

Introdução à Inteligência Artificial

Luiz Fernando Carvalho

5COP009 – Fundamentos de Inteligência Artificial

luizfcarvalhoo@gmail.com

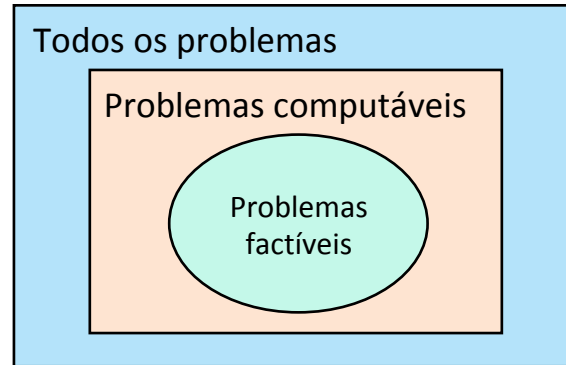
Sumário

- Metaheurísticas;
- Conceitos principais;
- Algoritmos Genéticos
 - Representação da população;
 - Estratégia de Seleção
 - Operadores de Busca
 - Crossover
 - Mutação;

Introdução

- Se há uma diversidade impressionante de algoritmos para solução de problemas, por que existe a necessidade de novas abordagens?
 - Porque problemas importantes continuam sendo “difíceis” de resolver
- Por que alguns problemas continuam sendo “difíceis” de resolver?
 - Porque as seguintes características (isoladas ou em conjunto) impedem o uso ou degradam o efeito da aplicação de algoritmos clássicos:
 - Intratabilidade matemática;
 - Não-linearidades;
 - Ausência de informação suficiente acerca do problema;
 - Observações ruidosas;
 - Explosão combinatória de candidatos à solução.

Introdução



- **Problemas computáveis:** são aqueles para os quais é possível fornecer um algoritmo que leve à sua solução
 - Complexidade associada à quantidade de memória e ao tempo de processamento para chegar à solução explorando o espaço de busca.
- **Problemas infactíveis:** caso tempo e/ou memória não forem tratáveis computacionalmente.

Introdução

- E se simplificar ou realizar aproximações junto ao problema?
 - A aplicabilidade dos algoritmos clássicos aumenta. Mas continuarão a existir problemas importantes e “difíceis” de resolver.
- Então, que nova abordagem poderia substituir as abordagens clássicas?
 - as meta-heurísticas formam um grupo mais abrangente de métodos que constituem alternativas promissoras às abordagens clássicas.

Metaheurísticas

- Definição
 - Meta-heurísticas compreendem metodologias de busca em espaços de soluções candidatas;
 - São capazes de gerenciar operadores computacionais de busca local e de busca global;
 - Promove robustez e eficácia na busca de soluções;
- Estratégia
 - Abrir mão da garantia de obtenção da solução desejada em prol da factibilidade;
 - Uma boa solução, mesmo não sendo ótima, é melhor que nenhuma solução ou uma solução tomada aleatoriamente.

Metaheurísticas

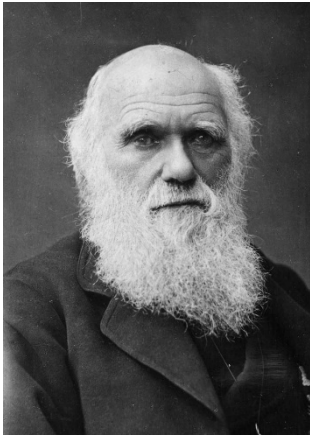
- A ideia é propor algoritmos que explorem o espaço de busca de forma eficaz, visando localizar soluções de boa qualidade (ou até mesmo ótimas);
- Possuem amplo repertório de possíveis aplicações, sobretudo para os cenários em que os métodos clássicos de otimização são ineficientes ou infactíveis.
- Porém, de maneira geral, metaheurísticas NÃO possuem as propriedades:
 - Garantia de obtenção da solução ótima;
 - Garantia de convergência;
 - Garantia de custo mínimo para se chegar a uma solução.

Metaheurísticas

- Os problemas de busca reais podem ter espaços de busca muito grandes.
- Muitos algoritmos não são capazes de localizar o ótimo global na presença de múltiplos ótimos locais (ex. *Hill Climbing*).
- Os Algoritmos Genéticos são uma boa solução, pois introduzem o conceito de viés particular para cada problema, onde a cada nova geração, espera-se tratar somente indivíduos de uma população seriam já adaptados.
- No entanto, os algoritmos genéticos são métodos conhecidos da Inteligência Artificial como “*weak methods*”, pois assumem que a cada geração o problema está sendo resolvido.
- Os Algoritmos Genéticos, mesmo sendo *Weak Methods*, são robustos e gerais para os mais variados problemas. Atualmente trabalham em implementações híbridas na mais variada gama de soluções. São considerados também como Metaheurística

Algoritmos Genéticos

- Os Algoritmos Genéticos (*Genetic Algorithms* - GA) foram desenvolvidos por John Henry Holland, da Universidade de Michigan na década de 70.
 - Popularizado por David Golberg posteriormente;
- Tem como base:



Charles Darwin

1859: “As espécies evoluem pelo princípio da seleção natural e sobrevivência do mais



Gregor Mendel

1865: Cruzamento genético de ervilhas

Algoritmos Genéticos - Conceitos

- **Aptidão (*fitness*)**

- Indivíduos aptos a sobreviver e atrair um par, geram uma descendência maior. É medida pela sua capacidade de sobreviver ao ambiente.

- **Cromossomos**

- Cadeia de genes que são modelos para cada organismo. É um indivíduo;

- **Gene**

- Codifica uma proteína (representa uma característica);

- **Locus**

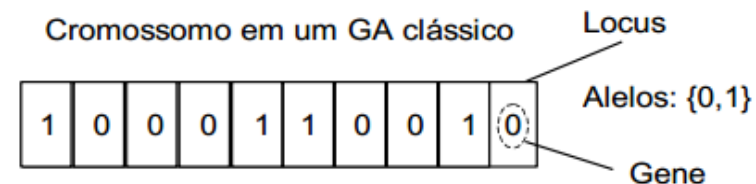
- Local no cromossomo ocupado pelo gene;

- **Alelos**

- Valores que o gene pode possuir

- **Indivíduos**

- Organismos de uma determinada população;



Algoritmos Genéticos - Conceitos

- **Competição:** Busca pela perpetuação dos genes às novas gerações
- **Recombinação:** Ou crossover, é a combinação dos genes dos cromossomos pais para formar um ou mais cromossomos novos;
- **Mutação:** Evento probabilístico que pode alterar o alelo de um gene.

Algoritmos Genéticos

- GA realizam a busca com base em uma **população** de soluções candidatas (pontos no espaço de busca) e não sobre um único ponto;
- A ideia é aplicar **recombinações** (crossover) dos indivíduos **mais aptos** de uma população para oferecer a melhor solução para um problema de busca e otimização;
- O processo de busca da solução é guiado por meio da função de *fitness* (função-objetivo);
- Durante a busca, GA utilizam regras de transição **probabilísticas**, e não regras determinísticas;
- A população evolui através de sucessivas gerações até encontrar uma solução satisfatória (indivíduo apto o suficiente);

Algoritmos Genéticos

- Pertence a categoria de algoritmos chamada de Computação Evolutiva:
 - **Estratégia Evolutiva:** ênfase na auto-adaptação – Evolui tanto soluções como seus próprios parâmetros;
 - **Programação Genética:** indivíduos são armazenados em árvores sintáticas;
 - **Programação Evolutiva:** basead somente em seleção e mutação;
 - **Sistemas Classificadores:** criação e atualização evolutiva de regras (denominadas classificadores) em um sistema de tomada de decisão;

Algoritmos Genéticos Clássico

- Para os Algoritmos Genéticos, o indivíduo mais apto é a solução para o problema avaliado;
- A população são as possíveis soluções para o problema;
- Para cada indivíduo é calculado um grau de aptidão (*Fitness*);
- Os indivíduos com os maiores valores de fitness se reproduzem;
- Mutações podem ser aplicados aos novos indivíduos da população, criados pela recombinação;
- O processo é iterativo até que seja atingido o critério de parada.

Algoritmos Genéticos Clássico

- Questões importantes:
 - Representação dos indivíduos;
 - Estratégia de Seleção;
 - Operadores de Busca;

Representação de Indivíduos

- Assume-se que um indivíduo (cromossomo) pode ser representado por um conjunto de parâmetros (genes);
- As representações tradicionais são:
 - **Codificação Binária:** é a mais simples, cada cromossomo é uma série de bits;
 - **Codificação por Permutação:** cada cromossomo é um arranjo ordenado de elementos. A ordem dos elementos importa e restrições podem ser aplicadas.
 - **Codificação em ponto flutuante (real):** vetor de atributos reais;
 - **Codificação por máquinas de estados finitos:** representa uma sequência de instruções a ser executada, 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 computacionais.
- A escolha da representação impacta em como os operadores de busca (*crossover* e *mutação*) vão agir sobre os cromossomos.

Codificação Binária

- Amplamente utilizada na representação dos cromossomos, mesmo quando as variáveis do problema são inteira ou reais;
- $x \in (a, b)$ pode ser codificada utilizando-se cadeias binárias de comprimento l
 - Precisão numérica de $(a-b)/(2^l-1)$
- Em diversas aplicações práticas a utilização de codificação binária leva a um desempenho insatisfatório;
- GA com representação em ponto flutuante frequentemente apresentam desempenho superior à codificação binária em problemas de otimização numérica;
- Supondo um problema com 100 variáveis com domínio no intervalo $[-500, 500]$ e que precisamos de 6 dígitos de precisão após a casa decimal.
 - Neste caso precisaríamos de um cromossomo de comprimento 3000, e teríamos um espaço de busca de aproximadamente 10^{1000}

Codificação em Ponto Flutuante

- Alternativa à codificação binária;
- Representação natural no âmbito de problemas de otimização em domínios contínuos;
- Cada elemento do vetor corresponde a uma variável de decisão do problema;

2.3	8.5	4.5	9.1	3	87.3
-----	-----	-----	-----	---	------

Codificação por Permutação

- É útil para problemas de ordenação, porém exige correções para manter as recombinações e ordem dos elementos consistentes dentro do universo do problema
 - Exemplo: Problema do caixeiro viajante;

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

Operadores de Seleção

- A seleção tem a função de selecionar um indivíduo (ou par de indivíduos) para a geração de descendentes;
- Os indivíduos mais aptos da população geram novas soluções;
 - Seleciona os melhores em detrimento dos piores;
- Em geral, indivíduos pais são selecionados com uma probabilidade proporcional a seu valor de *fitness*.
 - A ideia é privilegiar indivíduos com valores mais elevados de fitness
- A função *fitness* é modelada de acordo com o problema que se deseja solucionar
- Os operadores de seleção podem ser determinísticos ou probabilísticos;

Teoria da Pressão Seletiva

- **Pressão seletiva:** Analisa o tempo de dominância do operador.
- Tempo de dominância é definido como sendo a velocidade para que a melhor solução da população inicial domine toda a população através da aplicação isolada do operador de seleção;
- Se o tempo de dominância de um operador é grande, então a pressão seletiva é fraca, e vice-versa;
- A pressão seletiva oferece uma medida de quão “ganancioso” é o operador de seleção no que se refere à dominância de um indivíduo da população.
 - Se o operador de seleção apresenta uma forte pressão seletiva, então a população perde diversidade rapidamente.

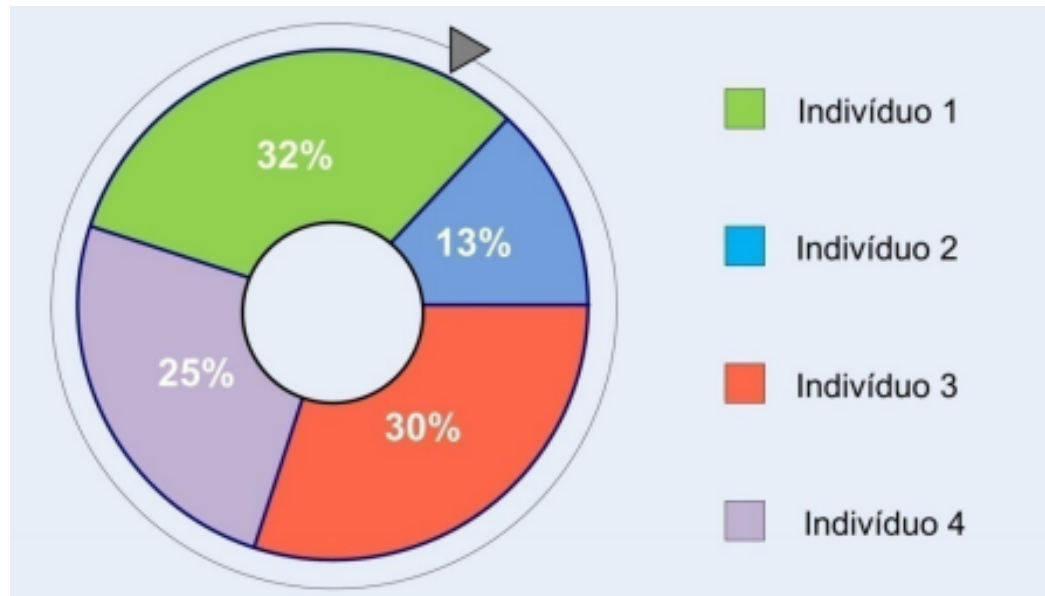
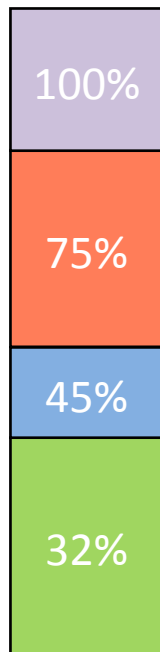
Teoria da Pressão Seletiva

- Sendo assim, para evitar uma rápida convergência para pontos sub-ótimos, é necessário empregar populações com dimensões elevadas e/ou operadores genéticos capazes de introduzir e/ou manter a diversidade populacional.
- Por outro lado, operadores genéticos com estas características tornam a convergência do algoritmo lenta nos casos em que a pressão seletiva é fraca.
 - Isto permite uma maior exploração do espaço de busca.

Operadores de 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 de um indivíduo, maior a probabilidade de ele passar para a próxima geração;
 - Pode gerar problemas quando existe grandes diferenças entre os valores aptidão dos indivíduos;

Operadores de Seleção: Roleta



Operadores de Seleção: Torneio

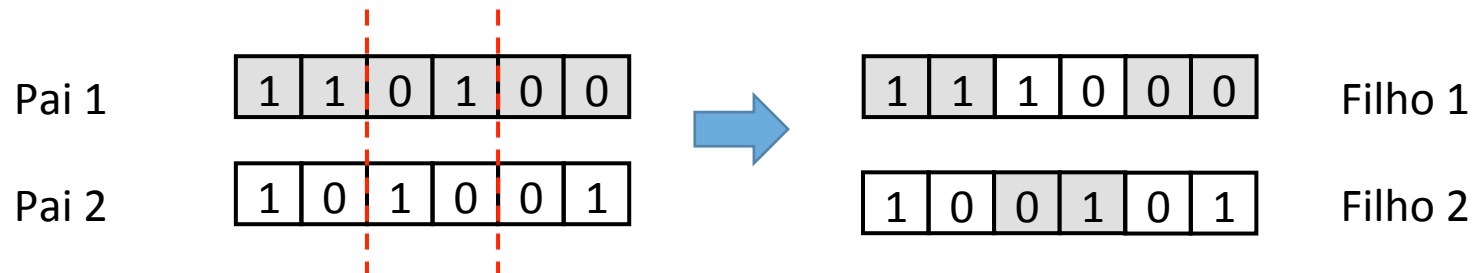
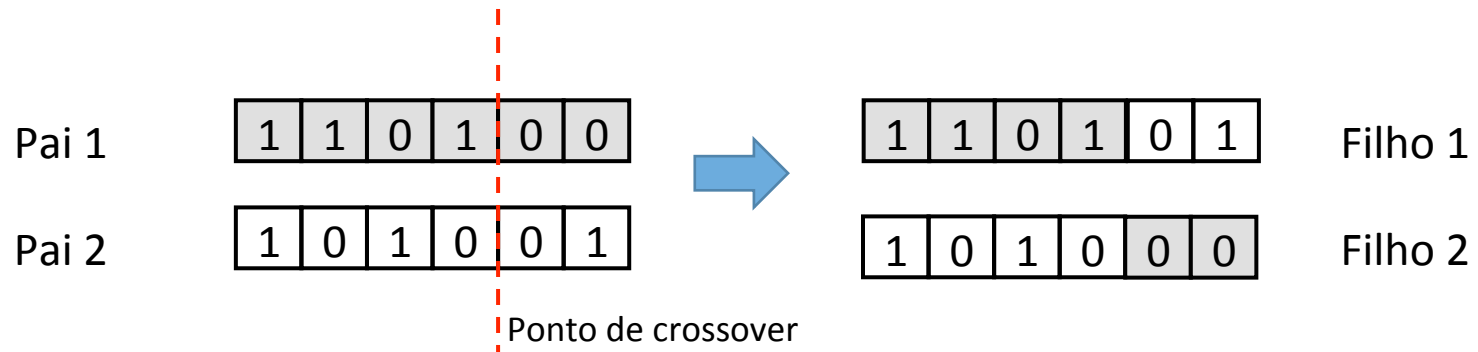
- Permite ao usuário ajustar a pressão seletiva;
- Para se selecionar N indivíduos, realizam-se N torneios envolvendo q indivíduos em cada torneio, escolhidos sem levar em conta o *fitness* e com reposição (um indivíduo pode aparecer mais de uma vez num mesmo torneio).
- Vence cada torneio aquele que apresentar o maior *fitness* (em comparação ao(s) de seu(s) oponente(s) no torneio)
- $q=2 \rightarrow$ torneio binário;
- q grande \rightarrow forte pressão seletiva;
- q pequeno \rightarrow fraca pressão seletiva;

Operadores de Seleção: Bi-classista e elitista

- Na seleção bi-classista, são escolhidos os $b\%$ melhores indivíduos e os $w\%$ piores indivíduos da população. O restante é selecionado aleatoriamente, com ou sem reposição;
- O elitismo consiste em um caso particular de 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 $w = 0$;

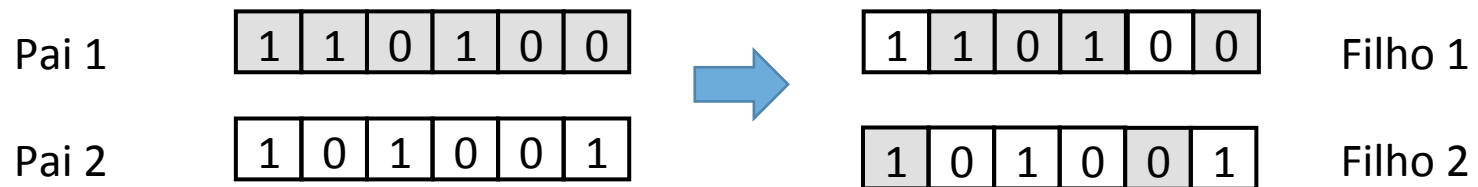
Operadores de Recombinação (Crossover)

- Os operadores de recombinação trocam partes das estruturas de dados de dois ou mais progenitores com o objetivo de produzir um ou mais descendentes.
- Codificação binária:** Crossover de 1 e 2 pontos



Operadores de Recombinação (Crossover)

- **Codificação binária:** Crossover uniforme
 - Cada gene do filho tem uma probabilidade de ser herdada do pai1 ou do pai2



Operadores de Recombinação (Crossover)

- **Codificação por valores Reais (ponto flutuante):**
- Seja $x \downarrow i$ o atributo i do vetor x a sofrer modificação, e a, b os índices dos pais a ou b , respectivamente
 - Crossover por média: $x \downarrow i = 1/2 (x \downarrow a, i + x \downarrow b, i)$
 - Crossover uniforme: $x \downarrow i = x \downarrow a, i$ ou $x \downarrow b, i$
 - Combinação linear: $x' \downarrow 1 = \alpha x \downarrow 1 + (1 - \alpha) x \downarrow 2$ e $x' \downarrow 2 = (1 - \alpha) x \downarrow 1 + \alpha x \downarrow 2$
 - Em que $\alpha \in [0, 1]$, $x' \downarrow 1$ e $x' \downarrow 2$ são os descendentes;
- Combinação linear é usada para problemas com restrições. Se os pais pertencem à região factível do espaço de busca, os filhos também pertencerão;

Operadores de Recombinação (Crossover)

- **Codificação por Permutações:**
- **Crossover OX**

Pai 1	A B C D E F G H I
Pai 2	F H D A B C I G E
Filho 1	A B C D E F I G H
Filho 2	E F D A B C G H I

1. A porção central do pai i é transferida para o filho i ;
2. A partir do segundo corte em cada cromossomo, o método faz uma busca no cromossomo do outro indivíduo pai pelos genes que não estão na sub-cadeia herdada, preenchendo assim o cromossomo

Operadores de Mutação

- **Codificação binária:**

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

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



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

Operadores de Mutação

- **Codificação por Reais:**

- $x' = x + M$, onde M é uma variável aleatória.
- **A Mutação uniforme:** M pode assumir diversas formas, como, por exemplo, uma distribuição aleatória uniforme entre os valores a e b , onde a e b são os limites inferiores e superiores da variável. Geralmente $a = -b$;
- **Mutação gaussiana:** Uma alternativa para M é utilizar uma distribuição normal ou gaussiana com média zero e desvio padrão σ .

Operadores de Mutação

- **Codificação por permutação:**

- A mutação mais comum para permutações é aquela que seleciona dois pontos da cadeia e inverte o segmento entre os pontos. Exemplo:



- O operador de mutação pode ser estendido para k pontos. Assim, as k subsequências serão invertidas;
- Outros operadores:
 - Mutação baseada em ordem \rightarrow seleciona-se dois genes (ou mais) genes e troca as suas posições;
 - Mistura (*scramble*) \rightarrow Trocar aleatoriamente a ordem de uma sub-sequência;

Algoritmos Genéticos Clássico

- População de tamanho fixo (N indivíduos);
- Estrutura de dados baseada em cadeias binárias;
- Estratégia de seleção proporcional ao *fitness* via algoritmo da roleta;
- Crossover simples (crossover de um ponto);
- Mutação pontual;

Algoritmos Genéticos Clássico

