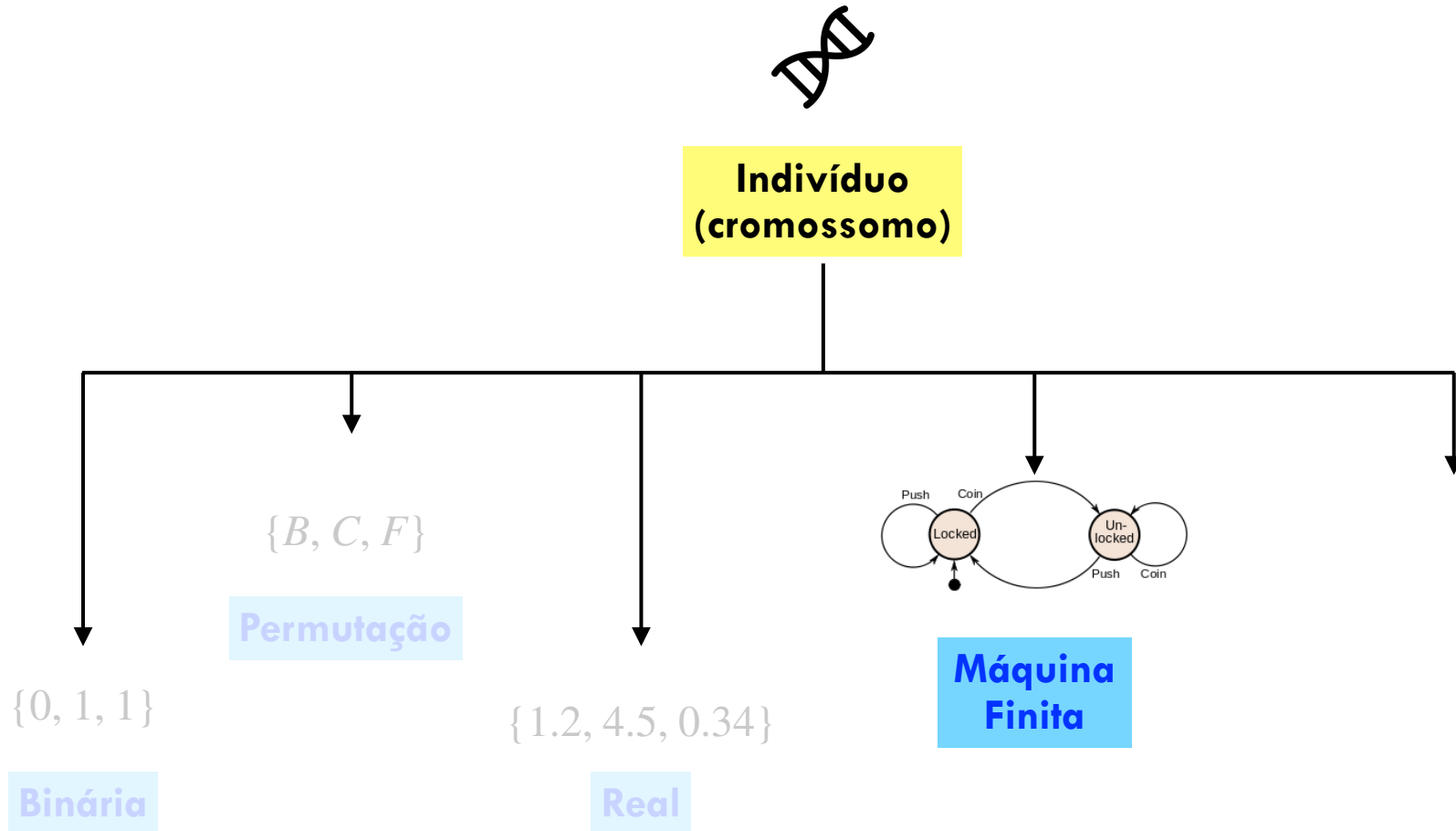
Representação



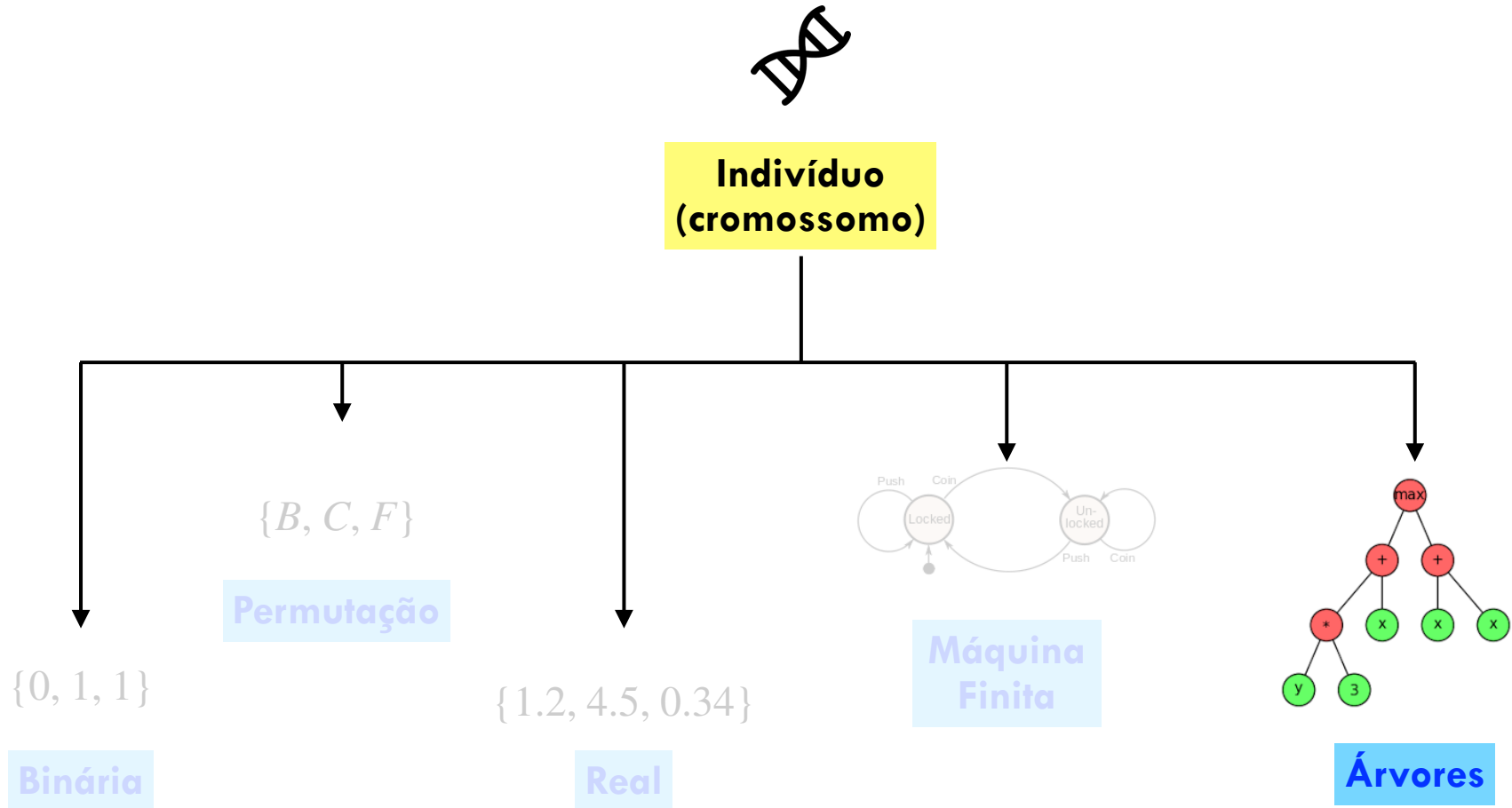
Representação



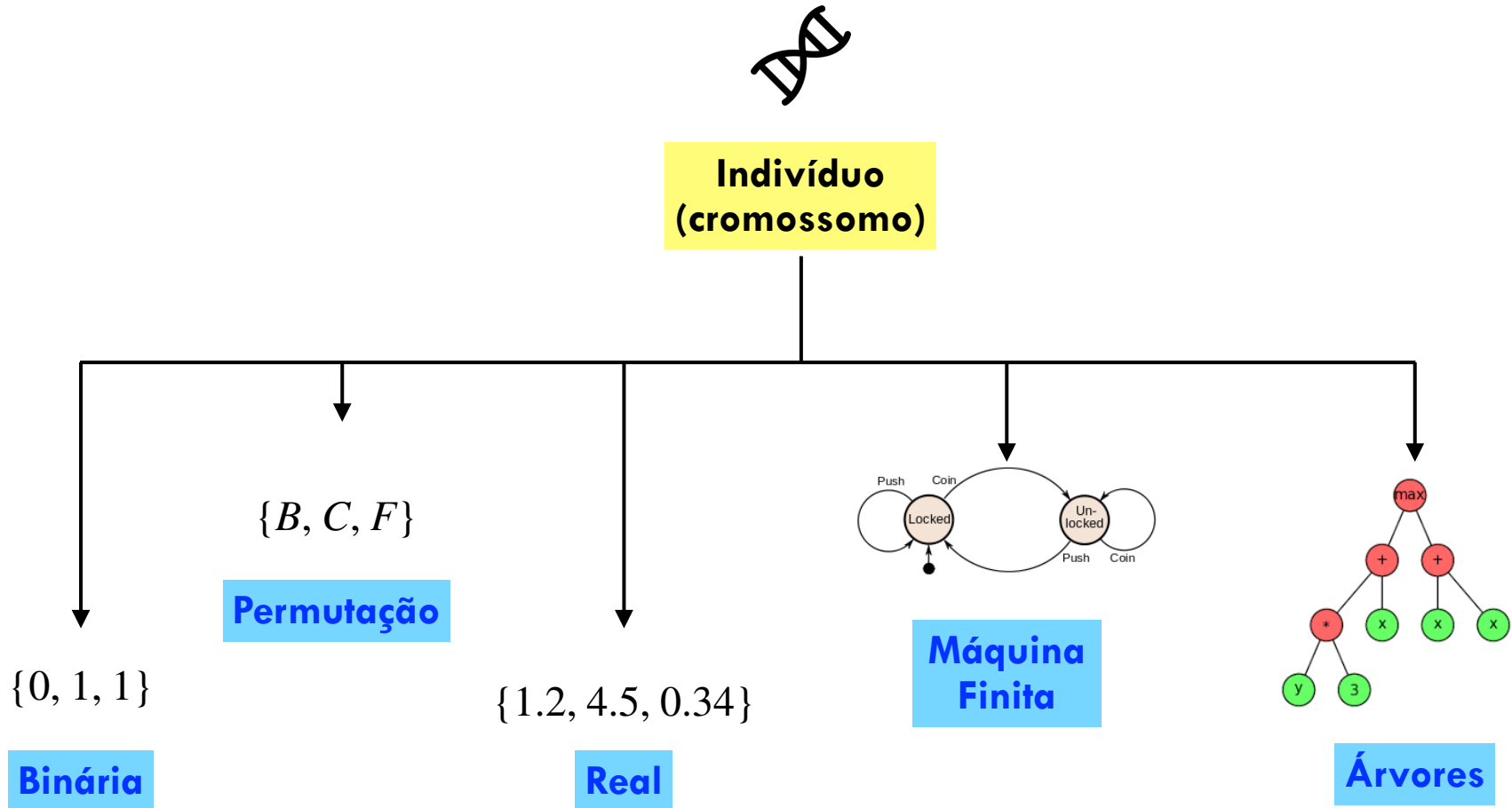
Representação



Representação



Representação



Representação

Indivíduo (cromossomo) pode ser representado por um conjunto de parâmetros (**genes**)

- **codificação binária:** cada cromossomo é um conjunto de bits
- **codificação por permutação:** cada cromossomo é um arranjo ordenado de elementos. A ordem dos elementos importa e restrições podem ser aplicadas
- **codificação real:** cada cromossomo é composto por um conjunto de atributos reais
- **codificação por máquinas de estados finitos:** representa uma sequência de instruções a ser executadas, cada qual dependendo de um estado atual da máquina e do estímulo atual. Usadas para tomada de decisão
- **codificação por árvores:** são geralmente empregadas para evoluir programas

Codificação Binária

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

Codificação Binária

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

- Amplamente utilizada na representação do cromossomo mesmo quando as variáveis do problema são inteiras ou reais
- X pode ser codificado usando-se cadeiras binárias de comprimento L
- Em diversas aplicações práticas acaba tendo desempenho ruim

Codificação Permutação

A	G	F	D	E	C	B	H
---	---	---	---	---	---	---	---

Codificação Permutação

A	G	F	D	E	C	B	H
---	---	---	---	---	---	---	---

- Útil para problemas de ordenação
- Carecem de correções para manter indivíduos válidos
- Exemplo: *Travelling Salesman Problem - TSP*

Codificação Real

2.3	8.5	4.5	9.1	3	0.5	-2	87
-----	-----	-----	-----	---	-----	----	----

Codificação Real

2.3	8.5	4.5	9.1	3	0.5	-2	87
-----	-----	-----	-----	---	-----	----	----

- Alternativa à codificação binária
- Representação natural para otimização de problemas com domínios contínuos
- Cada elemento do vetor corresponde a uma variável de decisão do problema
- Exemplo: Ajuste de Hiperparâmetros de algoritmos de AM

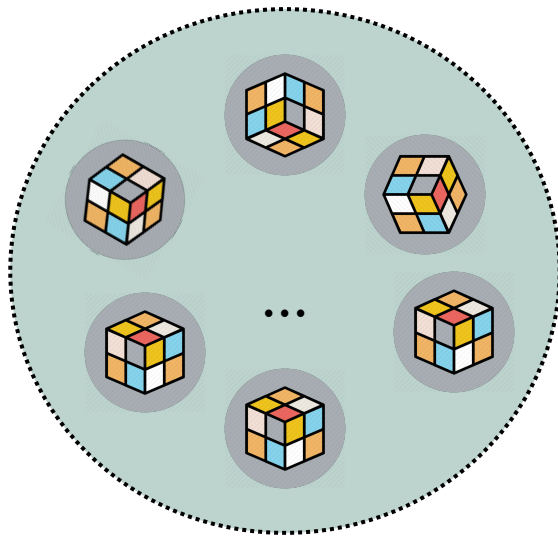
Operadores

- Codificação/**Representação** do Indivíduo
- Operador de **Seleção**.
- Operador de **Crossover** (Reprodução)
- Operador de **Mutação**

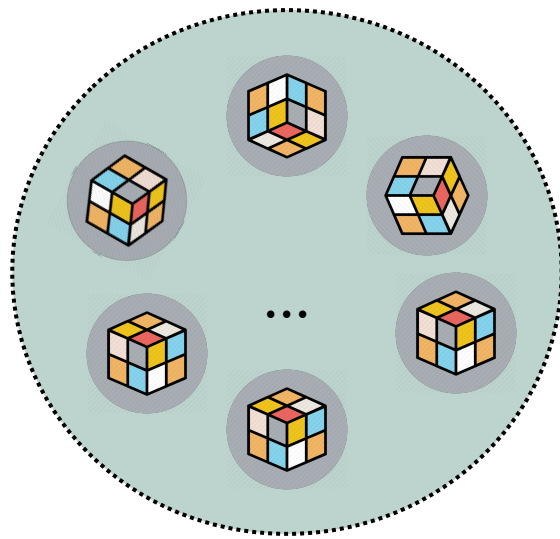
Seleção



Seleção

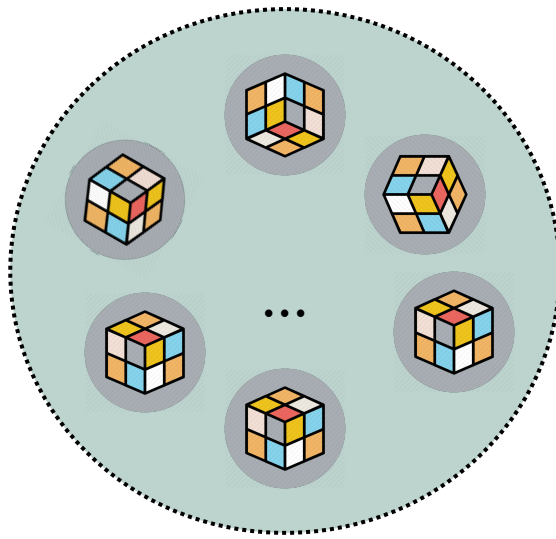


Seleção



População

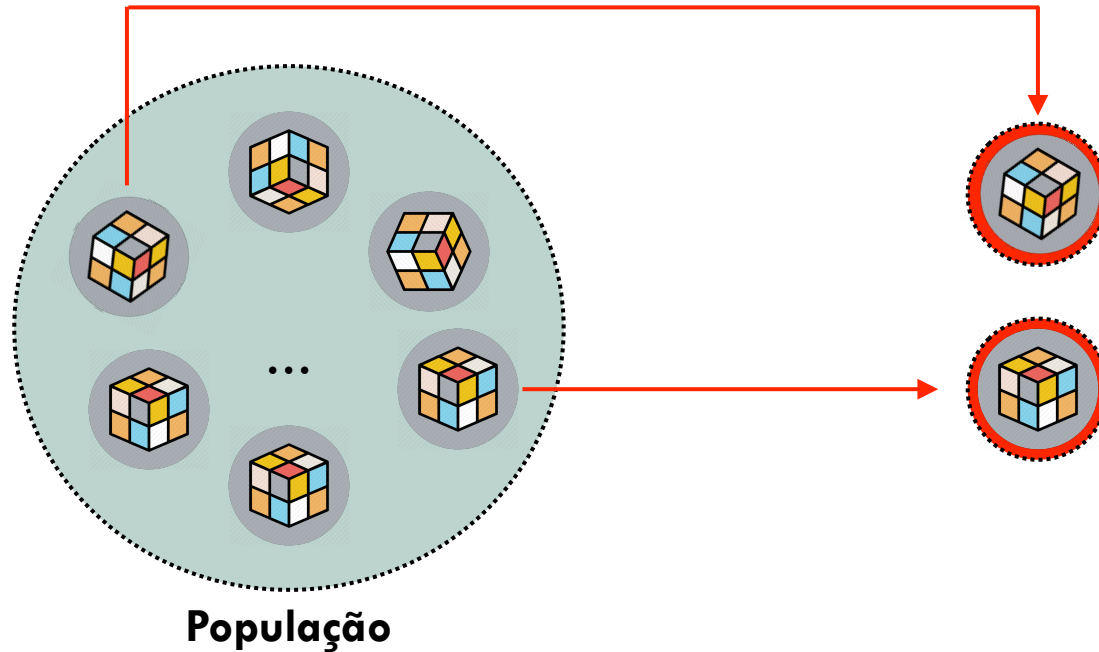
Seleção



População

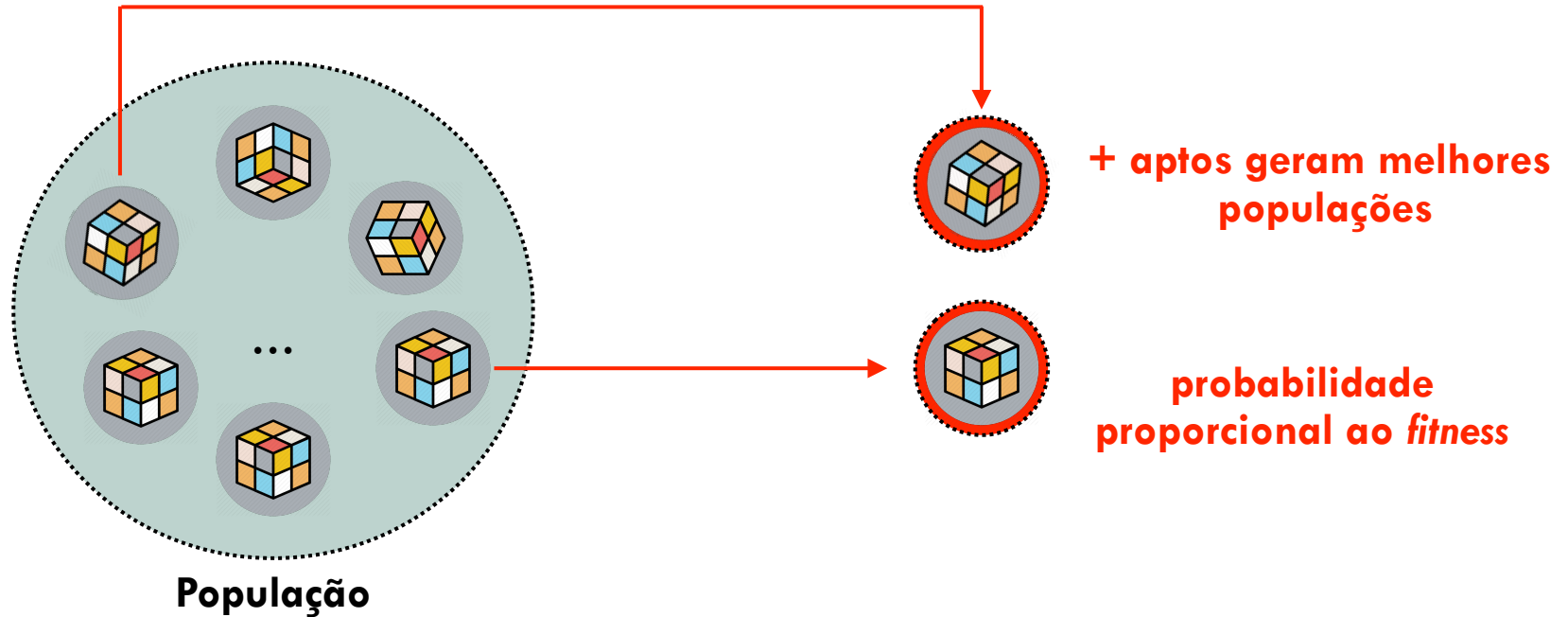
Selecionar um indivíduo (ou par de indivíduos) para a geração de descendentes.

Seleção



Selecionar um indivíduo (ou par de indivíduos) para a geração de descendentes.

Seleção



Selecionar um indivíduo (ou par de indivíduos) para a geração de descendentes.

Seleção



Seleção



Torneio



Roleta

Seleção



Torneio



Roleta

Seleção



Torneio

- Permite ajustar a pressão seletiva
- Seleciona-se N indivíduos, com N torneios envolvendo q indivíduos por vez (amostra aleatória com reposição)
- Vence o torneio o indivíduo de maior *fitness*
 - $q = 2 \rightarrow$ torneio binário
 - q grande \rightarrow forte pressão seletiva
 - q pequeno \rightarrow fraca pressão seletiva

Seleção



Torneio



Roleta

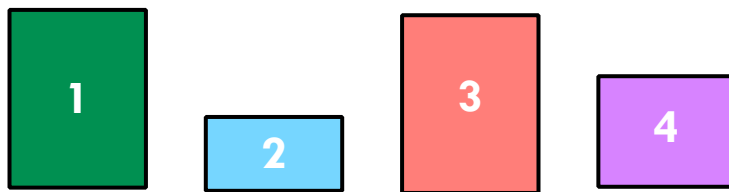
Seleção



Roleta

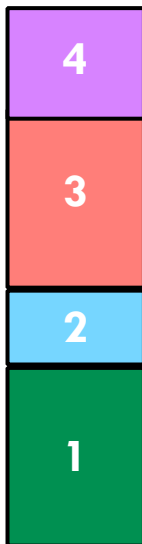
- Ordena-se as aptidões (fitness) dos indivíduos da população
- Calcula-se as aptidões acumuladas
- Gera-se um número aleatório
- O indivíduo selecionado é o primeiro com a aptidão acumulada maior que o número aleatório gerado
- Quanto maior o fitness, maior a probabilidade de um indivíduo ser selecionado

Seleção



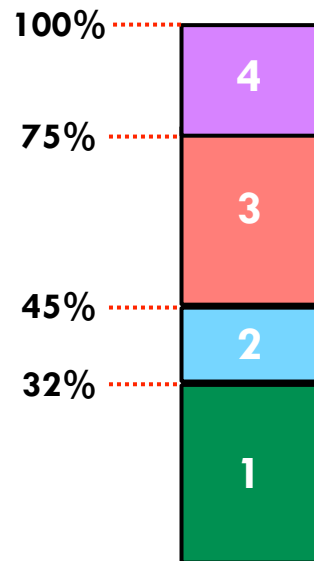
**Diferentes indivíduos
(diferentes *fitness*)**

Seleção

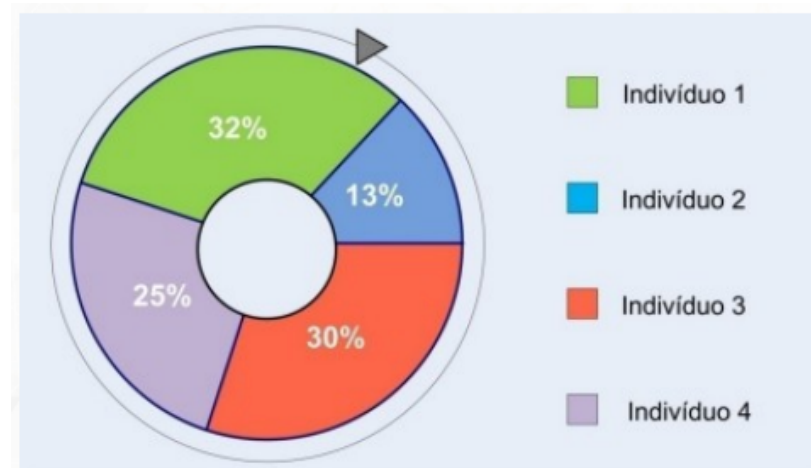
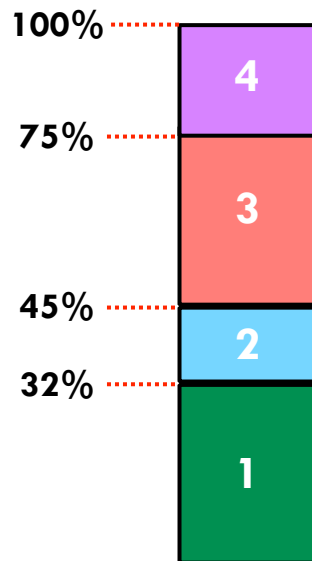


**Soma os *fitness* dos indivíduos
e normaliza**

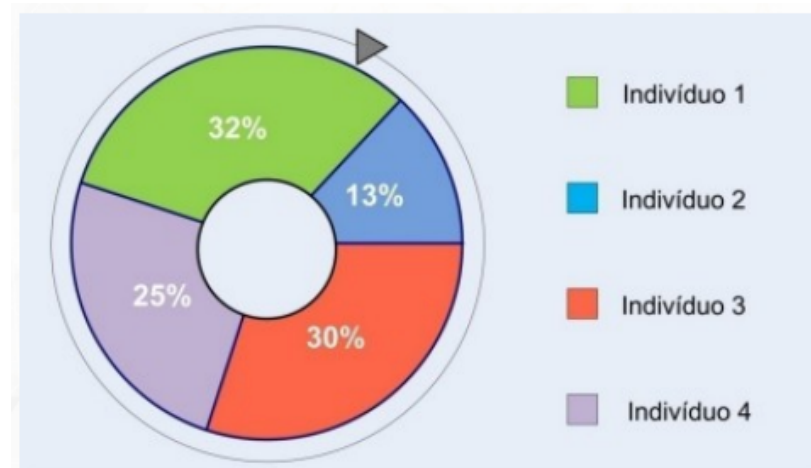
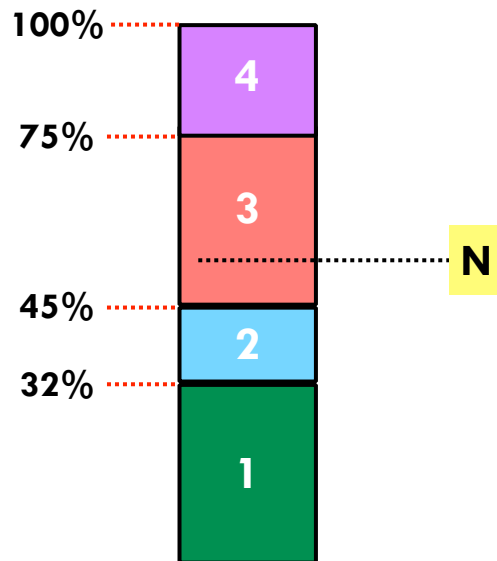
Seleção



Seleção

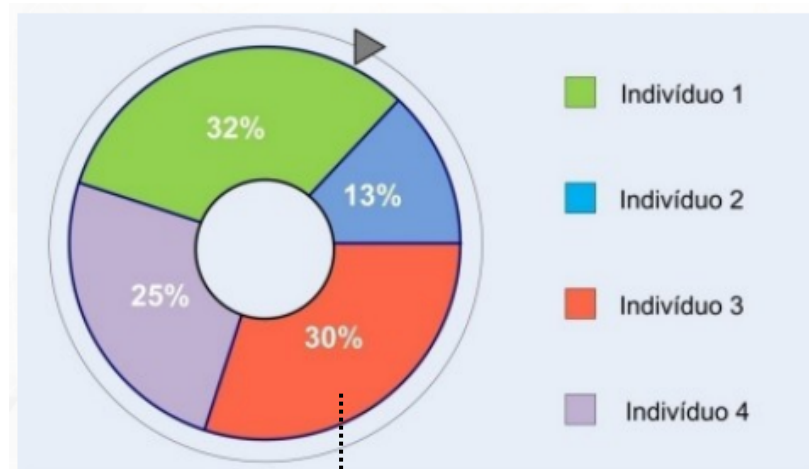
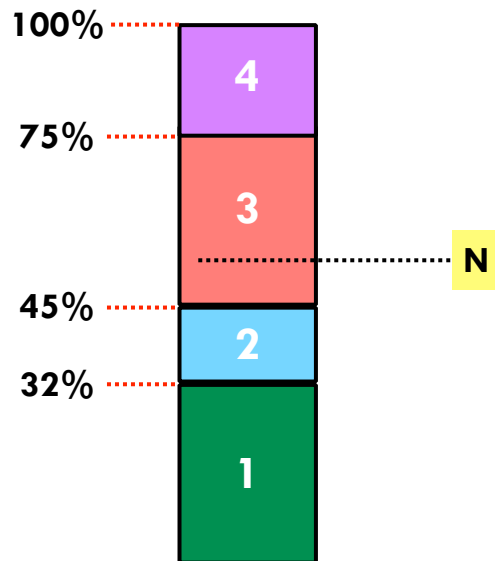


Seleção



Gera um número aleatório (N)

Seleção



Seleciona o Indivíduo 3

Seleção

- **Seleção bi-classista:** são escolhidos os $b\%$ melhores e os $w\%$ piores indivíduos da população. O restante é selecionado aleatoriamente, com ou sem reposição.
- **Elitismo:** caso particular da seleção bi-classista, na qual um ou mais dos melhores indivíduos da população é sempre mantido, e nenhum dos piores indivíduos é selecionado. Ou seja, $b \neq 0$, e $w = 0$

Operadores

- Codificação/**Representação** do Indivíduo
- Operador de **Seleção**.
- Operador de **Crossover** (Reprodução)
- Operador de **Mutação**

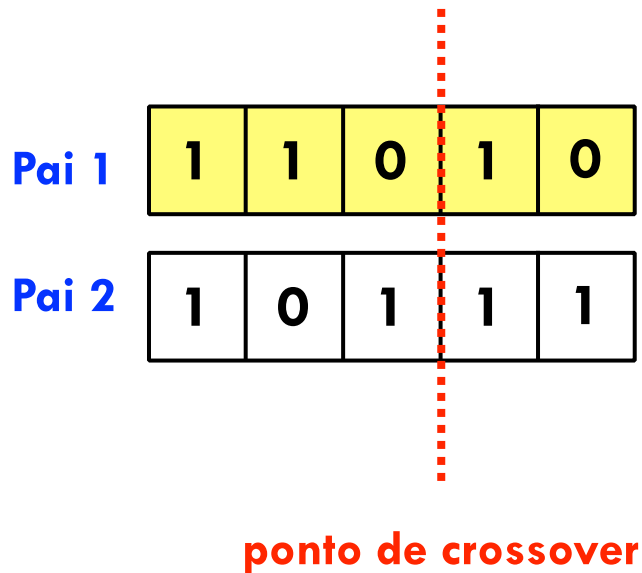
Crossover

■ Binário: de 1 ponto

Pai 1	1	1	0	1	0
Pai 2	1	0	1	1	1

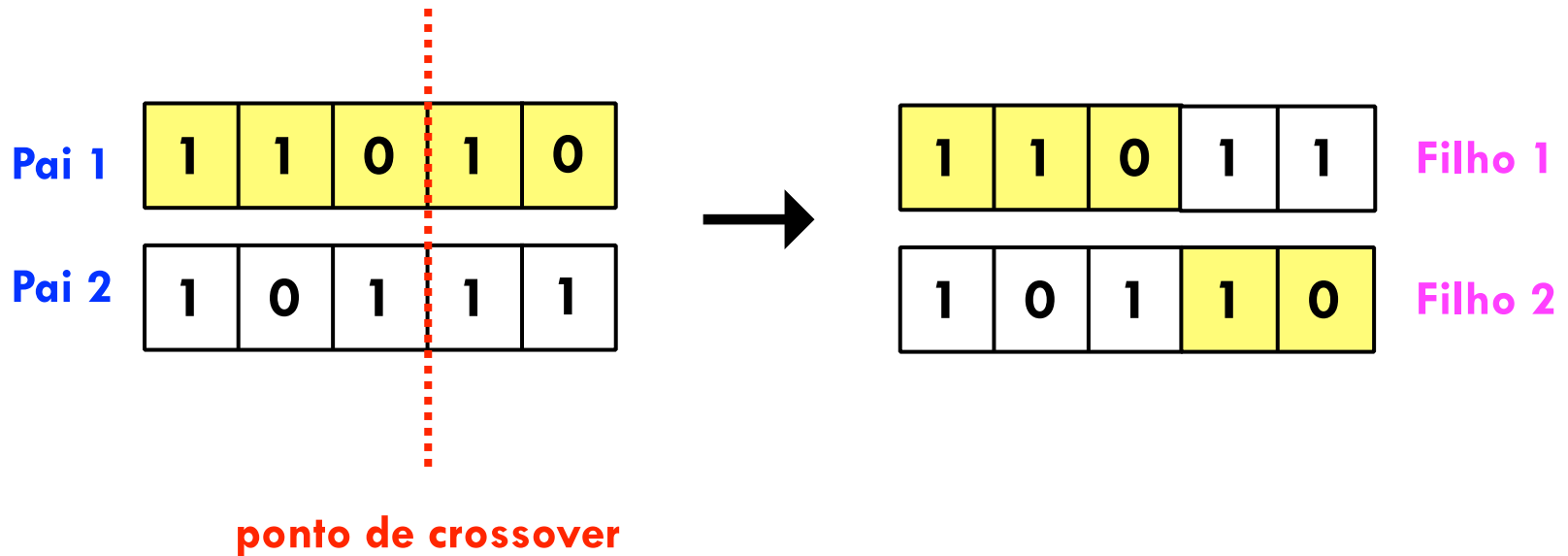
Crossover

■ Binário: de 1 ponto



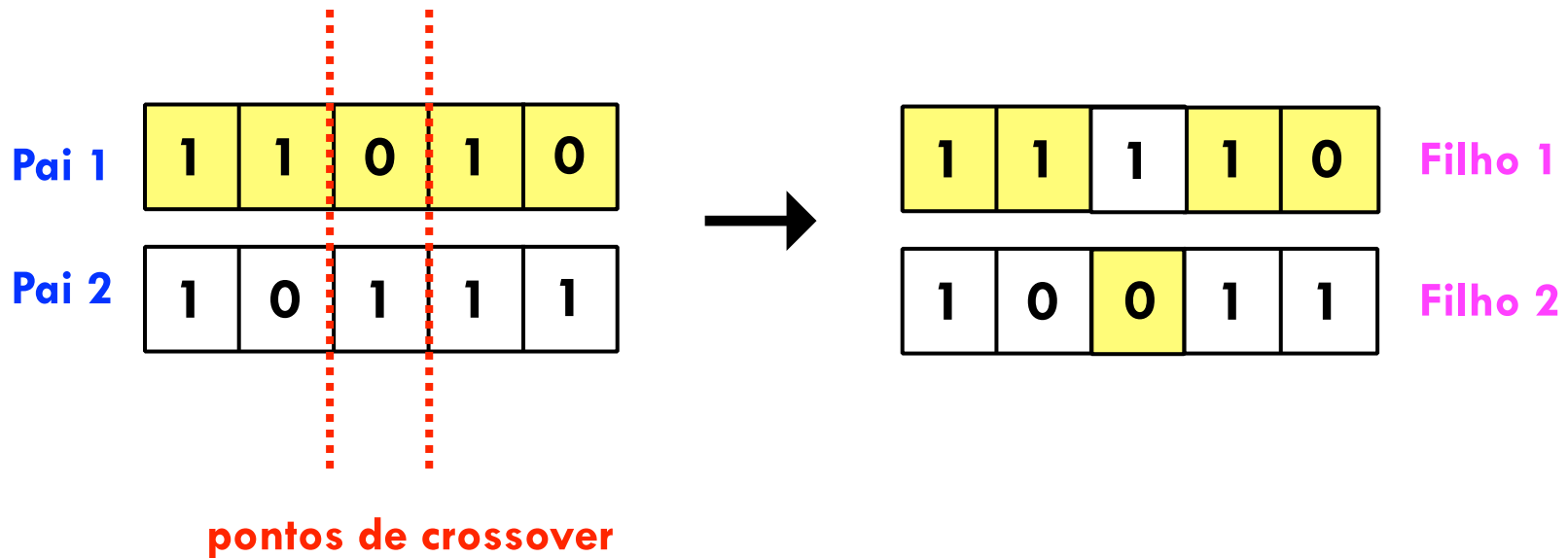
Crossover

■ Binário: de 1 ponto



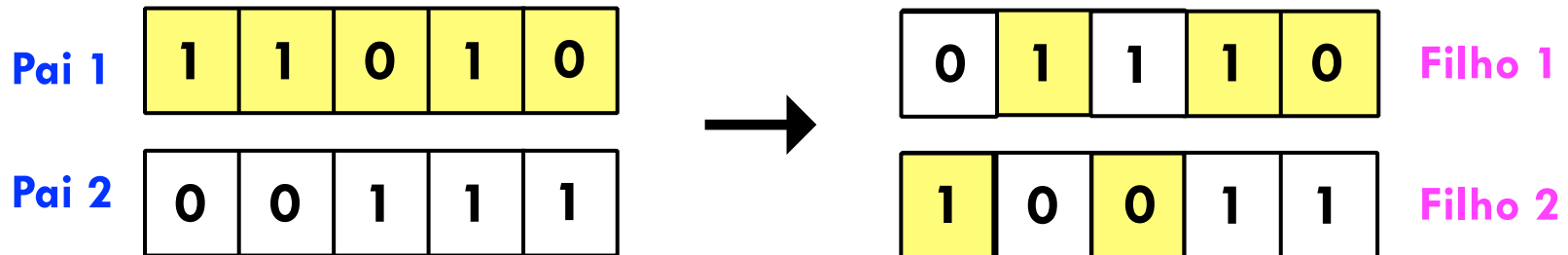
Crossover

■ Binário: de 2 pontos



Crossover

- **Binário:** uniforme - cada gene do filho tem uma probabilidade de ser herdado do pai 1 ou pai 2



Crossover

■ Valores reais:

■ Seja X_i o atributo i do vetor X a sofrer modificação, e A e B os índices dos pais

■ por média: $X_i = (X_{Ai} + X_{Bi}) / 2$

■ uniforme: X_{Ai} ou X_{Bi}

■ combinação linear: $X'_1 = \alpha X_1 + (1-\alpha) X_2$
 $X'_2 = (1-\alpha)X_1 + X_2$

Crossover

■ Valores reais:

■ Seja X_i o atributo i do vetor X a sofrer modificação, e A e B os índices dos pais

■ por média: $X_i = (X_{Ai} + X_{Bi}) / 2$

■ uniforme: X_{Ai} ou X_{Bi}

■ combinação linear: $X'_1 = \alpha X_1 + (1-\alpha) X_2$
 $X'_2 = (1-\alpha)X_1 + X_2$

**Combinação linear é usada para problemas com restrições.
Gera filhos dentro do espaço de busca.**

Crossover

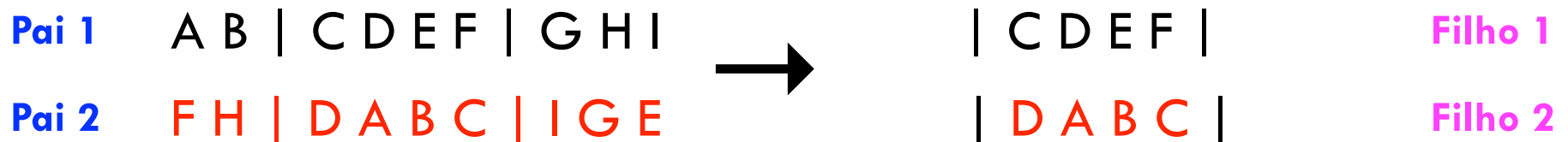
■ Permutação: OX

Pai 1 A B | C D E F | G H I

Pai 2 F H | D A B C | I G E

Crossover

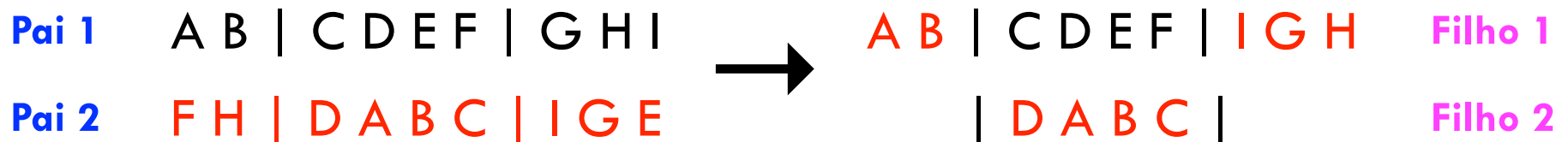
■ Permutação: OX



■ A porção central é transferida para os filhos

Crossover

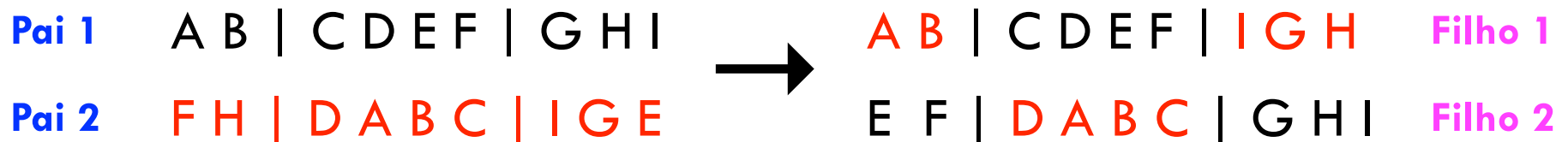
■ Permutação: OX



- A porção central é transferida para os filhos
- A partir do segundo corte, o método faz uma busca no cromossomo do outro pai pelo menos que não estão na sub-cadeia, preenchendo o cromossomo

Crossover

■ Permutação: OX



- A porção central é transferida para os filhos
- A partir do segundo corte, o método faz uma busca no cromossomo do outro pai pelo menos que não estão na sub-cadeia, preenchendo o cromossomo

Operadores

- Codificação/**Representação** do Indivíduo
- Operador de **Seleção**.
- Operador de **Crossover** (Reprodução)
- Operador de **Mutação**

Mutação



Codificação binária:

Mutação

Codificação binária:

- cada gene tem uma probabilidade pequena de sofrer mutação
- Um valor inicial grande pode ser adotado e decrescido geometricamente ao longo das gerações

Mutação

Codificação binária:

- cada gene tem uma probabilidade pequena de sofrer mutação
- Um valor inicial grande pode ser adotado e decrescido geometricamente ao longo das gerações

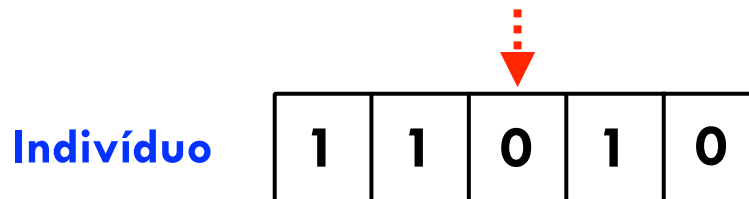
Indivíduo

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

Mutação

Codificação binária:

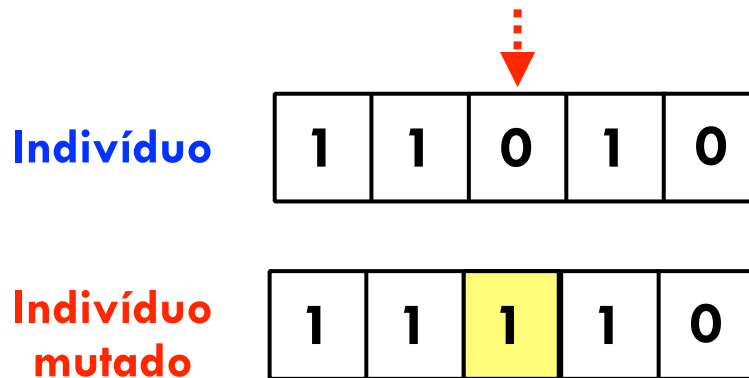
- cada gene tem uma probabilidade pequena de sofrer mutação
- Um valor inicial grande pode ser adotado e decrescido geometricamente ao longo das gerações



Mutação

Codificação binária:

- cada gene tem uma probabilidade pequena de sofrer mutação
- Um valor inicial grande pode ser adotado e decrescido geometricamente ao longo das gerações



Mutação

Codificação real:

- $x' = x + M$, onde M é uma variável aleatória
- **Mutação uniforme:** valor aleatório amostrado uniforme entre a e b
- **Mutação Gaussiana:** valor aleatório amostrado de uma distribuição Gaussiana com média zero e desvio padrão σ

Mutação

Codificação permutação:

- a mais comum: seleciona dois pontos e os inverte de posição

Indivíduo

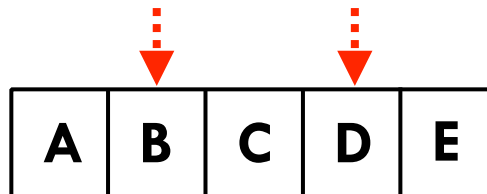
A	B	C	D	E
---	---	---	---	---

Mutação

Codificação permutação:

- a mais comum: seleciona dois pontos e os inverte de posição

Indivíduo

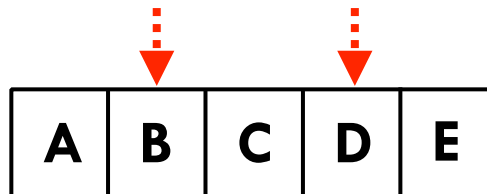


Mutação

Codificação permutação:

- a mais comum: seleciona dois pontos e os inverte de posição

Indivíduo

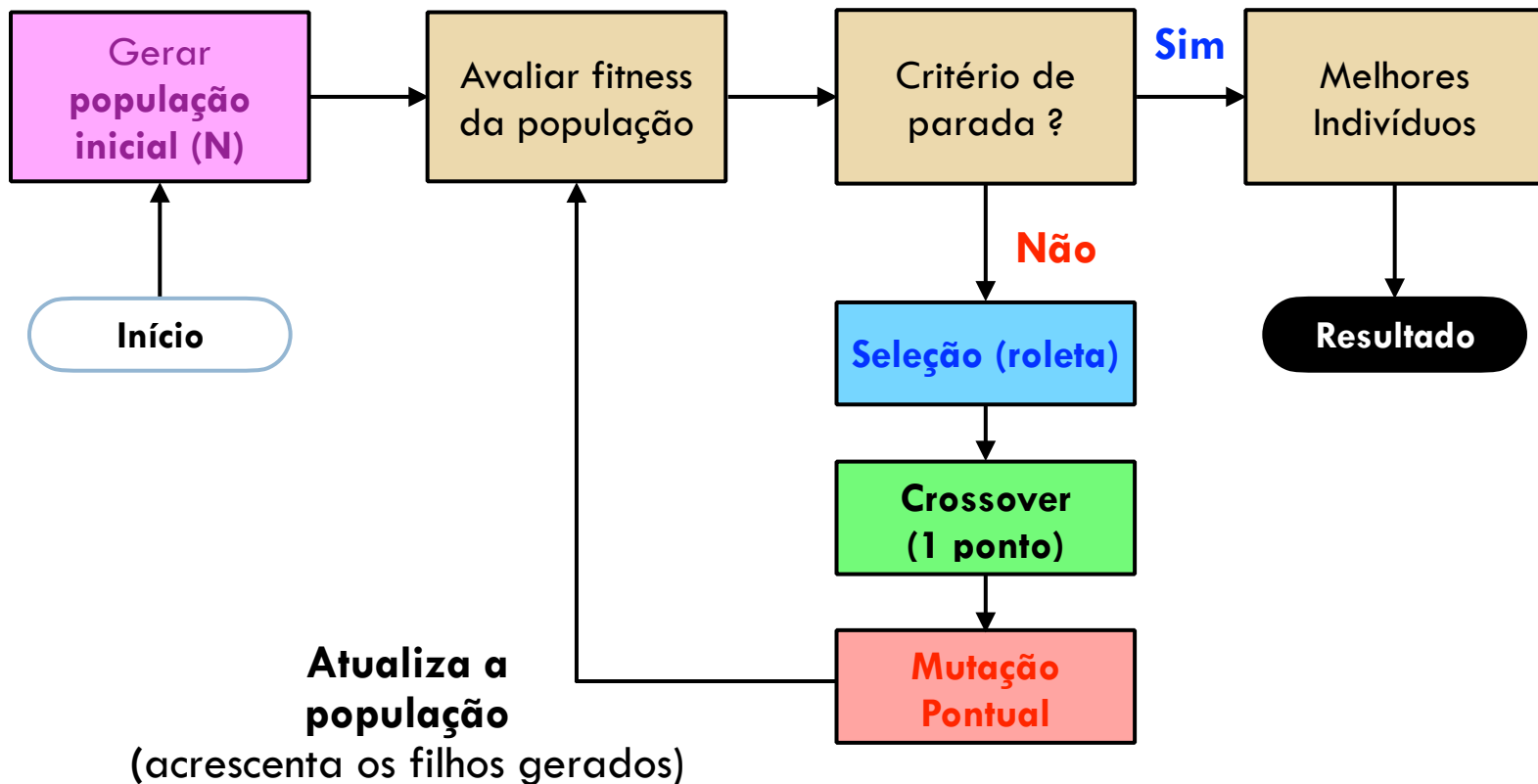


Indivíduo
mutado



Algoritmos Genético Clássico

Cadeias binárias



Roteiro



- 1 Introdução
- 2 Métodos Populacionais
- 3 Algoritmos Genéticos
- 4 Operadores
- 5 Exercícios
- 6 Referências

Exercícios

Exercício 01:

Modelar um AG para solucionar um problema de partição de dados. Temos um vetor com N números inteiros, dividir esses números em dois conjuntos (A e B) de maneira que a diferença entre a soma dos elementos de A e B seja a menor possível ($\min |soma(A) - soma(B)|$).

- Codificação com vetores binários ($bits = N$)
- Seleção por torneio ($k = 3$)
- Crossover de um ponto ($cross.rate = 0.9$)
- Mutação ($mut.rate = 1/N$)

Exercícios

Exercício 02: Modele um Algoritmo Genético (AG) para solucionar o quebra-cabeça de 8 peças. Defina:

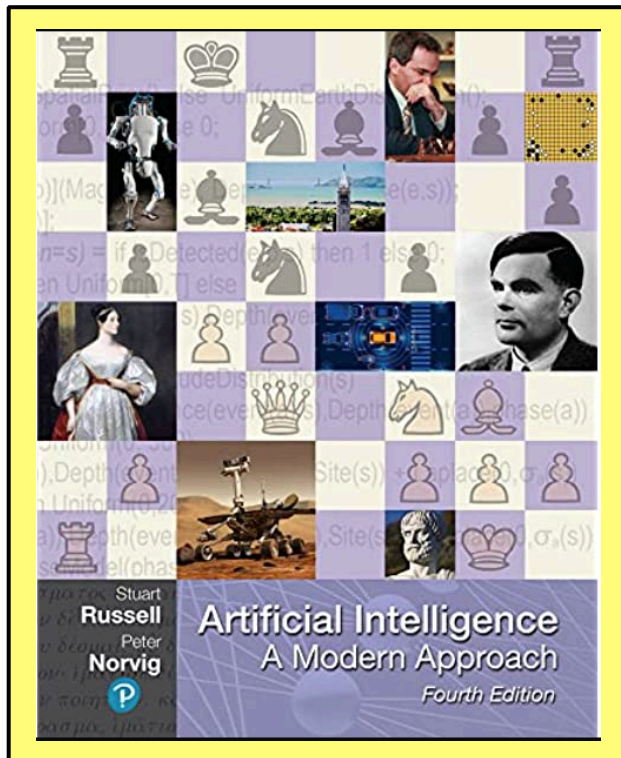
- Codificação do indivíduo?
- Operador de Seleção?
- Operador de Crossover (Reprodução) ?
- Operador de Mutação?

Roteiro

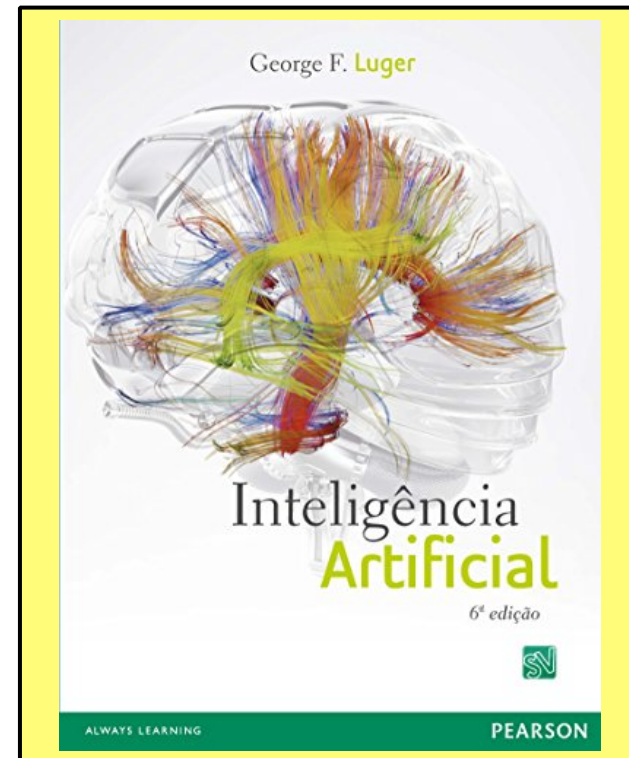


- 1** Introdução
 - 2** Métodos Populacionais
 - 3** Algoritmos Genéticos
 - 4** Operadores
 - 5** Exercícios
 - 6** Referências
- 

Referências sugeridas



[Russel & Norvig, 2021]



[Luger, 2013]

Perguntas?

Prof. Rafael G. **Mantovani**

rafaelmantovani@utfpr.edu.br