



# AULA 5 – FUNDAMENTOS DOS ALGORITMOS GENÉTICOS

Sistemas Inteligentes

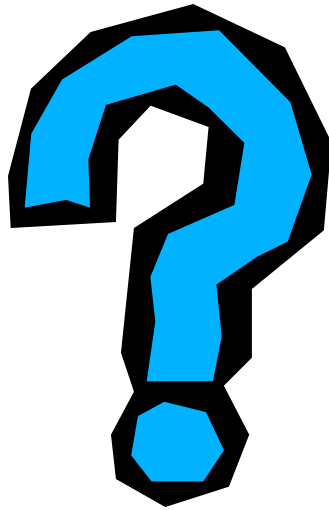
Prof. Msc. Luiz Mário Lustosa Pascoal

# FUNDAMENTOS DOS ALGORITMOS GENÉTICOS

“Quanto melhor um indivíduo se adaptar ao seu meio ambiente, maior será sua chance de sobreviver e gerar descendentes.”

(DARWIN, 1859)

## O QUE SÃO?



- Os Algoritmos Genéticos são uma classe de procedimentos, com passos distintos bem definidos.
- Essa classe se fundamenta em analogias a conceitos biológicos já testadas à exaustão.
- Cada passo distinto pode ter diversas versões diferentes.



## PARA QUE SERVEM?

- Busca e Otimização
- Amplamente utilizados, com sucesso, em problemas de difícil manipulação pelas técnicas tradicionais
- Eficiência X Flexibilidade

## CARACTERÍSTICAS GERAIS

- Utilizam uma codificação do conjunto de parâmetros (*indivíduos*) e não com os próprios parâmetros (*estados*);
- Vasculham várias regiões do espaço de busca de cada vez;
- Utilizam informações diretas de qualidade, em contraste com as derivadas utilizadas nos métodos tradicionais de otimização;
- Utilizam regras de transição probabilísticas e não regras determinísticas.

# CARACTERÍSTICAS GERAIS

Algoritmos Genéticos podem ser considerados como métodos que trabalham com

*Buscas Paralelas Randômicas Direcionadas*

# FUNCIONAMENTO FUNDAMENTAL

1. Gerar População Inicial
2. Descartar uma parte dos Indivíduos menos aptos
3. Aplicar operadores de reprodução
4. Aplicar operadores de mutação
5. Se o critério de parada foi satisfeito, encerrar. Senão, voltar ao passo 2.

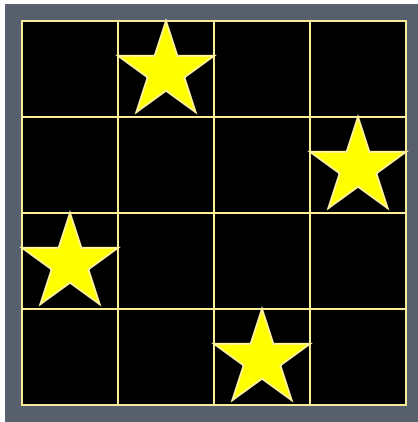
# MODELAGEM

- Indivíduos X Estados
- Cada indivíduo possui um *código genético*
- Esse código é chamado cromossomo
- Tradicionalmente, um cromossomo é um vetor de bits
- Vetor de bits nem sempre é o ideal



## EXEMPLO DE MODELAGEM

- Problema das N-Rainhas:
  - A posição de cada rainha é dada por uma subcadeia do cromossomo
  - Exemplo para  $N = 4$ :



= 01 11 00 10

R1      R2      R3      R4

# OPERADORES FUNDAMENTAIS

- Seleção Natural
- Manipulação Genética por Mutação
- Manipulação Genética por Reprodução

## SELEÇÃO NATURAL

- Princípio básico para o direcionamento da evolução de uma dada população
- Utiliza uma função de avaliação para medir a *aptidão* de cada indivíduo
- Essa aptidão pode ser *absoluta* ou *relativa*
- Existem vários métodos de seleção

# PRINCIPAIS MÉTODOS DE SELEÇÃO NATURAL

- Roleta
- Torneio

## POPULAÇÃO EXEMPLO

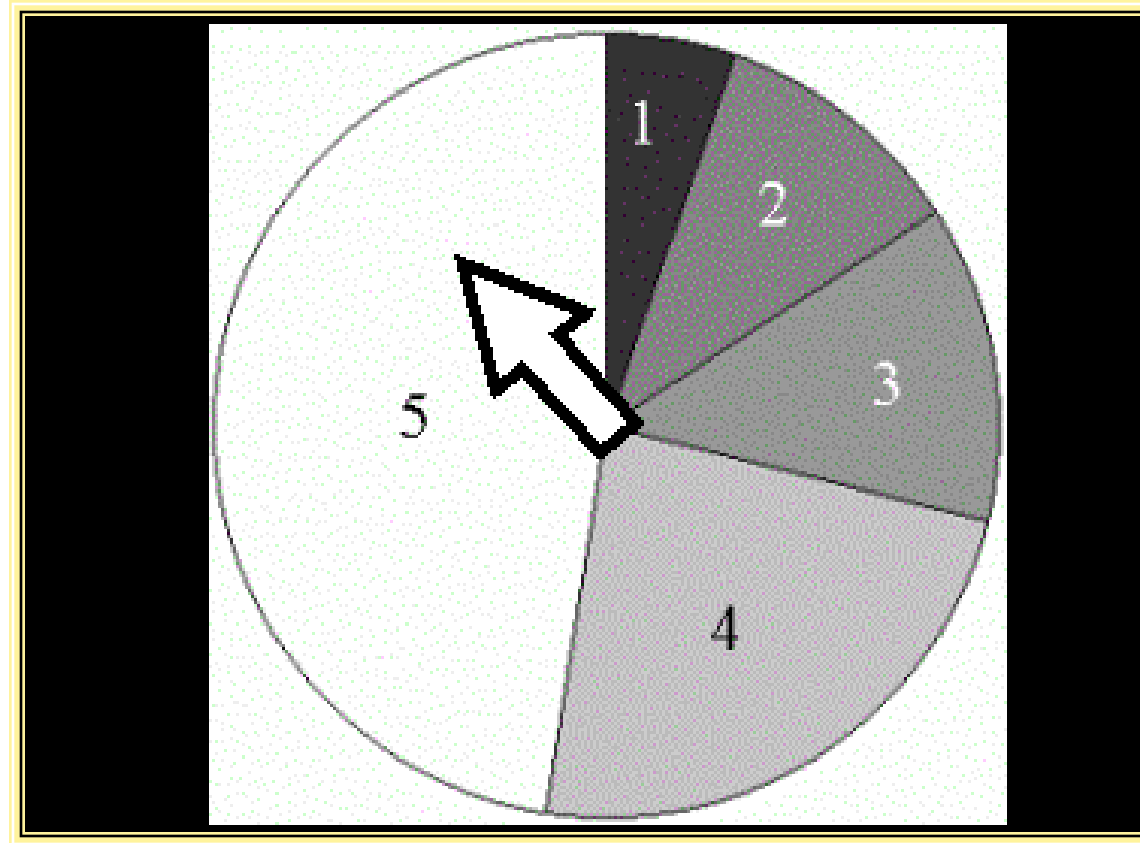
<i>Indivíduo</i>	<i>Aptidão Absoluta</i>	<i>Aptidão Relativa</i>
1	2	0,052631579
2	4	0,105263158
3	5	0,131578947
4	9	0,236842105
5	18	0,473684211
<i>Total</i>	38	1



## MÉTODO DA ROLETA

- Coloca-se os indivíduos em uma roleta, dando a cada um uma “fatia” proporcional à sua aptidão relativa
- Depois roda-se a agulha da roleta. O indivíduo em cuja fatia a agulha parar permanece para a próxima geração
- Repete-se o sorteio quantas vezes forem necessárias para selecionar a quantidade desejada de indivíduos

## ROLETA - EXEMPLO

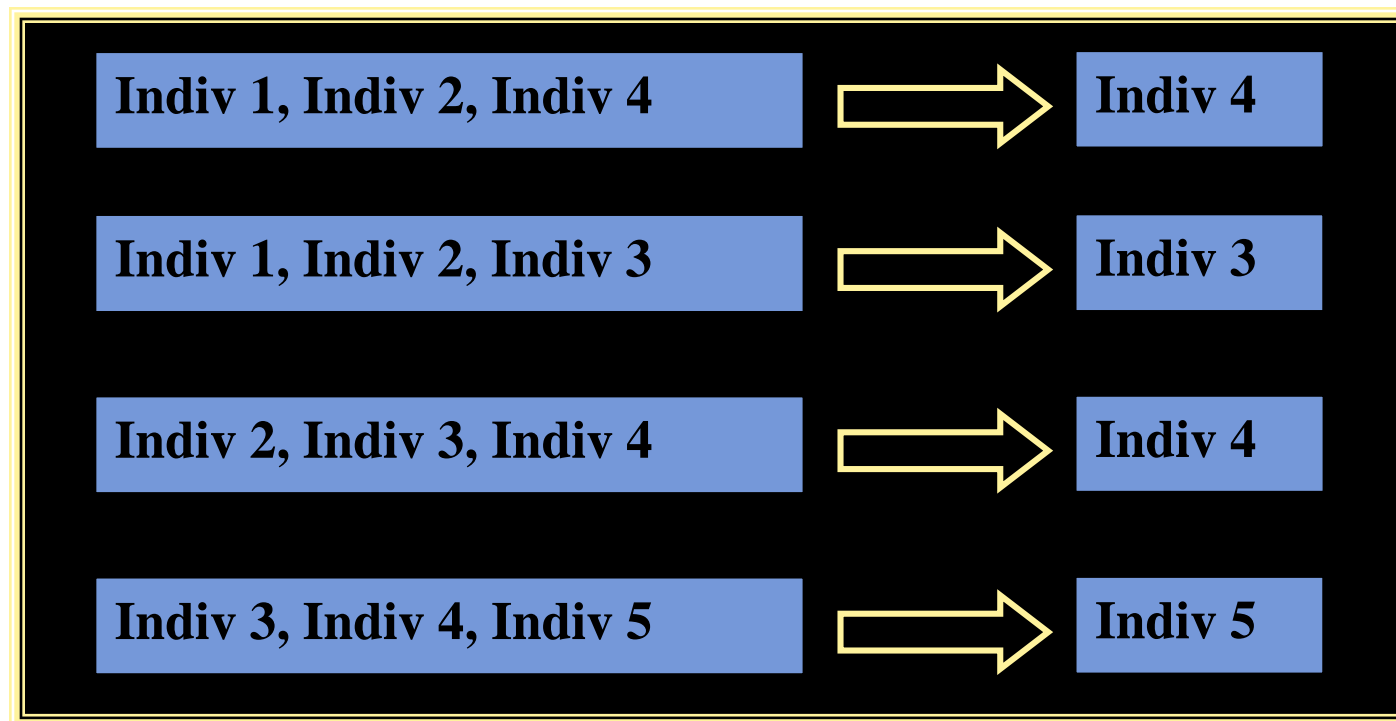


## MÉTODO DO TORNEIO

- Utiliza sucessivas *disputas* para realizar a seleção
- Para selecionar  $k$  indivíduos, realiza  $k$  disputas, cada disputa envolvendo  $n$  indivíduos escolhidos ao acaso
- O indivíduo de maior aptidão na disputa é selecionado
- É muito comum utilizar  $n = 3$



## TORNEIO - EXEMPLO



## OPERADOR DE CRUZAMENTO

- Também chamado de *reprodução* ou *crossover*
- Combina as informações genéticas de dois indivíduos (*pais*) para gerar novos indivíduos (*filhos*)
- Versões mais comuns criam sempre dois filhos para cada operação

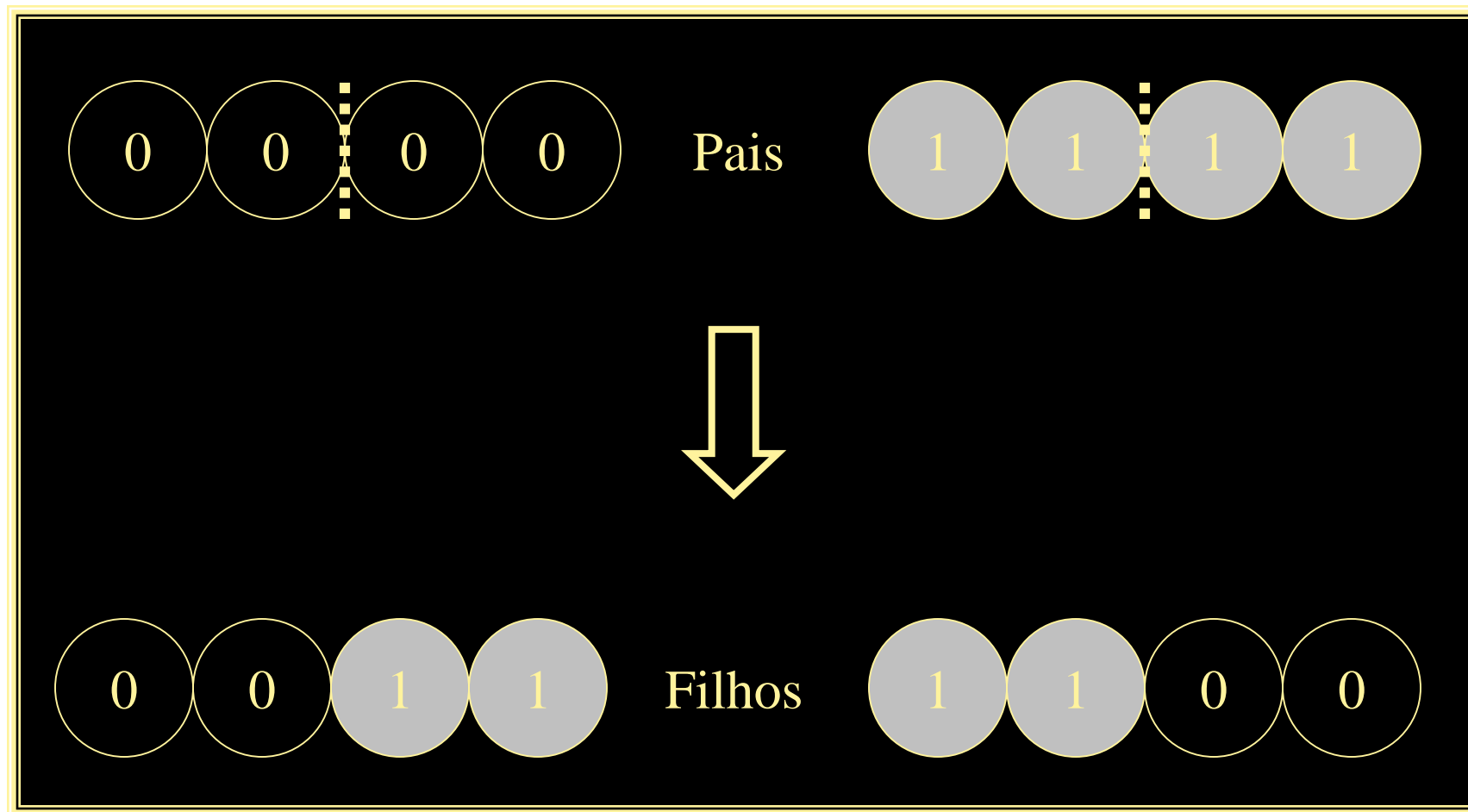
# OPERADOR DE CRUZAMENTO

- Operador genético principal
- Responsável por gerar novos indivíduos *diferentes* (sejam melhores ou piores) a partir de indivíduos já promissores
- Aplicado a cada par de indivíduos com alta probabilidade (normalmente entre 0,6 e 0,99)

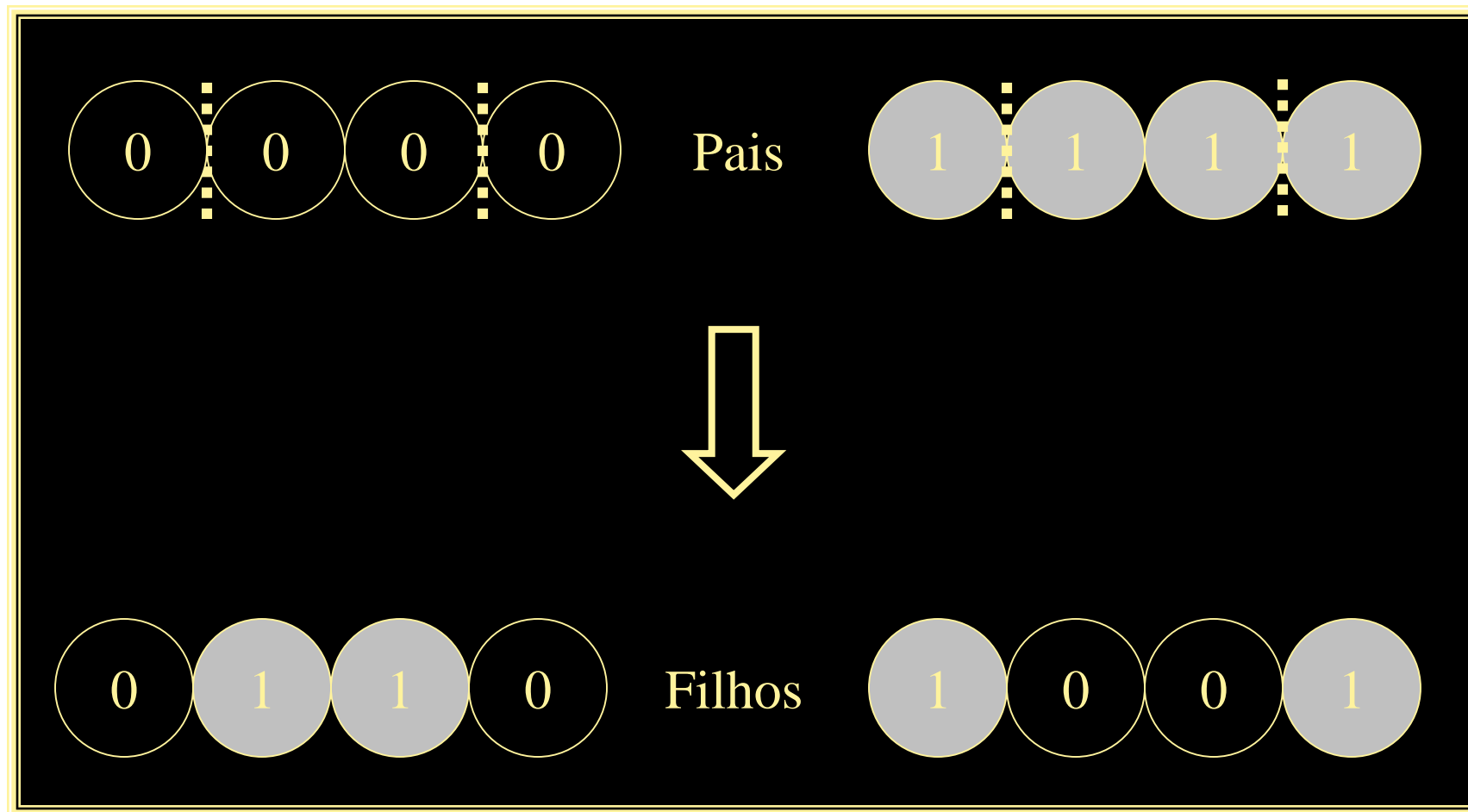
# ABORDAGENS PARA CRUZAMENTO

- Cruzamento Um-Ponto
- Cruzamento Multi-Pontos
- Cruzamento Uniforme

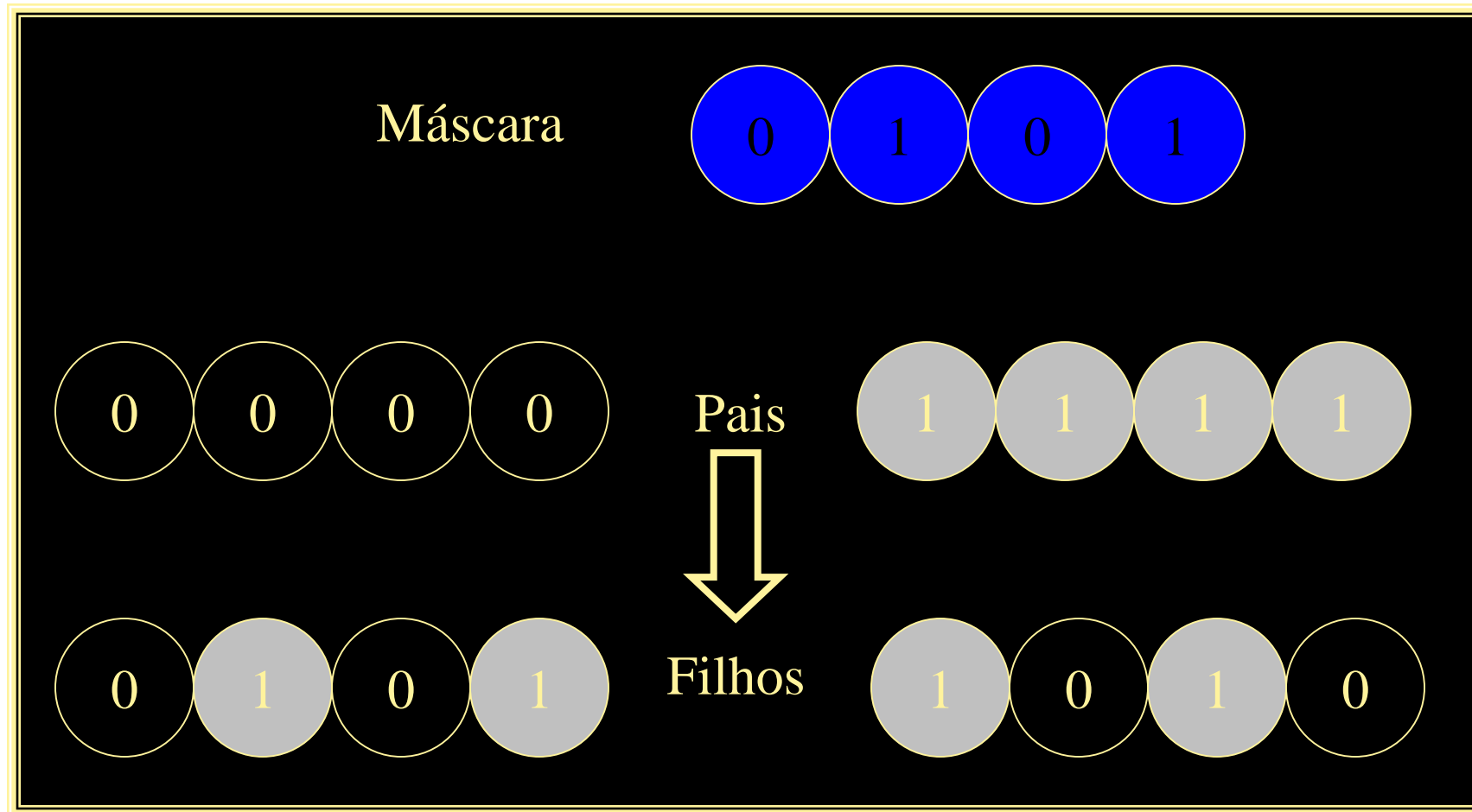
## CRUZAMENTO UM-PONTO



## CRUZAMENTO MULTI-PONTO



# CRUZAMENTO UNIFORME



# OPERADOR DE MUTAÇÃO

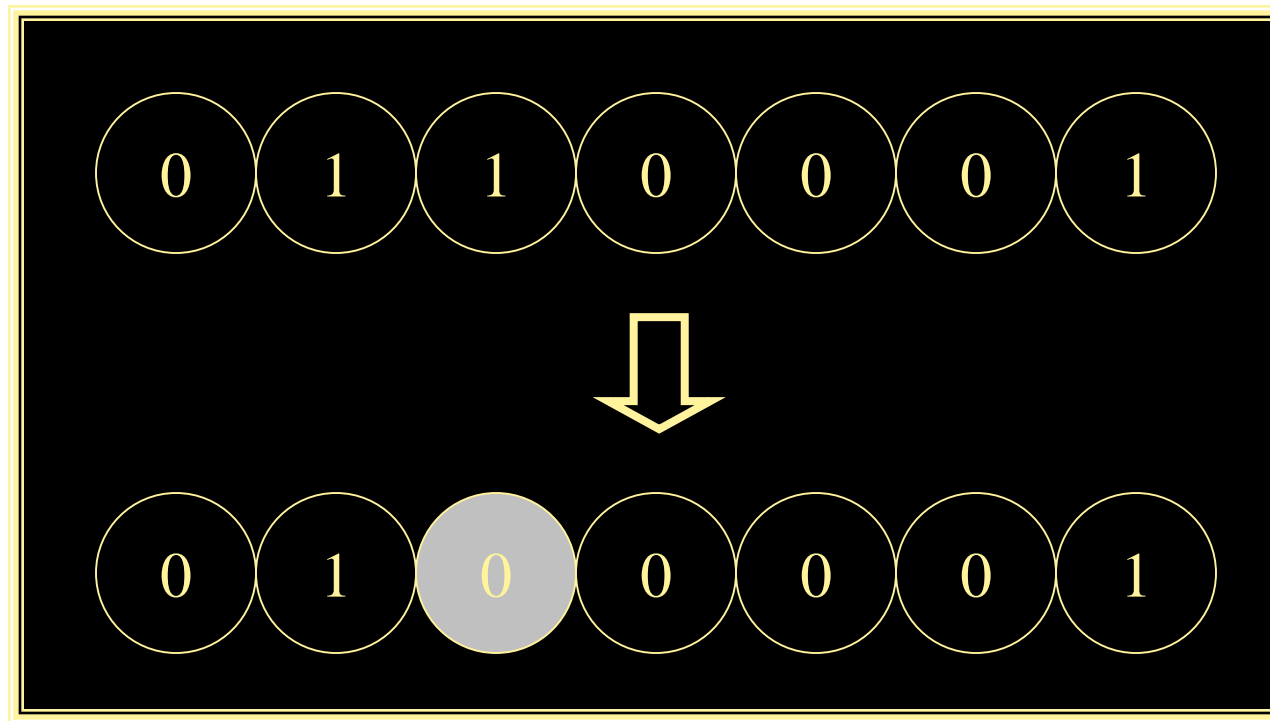
- Idéia >>> Criar variabilidade na população mas sem destruir o progresso já obtido na busca <<<
- Operador randômico de manipulação
- Introduz e mantém a variedade genética da população
- Garante a possibilidade de se alcançar qualquer ponto do espaço de busca.
- Contorna mínimos locais
- Se muito elevado acaba sendo ruim, pois se assemelha a uma busca aleatória.



## OPERADOR DE MUTAÇÃO

- É um operador genético secundário
- Se seu uso for exagerado, reduz a evolução a uma busca totalmente aleatória
- Logo um indivíduo sofre mutações com probabilidade baixa (normalmente entre 0,001 e 0,1)
- Geralmente aplica-se taxas de mutação maiores no início da busca
  - Busca global (*Exploration*)
- A medida que o algoritmo evolui, a taxa é decrescida
  - Busca local (*Exploitation*)

## EXEMPLO DE MUTAÇÃO



## PARÂMETROS GENÉTICOS

- Tamanho da população
- Taxa de cruzamento
- Taxa de mutação
- Intervalo de geração
- Critério de parada

## CONSIDERAÇÕES

- Entre os diversos operadores disponíveis é levantada uma questão.
- Qual o melhor operador a ser utilizado???
  - Geralmente a escolha do operador depende do problema
  - Existem diversas representações de soluções para os problemas
- Principais tipos de representação
  - Binária – Cadeia de bits. Ex. 1 0 1 1 0 1 0
  - Real ou Ponto Flutuante – Vetor com valores reais. Ex. 0,4 1,5 2,1 0,1
  - Permutação – Vetor com elementos inteiros distintos. Ex. 1 3 5 4 2

## OPERADORES PARA OUTRAS REPRESENTAÇÕES

- Os operadores vistos até então também podem ser aplicados em codificações com ponto flutuante.
- Entretanto, alguns operadores têm sido especialmente para esse problemas:
  - Cruzamento aritmético
  - Combinação linear de dois cromossomos:

# OPERADOR DE CRUZAMENTO PARA REPRESENTAÇÃO REAL

- Dois indivíduos selecionados  $x_1$  e  $x_2$
- Os filhos resultantes serão:

$$x'_1 = ax_1 + (1 - a)x_2$$

$$x'_2 = (1 - a)x_1 + ax_2$$

Onde  $a$  é um número aleatório no intervalo  $[0,1]$

- Interessante para problemas de otimização com restrições onde a região factível é convexa.
- Isso porque se  $x_1$  e  $x_2$  pertencem a região factível, os filhos também pertencerão.

## OPERADOR DE MUTAÇÃO REAL

- Codificação com ponto flutuante:
  - Mutação uniforme
    - Selecciona um gene do cromossomo aleatoriamente e atribui um número aleatório com distribui o de probabilidade uniforme amostrado no intervalo [UB-LB].
    - >> Somente um gene   modificado <<

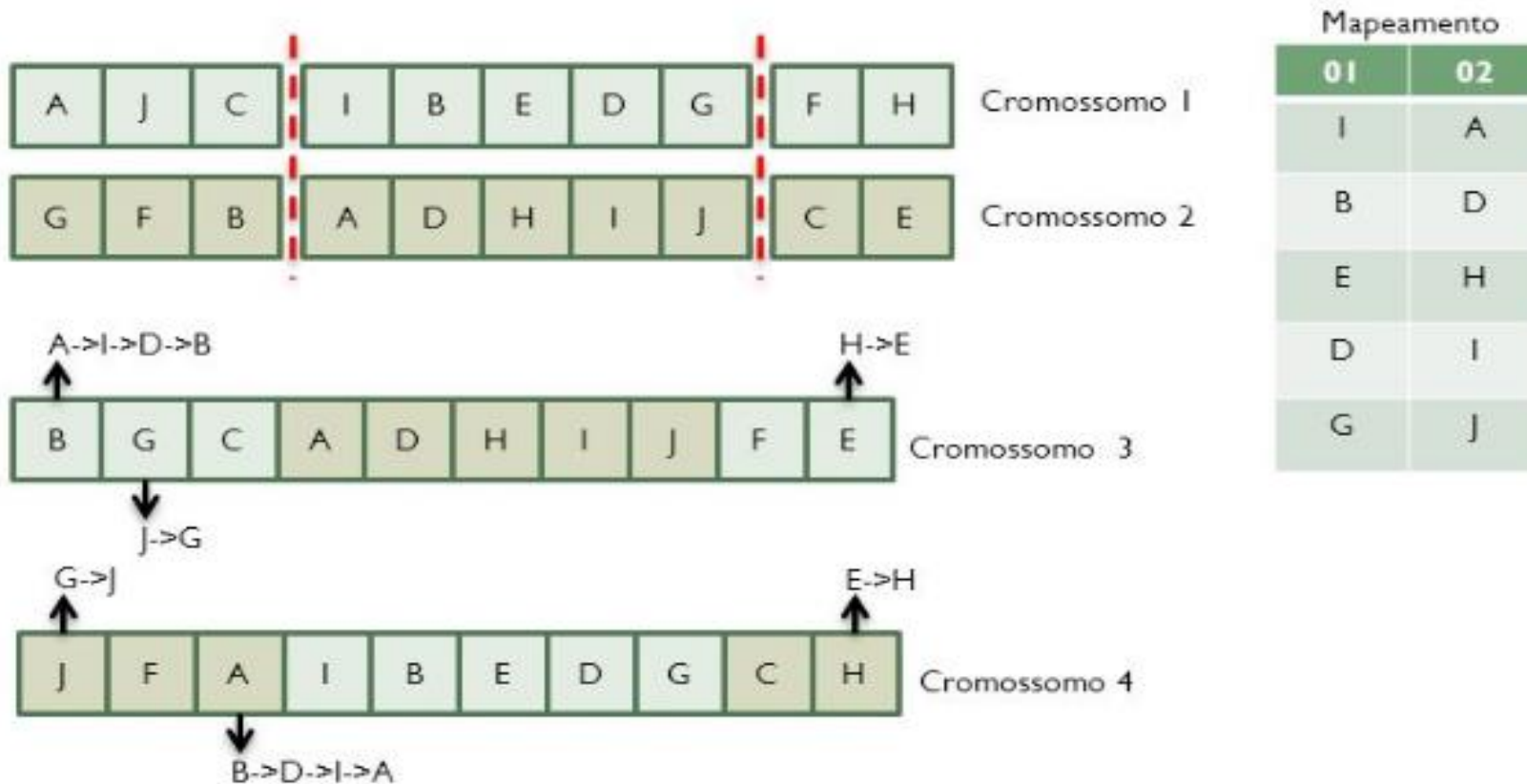
## OPERADOR DE MUTAÇÃO REAL

- Codificação com ponto flutuante:
  - Mutação Gaussiana
    - Todos os genes do cromossomo são modificado na forma  $x' = x + N(0, \sigma)$  onde  $N(0, \sigma)$  é o vetor de variáveis aleatórias Gaussianas independentes com média zero e desvio padrão  $\sigma$



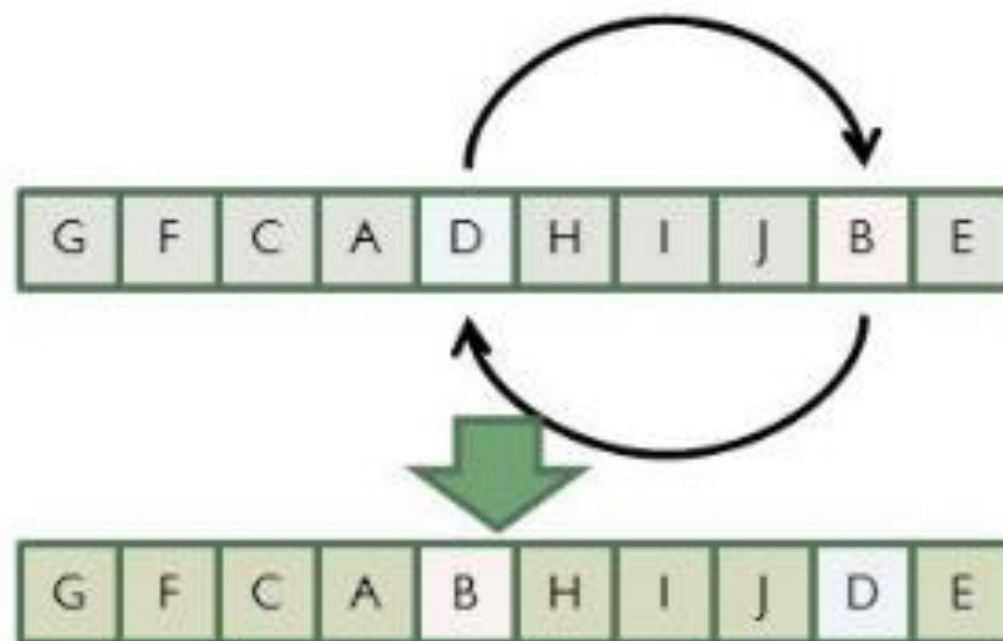
# CRUZAMENTO PARA CROMOSSOMO DE PERMUTAÇÃO

- Parcialmente mapeado (PMX)



# MUTAÇÃO PARA CROMOSSOMOS POR PERMUTAÇÃO

- Mutação por permutação



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

- O espaço de busca dos genótipos pode ser definido pelos operadores de busca ou pela **métrica de distância** e vice-versa.
  - Operador de busca local → Os genótipos são vizinhos.
  - Métrica de distância:
    - Distância de Hamming, o menor valor é  $d(x,y) = 1$
    - Distância City Block,  $d(x,y) = \sum_{i=1}^N |X_i - Y_i|$
- Assim, a definição da **representação** depende da escolha dos **operadores de busca** e vice-versa e não podem ser decididos de forma independente.
- Operadores de busca trabalham no nível de genótipo, enquanto a avaliação das soluções é executada no nível de fenótipo.

# CONSIDERAÇÕES FINAIS

## ○ Operadores de Recombinação

- Seja  $(P_1, P_2)$  os pais e  $O_1$  um descendente gerado de acordo com os Princípios de Radcliffe.
- Desta forma temos,  $d(P_1, P_2) \geq \text{MAX}( d(P_1, O_1) , d(P_2, O_1) )$ 
  - Isto significa que a diferença entre a distância do filho para os pais deve ser menor ou igual a diferença entre os pais. Ou seja, os descendentes são mais similares aos pais do que os pais entre si.

## ○ Princípios de Radcliffe

- Radcliffe nos anos 90 desenvolveu um guia para o desenvolvimento de operadores.
- Princípio formal os quais são subconjuntos do espaço de busca são definidos como classes de equivalência que são induzidos por um conjunto de relações equivalentes.
- Exemplo: - Mesma cor de cabelo, Mesma cor dos olhos, Tipo Sanguíneo.

## PRINCÍPIOS DE RADCLIFFE

- **Respeito:** descendentes gerados por recombinação devem ser membros dos Forma-E para qual ambos os pais pertencem. Ex de Forma-E: - Cabelos Vermelhos, Cabelo Preto, Olhos Verdes.
- **Transmissão:** Um descendente deve ser equivalente para pelo menos um de seus pais sob cada uma das relações de equivalência.
- **Escolha:** Um descendente pode ser formado com qualquer característica compatível de um dos pais. Ex. um filho só pode pegar uma característica de um pai e outra de outro pai se elas forem compatíveis.
- **Ergocidade:** O uso iterativo de operadores de busca a partir de todas as soluções iniciais.

## APLICAÇÕES

- Alocação de tarefas
- Configuração de sistemas complexos
- Seleção de Rotas
- Problemas de Otimização e de Aprendizagem de Máquina
- Problemas cuja solução seja um estado final e não um caminho

## APLICAÇÕES

- São especialmente interessantes em problemas difíceis de otimizar de forma convencional
- Técnicas tradicionais são mais difíceis de empregar
- Se uma técnica tradicional puder ser empregada, normalmente acha melhor solução mais rápido

## APLICAÇÕES

- Existem muitos problemas práticos aos quais técnicas determinísticas tradicionais não podem ser aplicadas
- Técnicas tradicionais têm natureza serial
- Algoritmos Genéticos têm natureza paralela



## PERSPECTIVAS FUTURAS

- Computação baseada em DNA
- Cooperação e competição entre populações
- Vida vegetal
- Desenvolvimento de modelos teóricos
- Sistemas evolutivos híbridos
- Metodologia para a configuração de parâmetros
- Prova formal da eficiência global dos AGs