

Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Departamento de Informática

Algoritmos Genéticos

Computação Natural

Perfil Sistemas Inteligentes @ MEI/MiEI 1º/4º – 2º semestre

Cesar Analide, Filipe Gonçalves

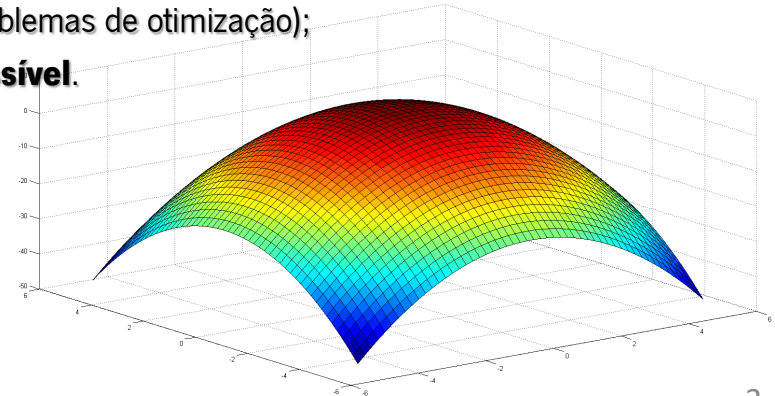
Definição

- Procedimento **iterativo** que mantém uma **população** de estruturas **candidatas a soluções**, para domínios específicos.
- A cada incremento de tempo (**geração**), as estruturas da população corrente são avaliadas na sua capacidade de serem soluções válidas para o domínio do problema, sendo formada uma **nova população** de soluções candidatas, baseada na sua avaliação, desenvolvida pela aplicação de **operadores genéticos** (seleção, cruzamento, mutação, purificação, entre outros).



Enquadramento

- Algoritmos Genéticos configuram processos adaptativos de procura num espaço de soluções, por aplicação de operadores modelados de acordo com o **conceito de herança**, inerente à teoria da evolução das espécies, de Charles Darwin;
- AGs pertencem à classe de algoritmos probabilísticos, distinguindo-se:
 - pelo método de procura que utilizam;
 - pelo tratamento específico dos ótimos locais;
- Aplicam-se:
 - em problemas que envolvem a **melhoria de soluções** (problemas de otimização);
 - em problemas cujo **cálculo** de soluções é **difícil ou impossível**.





Enquadramento

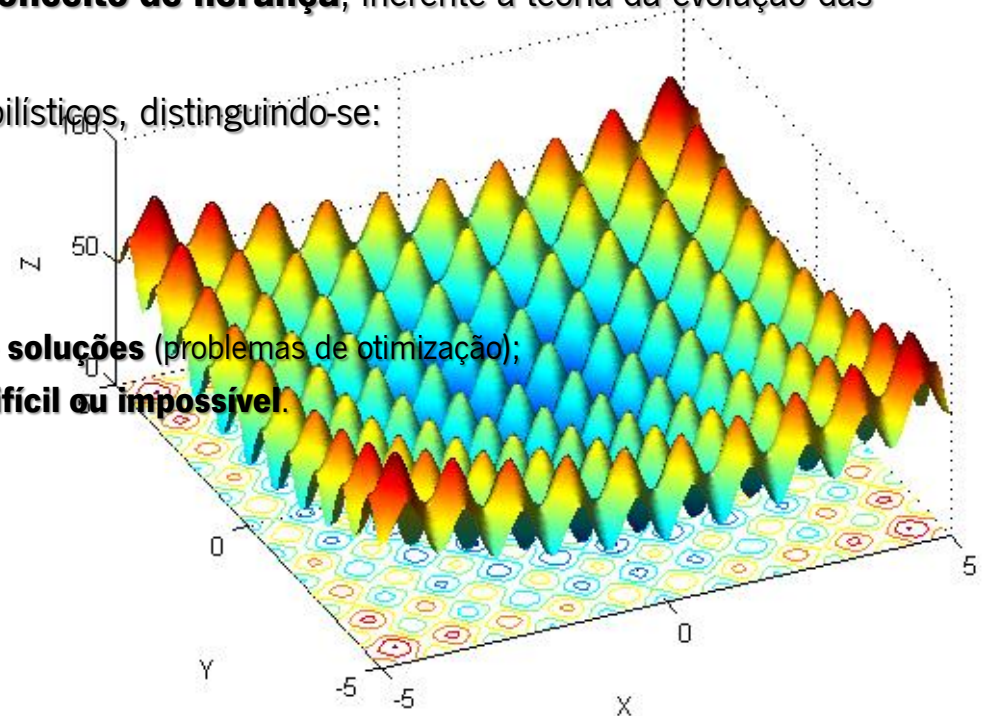
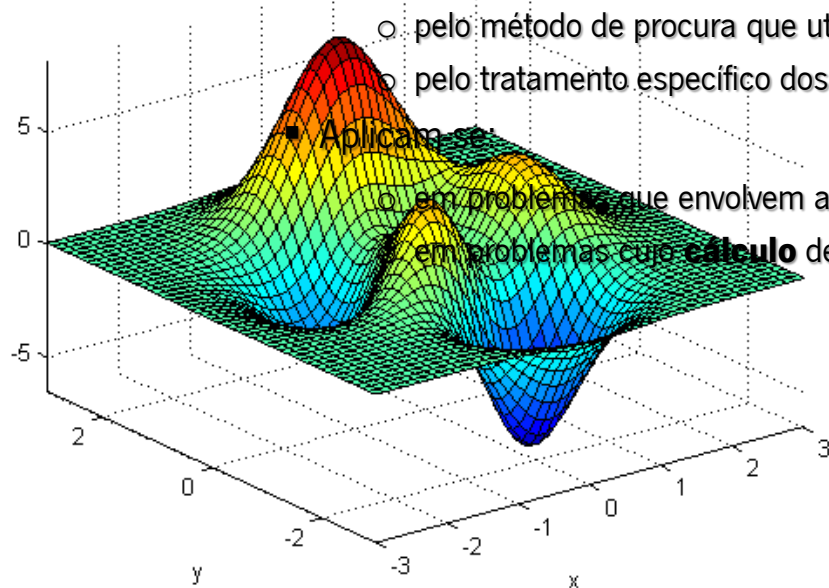
- Algoritmos Genéticos configuram processos adaptativos de procura num espaço de soluções, por aplicação de operadores modelados de acordo com o **conceito de herança**, inerente à teoria da evolução das espécies, de Charles Darwin;

- AGs pertencem à classe de algoritmos probabilísticos, distinguindo-se:

- o pelo método de procura que utilizam;
- o pelo tratamento específico dos ótimos locais;

- Aplicam-se:

- o em problemas que envolvem a **melhoria de soluções** (problemas de otimização);
- o em problemas cujo **cálculo** de soluções é **difícil ou impossível**.





ISLab

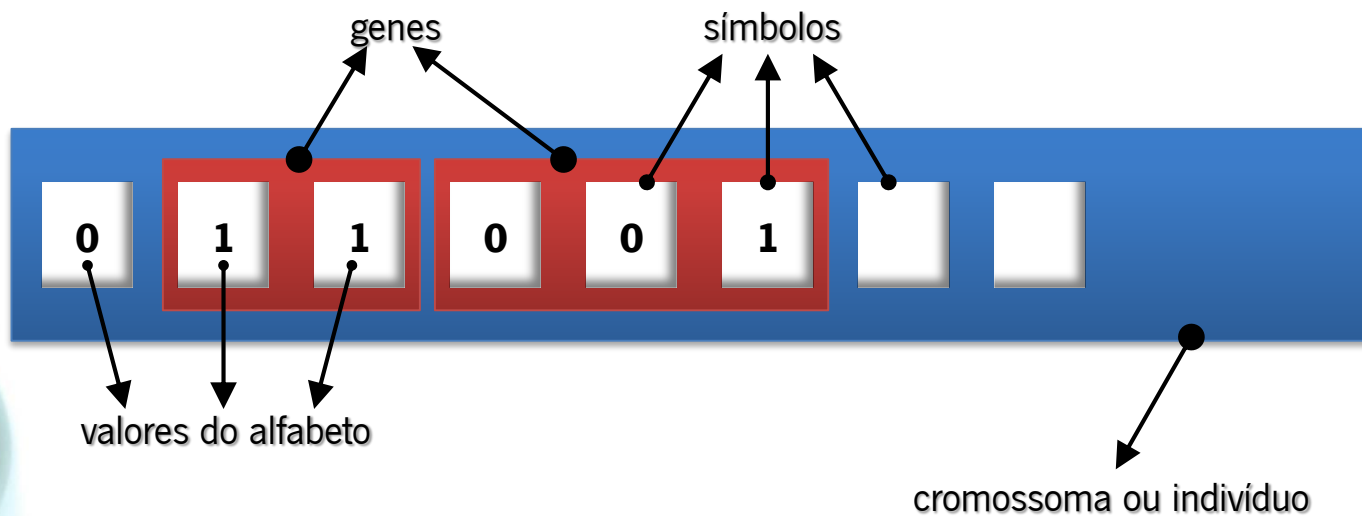
Synthetic Intelligence Lab

Modelo de Representação

- O **ambiente**, os **inputs** e os **outputs** são representados por **conjuntos de símbolos**, de **tamanho fixo**, de um dado alfabeto:
 - $\{0; 1\}$
 - $\{X; Y; Z\}$
 - $\{i; ii; iii; iv; v; \dots\}$
 - \mathbb{R}
 - \dots

Modelo de Representação

- Cada ponto, no domínio do ambiente, pode ser considerado um **indivíduo**, representado por uma sequência (*string*) gerada a partir do alfabeto, constituído na forma:



Modelo de Representação

- Num determinado instante de tempo, o sistema é caracterizado por uma **população** (conjunto de *strings*), representando o **conjunto atual de soluções** do problema;
- A **evolução** é baseada numa **estratégia adaptativa**, pela aplicação de um processo de **medição do desempenho** (*fitness*) da população (conjunto de soluções);
- O **tempo** é medido em intervalos discretos, designados **gerações**, definindo as transições de estado originadas.



Representação do Problema

- A entidade básica para a representação do conhecimento é o **cromossoma**, composto por **genes**;
- Supondo a utilização de uma codificação binária:
 - Para representar 8 valores (p.ex., as 7 cores do arco íris mais o preto):
 - utilizar 3 símbolos em 1 gene $\rightarrow 2^3 = 8$
 - Para representar 5 valores (p.ex., para representar os dedos de uma mão ou as cores da íris do olho):
 - utilizar 3 símbolos em 1 gene $\rightarrow 2^3 = 8 > 5$
 - utilizar 2 símbolos em 1 gene $\rightarrow 2^2 = 4 < 5$



Avaliação das Soluções

▪ A função objetivo:

- pode ser explícita/conhecida ou implícita/desconhecida;
- pode ser conhecida e coincidente com a resolução do problema;
- pode ser conhecida, mas, por exemplo, ser demasiado complexa para calcular;
- pode não estar definida ou não ser conhecida, pelo que a avaliação deverá refletir outra forma de medida (aproximada);

▪ $\mathcal{F}(\$

0

1

1

0

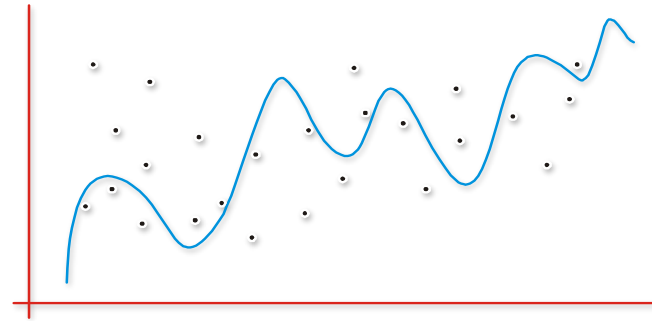
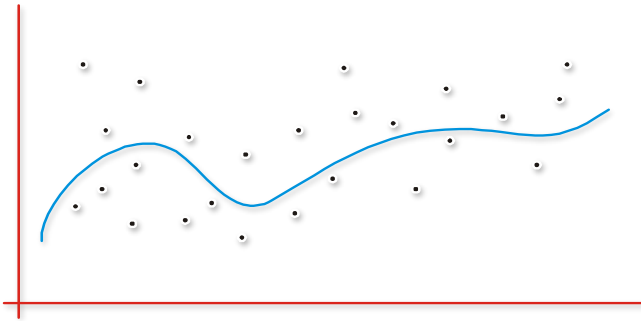
0

1

$\mathcal{F}(\text{011001}) = X$

Avaliação das Soluções

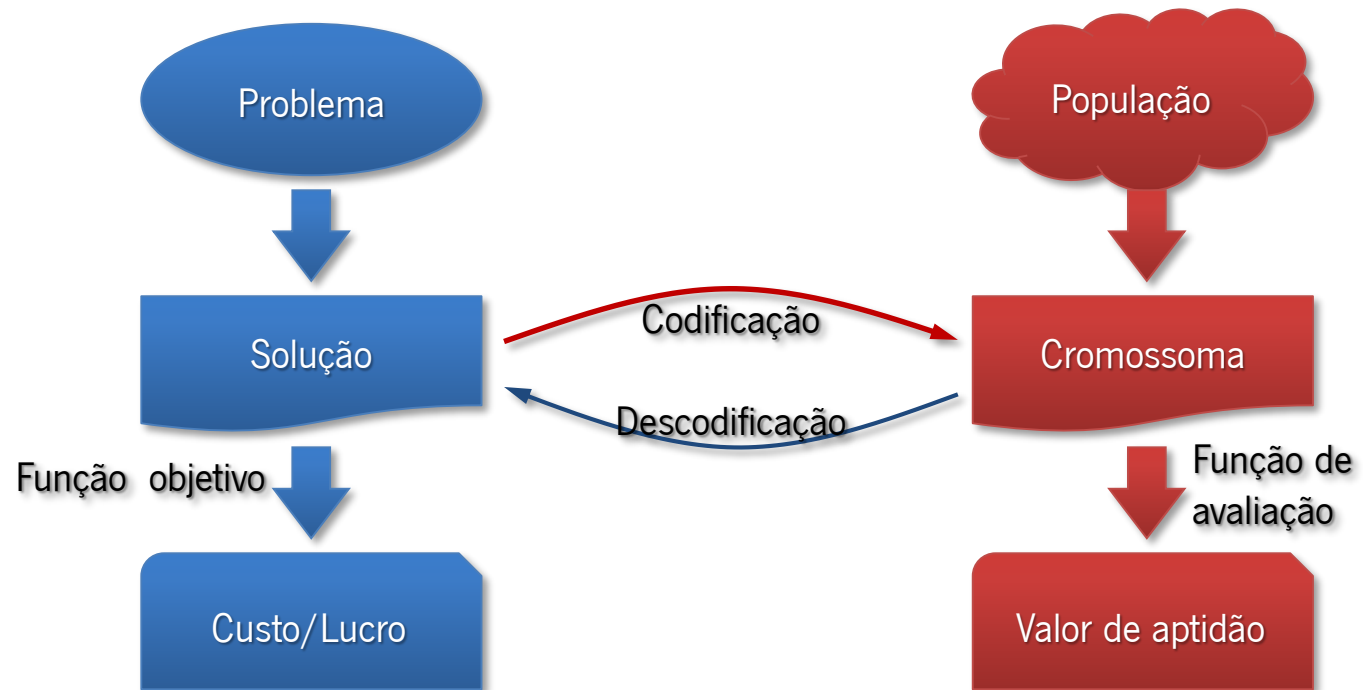
- A **função de avaliação** deve ser **suave** e **regular** no sentido de evitar ao máximo que a procura “caia” frequentemente em máximos ou mínimos locais;



$$\mathcal{F}(\begin{array}{|c|c|c|c|c|c|} \hline 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ \hline \end{array}) = X$$



Avaliação das Soluções





ISLab

Synthetic Intelligence Lab

Seleção

- A **Seleção** de progenitores para reprodução deve garantir que os indivíduos com maior valor de aptidão tenham, proporcionalmente, mais descendentes;
- Idealmente, cada indivíduo deverá ser representado por um número de descendentes equivalente ao **rácio** entre o seu **valor de aptidão** e **o valor médio da população**;
- Existem diversas estratégias de Seleção:
 - Seleção por Classificação;
 - Método da Roleta;
 - ...



ISLab

Synthetic Intelligence Lab

Cruzamento

- O operador genético **Cruzamento** é uma analogia com a reprodução sexuada dos seres vivos;
- O objetivo do cruzamento é o de conseguir, nos descendentes, uma **combinação do material genético** dos progenitores (herança);
- O operador Cruzamento é aplicado a **dois indivíduos** da população, produzindo **outros dois indivíduos** para a população da geração seguinte;
- Utiliza-se o parâmetro **Taxa de Cruzamento** (Cr), para definir a probabilidade de aplicação deste operador.

Mutação

- O operador genético **Mutação** pretende ser uma analogia com a mutação genética dos seres vivos;
- A mutação é um operador genético unário: aplica-se a **um indivíduo** da população para gerar **um novo indivíduo** para a população seguinte;
- A **Taxa de Mutação** (μ) define a probabilidade de acontecer numa determinada posição de um determinado indivíduo da população.

Ciclo de Execução

- População Inicial:
 - A população inicial é escolhida **aleatoriamente**.

População inicial



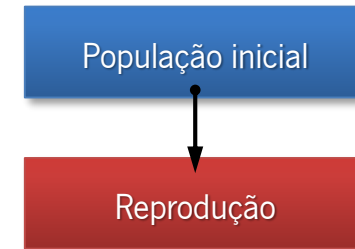
ISLab

Synthetic Intelligence Lab

■ Reprodução:

- A **Reprodução** é composta pela **Avaliação** e pela **Seleção**:
 - a **Avaliação** consta da aplicação da função de avaliação a todos os indivíduos da população;
 - as estruturas da próxima geração são obtidas por **Seleção** dos membros da geração anterior, através de um processo que deve garantir a escolha das estruturas com melhor desempenho.

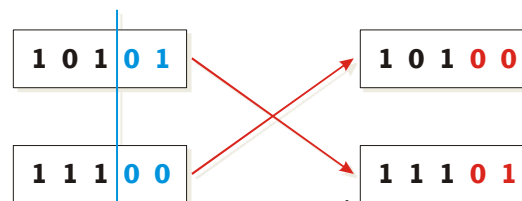
Ciclo de Execução



Ciclo de Execução

■ Cruzamento:

- A pares de elementos, **cruzam-se os valores** a partir da mesma posição;



- esta operação permite criar novos pontos de desenvolvimento, dentro do mesmo problema.



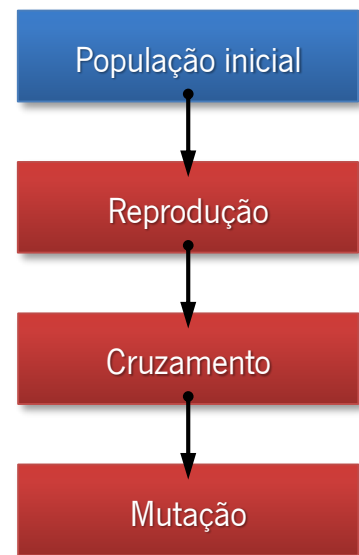
■ Mutação:

- Cria novos elementos, modificando um ou mais símbolos, escolhidos ao acaso;



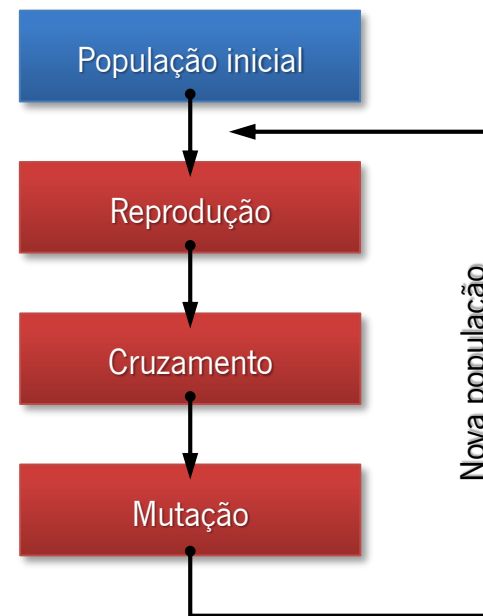
- Aplica-se com baixa probabilidade;
- Garante que é sempre possível chegar a qualquer posição do problema;
- Previne a perda total de informação pela seleção e eliminação.

Ciclo de Execução



- A **Nova População**, obtida pela aplicação dos operadores genéticos é, novamente, submetida ao mesmo Ciclo de Execução.

Ciclo de Execução



Resultados

- Algoritmos Genéticos representam um vasto leque de **métodos de otimização** global;
- Não utilizam funções derivadas para a procura de soluções ótimas, o que evita “a tentação” de cair em **ótimos locais**;
- A resolução de um problema utilizando AGs propõe um conjunto de soluções:
 - especialmente útil em problemas de otimização de múltiplos objetivos;
 - potencia o paralelismo na procura de soluções.



ISLab

Synthetic Intelligence Lab

Parâmetros Genéticos

- Tamanho da População (N):

- uma **população pequena** pode provocar um mau desempenho, por não cobrir adequadamente o espaço do problema, originando soluções locais;
- uma **população grande** pode evitar os problemas anteriores, mas pode afetar a eficiência computacional do sistema.

Parâmetros Genéticos

- Tamanho da População (N);
- Taxa de Cruzamento (Cr):
 - quantidade de cromossomos utilizados para cruzamento: $N \times Cr$.



ISLab

Synthetic Intelligence Lab

Parâmetros Genéticos

- Tamanho da População (N);
- Taxa de Cruzamento (Cr);
- Taxa de Mutação (Mr):
 - a mutação é utilizada para aumentar a variabilidade da população;
 - cada gene tem uma probabilidade finita de mudar;
 - sendo L o comprimento do cromossoma, ocorrerão $Mr \times N \times L$ mutações;
 - uma **baixa taxa** de mutação permite que um gene “gele” num valor;
 - uma **alta taxa** de mutação resulta numa procura aleatória de soluções.



ISLab

Synthetic Intelligence Lab

Parâmetros Genéticos

- Tamanho da População (N);
- Taxa de Cruzamento (Cr);
- Taxa de Mutação (Mr);
- Taxa de Substituição (Generation Gap - Gr):
 - controla a percentagem da população a ser substituída em cada geração;
 - são substituídos $N \times Gr$ estruturas da população;
 - se $Gr = 1$, significa que toda a população deve ser substituída durante cada geração.

Parâmetros Genéticos

- Tamanho da População (N);
- Taxa de Cruzamento (C_r);
- Taxa de Mutação (M_r);
- Taxa de Substituição (Generation Gap - G_r);
- Estratégia de Seleção:
 - a reprodução é feita com base na proporção do valor de *fitness* das estruturas da população atual;
 - as estruturas com melhor desempenho são as que deverão passar para a próxima geração.



ISLab

Synthetic Intelligence Lab

Parâmetros Genéticos

- Tamanho da População (N);
- Taxa de Cruzamento (Cr);
- Taxa de Mutação (Mr);
- Taxa de Substituição (Generation Gap - Gr);
- Estratégia de Seleção;
- Função de Avaliação:
 - serve para manter a diversidade da população durante a evolução;
 - o surgimento de um “super cromossoma” dominante na população deve ser evitado, para que o espaço de soluções do problema seja eficientemente explorado.

Outras abordagens: Representação

- Representações Reais:
 - Mais próximas dos problemas reais;
 - O Cruzamento altera “genes” e não símbolos dos genes;
 - A Mutação substituirá o valor de um gene por outro valor aleatório;
- Representações Inteiras;
- Representações Baseadas em Permutações;
- Representações Ordinais.

Outras abordagens: Representação

- Representações Reais;
- Representações Inteiras:
 - Para situações em que o domínio de soluções é discreto;
 - O Cruzamento tem o mesmo significado que anteriormente;
 - A Mutação implica maior poder computacional: escolha aleatória ou sequencial;
- Representações Baseadas em Permutações;
- Representações Ordinais.

Outras abordagens: Representação

- Representações Reais;
- Representações Inteiras;
- Representações Baseadas em Permutações:
 - A ordem dos genes no cromossoma não é relevante;
 - Cada indivíduo é construído pela permutação de um conjunto de valores;
 - Não são admitidos valores repetidos;
 - O comprimento do cromossoma é dado pela cardinalidade do alfabeto;
- Representações Ordinais.



ISLab

Synthetic Intelligence Lab

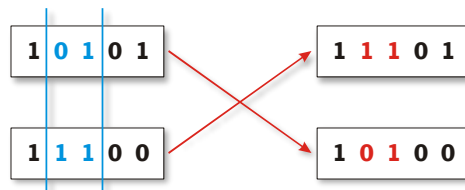
Outras abordagens: Representação

- Representações Reais;
- Representações Inteiras;
- Representações Baseadas em Permutações;
- Representações Ordinais:
 - São uma “manipulação” das Representações Baseadas em Permutações;
 - Tem o objetivo de permitir utilizar os operadores genéticos de Cruzamento e de Mutação de representações binárias;
 - O valor de cada gene é um inteiro do intervalo $[1, N-i+1]$.

Outras abordagens: Cruzamento

- Cruzamento de dois pontos:

- Os indivíduos formam “anéis”;
- Utilizam-se dois pontos para marcar o início e o fim do material de cruzamento;

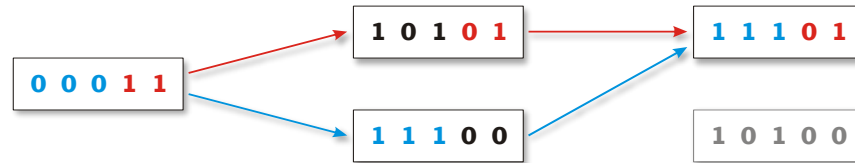


- Cruzamento uniforme.



Outras abordagens: Cruzamento

- Cruzamento de dois pontos;
- Cruzamento uniforme:
 - Utiliza-se uma máscara binária, gerada de forma aleatória;
 - Na posição em que a máscara tem o valor “1”, o descendente adota o valor do primeiro progenitor; quando o valor é “0”, copia-se o valor do segundo progenitor;



- Para o segundo descendente procede-se de forma inversa.



ISLab

Synthetic Intelligence Lab

Referências bibliográficas

- David Goldberg, “Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning”, Addison Wesley, 1989
- Miguel Rocha, José Neves, “Computação Genética e Evolucionária”, Universidade do Minho, 2000

Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Departamento de Informática

Sistemas Autónomos

Perfil Sistemas Inteligentes @ MEI/MiEI 1º/4º – 2º semestre

Cesar Analide, Filipe Gonçalves