

INTRODUÇÃO À COMPUTAÇÃO EVOLUCIONÁRIA

PROF. MATHEUS CÂNDIDO TEIXEIRA

INSTITUTO FEDERAL DE MATO GROSSO — CAMPUS CUIABÁ

18 DE OUTUBRO DE 2022

1 Problemas tratados por Algoritmos Evolucionários

2 Algoritmos Evolucionários (EA)

- Componentes
- Hill-Climbing e Simulated Annealing
- Biologia Evolucionária
- Genética
- Computação Evolucionária (EC)
- Algoritmo Genético (GA)

3 Programação Genética

4 Exemplo Prático

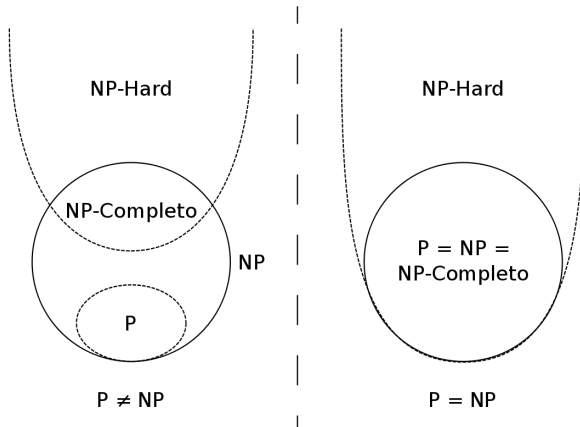
- Bibliotecas

5 Bibliotecas

Problemas tratados por Algoritmos Evolucionários

O QUE SÃO PROBLEMAS DIFÍCEIS?

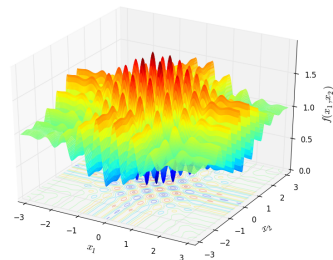
Algoritmos evolucionários podem lidar com problemas difíceis sejam eles combinatoriais ou contínuos



PROBLEMAS DE OTIMIZAÇÃO

São problemas que podem ser enunciados como:

- Qual o valor de x que resulta no maior valor de y ?
- Qual o valor de x que resulta no menor valor de y ?



- São problemas cujas as soluções são formadas a partir da combinação de conjuntos finitos
- Não são contínuos, logo muitos algoritmos de otimização não são aplicáveis

QUAL O OBJETIVO DAS HEURÍSTICAS?

- Minimizar a quantidade de avaliações
- Reduzir o tempo necessário até a solução
- Encontrar soluções otimizadas em espaço difíceis e não contínuos

Algoritmos Evolucionários (EA)



- Design de antenas ^a
- Design de circuito ^b
- Combined Algorithm Selection and Hyperparameter Optimization (CASH) ^c

^ahttps://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-23254-0_18

^b<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827115000360>

^c<http://epistasislab.github.io/tpot/>

- **Representação:** cada indivíduos deve ser representado tendo em mente que ele deve representar uma solução válida
- **Objetivo:** a representação do problema
- **Fitness:** mede a qualidade do indivíduo na solução do problema representado pelo objetivo

ALGORITMOS EVOLUCIONÁRIOS (EA)

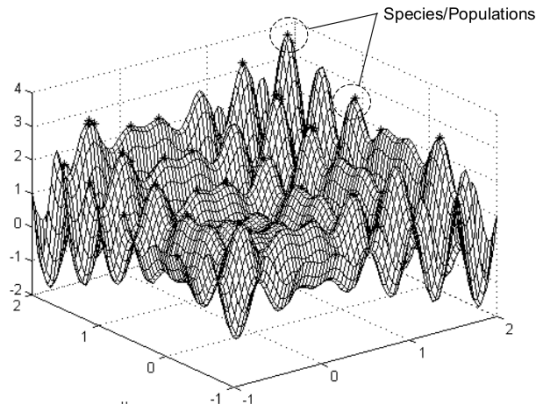
COMPONENTES

- Fitness descreve a habilidade de um indivíduo sobreviver e conseguir reproduzir
- Cada indivíduo na população possui uma fitness, que representa a adaptabilidade dele no ambiente
- É representado por uma função f que recebe um indivíduo como parâmetro e retorna um valor numérico indicando a qualidade dele:

$$f : P \rightarrow \mathbb{R}$$

FITNESS LANDSCAPE

- S. Wright (1968-1978) introduziu o conceito de *fitness landscape* amplamente utilizado na biologia evolutiva:



DEFININDO PROBLEMAS DE OTIMIZAÇÃO

Dado um subconjunto restrito F contido no espaço de busca S , isto é, $F \subseteq S$, encontre um $x^* \in F$ tal que:

$$f(x^*) \leq f(x), \forall x \in F$$

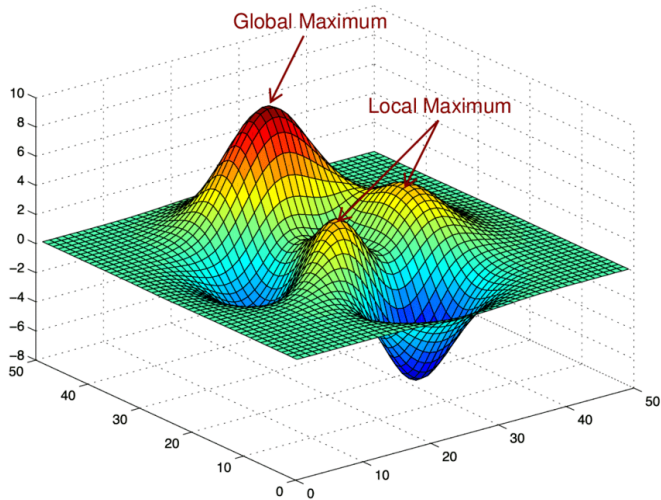
onde:

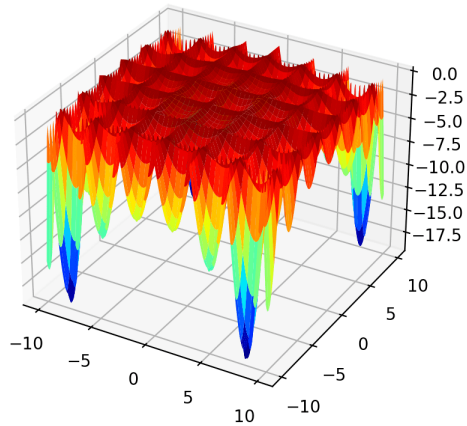
$f : F \rightarrow \mathbb{R}$ é a função que calcula a fitness de um indivíduo

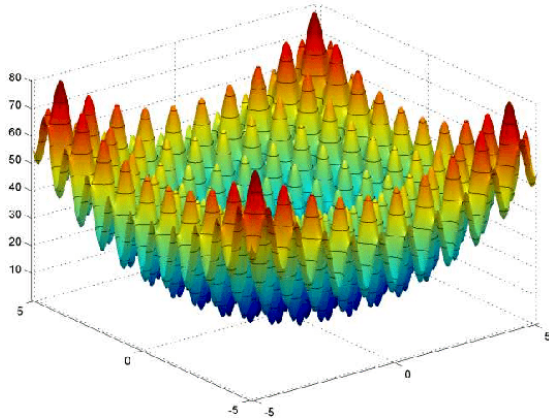
Importante!!!

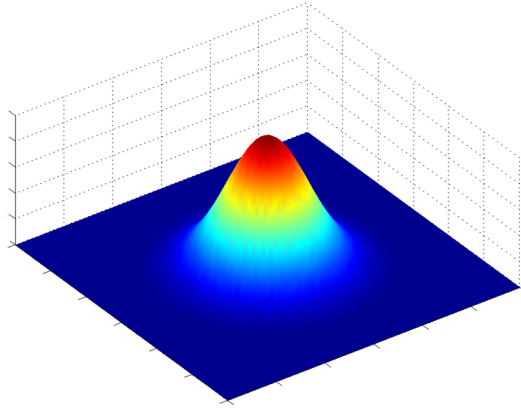
Se a função de avaliação não corresponder ao objetivo, o algoritmo encontrará a resposta certa para o problema errado

ÓTIMO GLOBAL VS. ÓTIMO LOCAL









- Algoritmos eficazes devem equilibrar dois objetivos conflitantes:
“*exploit* as melhores soluções encontradas até agora e, ao mesmo tempo, *explore* o espaço de busca”
- Teorema 'No Free Lunch': Não há como escolher um único método de busca que possa ter um desempenho médio superior em todas as execuções para todos os problemas

ALGORITMOS EVOLUCIONÁRIOS (EA)

HILL-CLIMBING E SIMULATED ANNEALING

É um algoritmo guloso (*greedy algorithm*) que busca o ótimo global através de otimizações locais

```
function HILL-CLIMBING(src, N)
  best ← src
  neighbors ← N(best)
  best-neighbor ← argmax(f(neighbors))
  while f(best-neighbor) > f(best) do
    best ← best-neighbor
    neighbors ← N(best)
    best-neighbor ← argmax(f(neighbors))
  end while
  return best
end function
```

Limitações:

- Geralmente termina em um ótimo local
- Não indica a distância até um ótimo global
- O ótimo encontrado depende do ponto de partida
- Como o ótimo global não é conhecido, é difícil definir um critério de parada

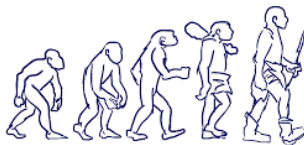
Algoritmo de busca tem o diferencial de possuir um componente estocástico, que permite escapar de ótimos locais

```
function SIMULATED-ANNEALING(g)
  initialize T
  initialize x
  while stop-condition do
     $x' \leftarrow \text{perturb}(x)$ 
    if  $f(x') < f(x)$  then
       $x \leftarrow x'$ 
    else if  $\text{random}() < \exp(f(x) - f(x'))/T$  then
       $x \leftarrow x'$ 
    end if
     $T \leftarrow g(T, t)$ 
     $t \leftarrow t + 1$ 
  end while
  return x
end function
```

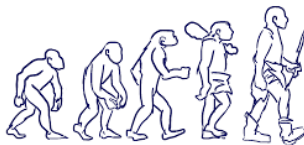
ALGORITMOS EVOLUCIONÁRIOS (EA)

BIOLOGIA EVOLUCIONÁRIA

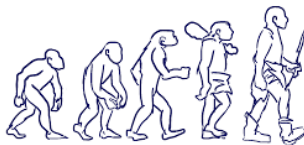
- É uma ciência que estuda a diversidade da vida, as diferenças e semelhanças entre os organismos e as características adaptativas e não adaptativas dos organismos



- É uma ciência que estuda a diversidade da vida, as diferenças e semelhanças entre os organismos e as características adaptativas e não adaptativas dos organismos
- A palavra evolução tem origem no latim *evolvere*, que significa desdobrar ou desenrolar. Em termos gerais, **evolução é sinônimo de mudança**



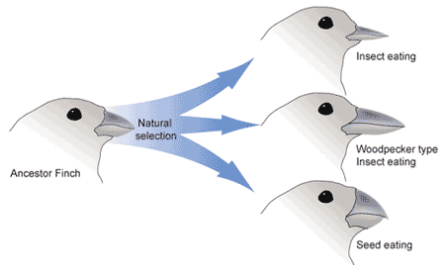
- É uma ciência que estuda a diversidade da vida, as diferenças e semelhanças entre os organismos e as características adaptativas e não adaptativas dos organismos
- A palavra evolução tem origem no latim *evolvere*, que significa desdobrar ou desenrolar. Em termos gerais, **evolução é sinônimo de mudança**
- Evolução = (descendência + diversificação) + modificação



Qualquer sistema evolutivo apresenta uma série de características:

- **População:** em todos os sistemas evolutivos existem populações, ou grupos, de entidades, geralmente chamadas de indivíduos.
- **Reprodução:** para que a evolução ocorra, os indivíduos da(s) população(ões) devem se reproduzir sexualmente ou assexuadamente.
- **Variação:** há variação em uma ou mais características dos indivíduos da(s) população(s).
- **Similaridade Hereditária:** os indivíduos progenitores e descendentes apresentam características semelhantes
- **Classificação das variações:** entre os processos de classificação, pode-se destacar o acaso e a seleção natural

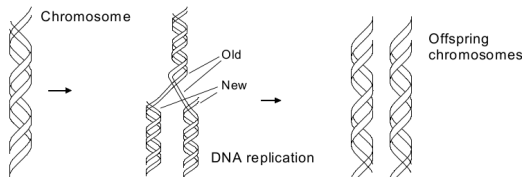
- Adaptação = Variação + Seleção natural
- Adaptação leva à melhoria na função de um organismo e suas muitas partes componentes



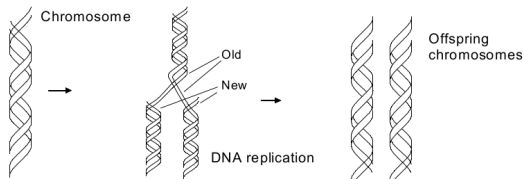
ALGORITMOS EVOLUCIONÁRIOS (EA)

GENÉTICA

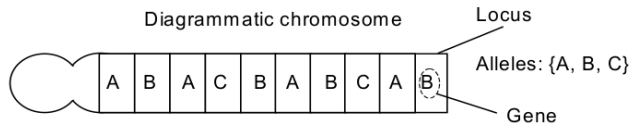
- No núcleo da célula, o material genético é organizado em uma série de estruturas lineares chamadas cromossomos
- O genoma é a totalidade dos cromossomos
- Um gene é um segmento do DNA e representam as regiões funcionais do DNA



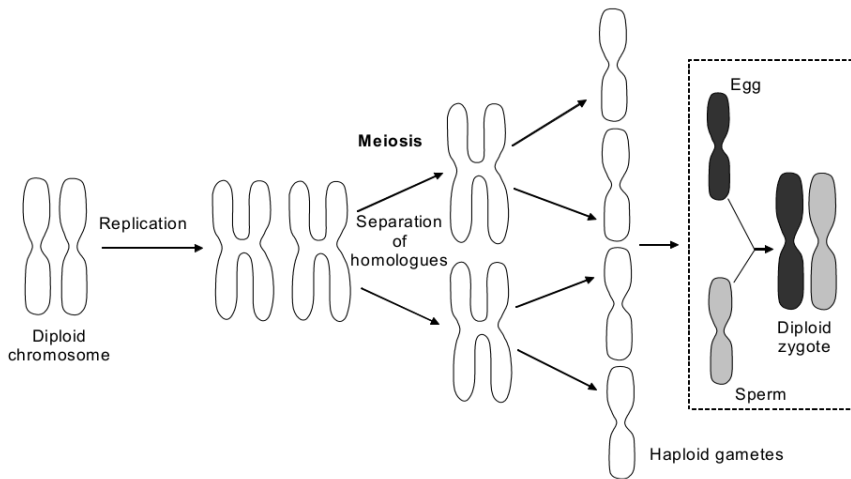
- A molécula de DNA tem uma estrutura que contribui para as duas propriedades mais fundamentais da vida: reprodução e desenvolvimento
- O DNA é uma estrutura de dupla hélice com a característica inerente de ser capaz de se replicar antes da multiplicação celular, permitindo que os cromossomos se dupliquem em cromátides, que eventualmente se tornam cromossomos descendentes que são transmitidos às células descendentes



- As diferentes formas de um gene que determinam traços ou características alternativas são chamadas de alelos
- O lugar específico em um cromossomo onde um gene está localizado é denominado locus
- Fenótipo = ambiente + genótipo

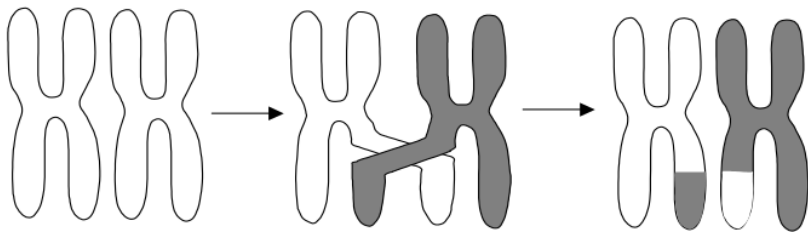


REPRODUÇÃO



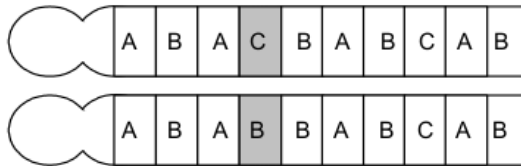
CROSSOVER

- Crossing-over é um mecanismo que pode dar origem à recombinação genética
- um processo pelo qual pais com diferentes caracteres genéticos dão à luz a progênie para que os genes sejam associados em novas combinações

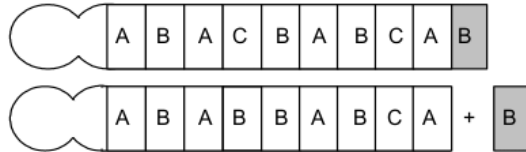


A literatura define diversos tipos de mutação: *point mutation*, *deletion*, *translocation* e *inversion*

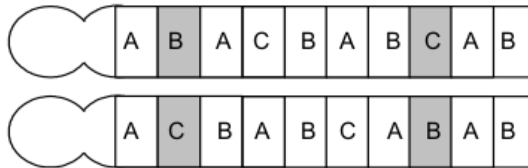
POINT MUTATION



DELETION



DELETION



- Quanto mais apto for o indivíduo, maior será o número de descendentes
- Essa contribuição diferencial da progênie implica que os alelos associados à aptidão superior aumentarão em frequência na população
- Quando isso acontece, diz-se que a população está em processo de seleção.

- genetic drift (chance fluctuations that result in changes in allele frequencies) and gene flow (spread of genes among populations via migration)
- A seleção natural peneira as variações genéticas na população, preservando as benéficas e eliminando as prejudiciais

- As diferenças entre os organismos são resultados dos processos evolutivos de:
 - ▶ Mutação: uma mudança ou desvio no material genético
 - ▶ Recombinação ou Cruzamento: troca de material genético entre cromossomos
 - ▶ Seleção: o favorecimento de combinações particulares de genes em um determinado ambiente

ALGORITMOS EVOLUCIONÁRIOS (EA)

COMPUTAÇÃO EVOLUCIONÁRIA (EC)

- A evolução pode ser vista como um processo de busca capaz de localizar soluções para problemas oferecidos por um ambiente
- Algoritmos desenvolvidos com a inspiração do processo biológico de evolução são denominados algoritmos evolutivos (EAs)
- As três principais correntes originais da EC são algoritmos genéticos (GAs), estratégias de evolução (ES) e programação evolutiva (EP)

- Elementos presentes em Algoritmo Evolucionário:
 - ▶ Uma população de indivíduos que se reproduzem com herança
 - ▶ Variação genética = Mutação + Crossover
 - ▶ Seleção natural que favorece os mais bem adaptados

- O algoritmo evolucionário padrão é um algoritmo genérico, iterativo e probabilístico que mantém uma população P de N indivíduos, $P = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$, em cada iteração t
- Cada indivíduo corresponde a (representa ou codifica) uma solução potencial para um problema que precisa ser resolvido
- Um indivíduo é representado usando uma estrutura de dados

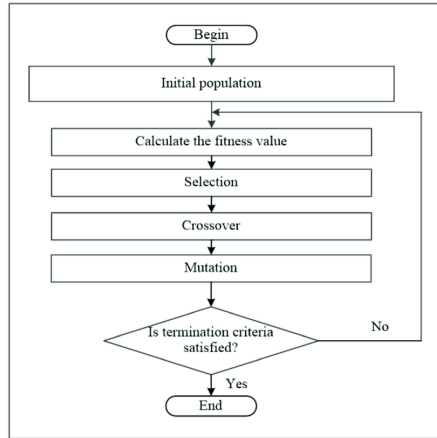
- Os indivíduos $x_i, i = 1, \dots, N$, são avaliados para obter as suas medidas de adaptabilidade ao ambiente, ou *fitness*
- Na iteração $t + 1$, uma nova população é gerada selecionando alguns indivíduos (geralmente os mais aptos) da população atual para reprodução
- Se empregando reprodução sexuada, um operador de recombinação genética (crossover) pode ser usado

- Variações genéticas por mutação também podem afetar alguns indivíduos da população, e o processo se repete
- A conclusão de todas essas etapas: reprodução, variação genética e seleção, constitui o que se chama de geração

ALGORITMOS EVOLUCIONÁRIOS (EA)

ALGORITMO GENÉTICO (GA)

ALGORITMO GENÉTICO

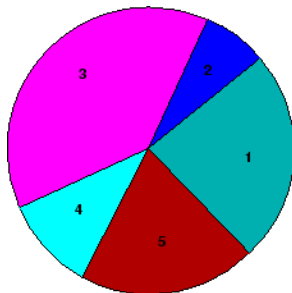


- As estruturas de dados que representam os indivíduos são chamadas de cromossomos;
- Os indivíduos possuem apenas um cromossomo (cromossomos haploides)
- Os indivíduos são representados como sequências de dígitos binários {0,1} ou sequências de bits

- O significado de um determinado cromossomo, seu fenótipo, é definido de acordo com o problema em estudo
- Quanto maior a fitness, maior a probabilidade de reprodução e vice-versa
- Os cromossomos selecionados gerarão descendentes

ROULETTE WHEEL SELECTION

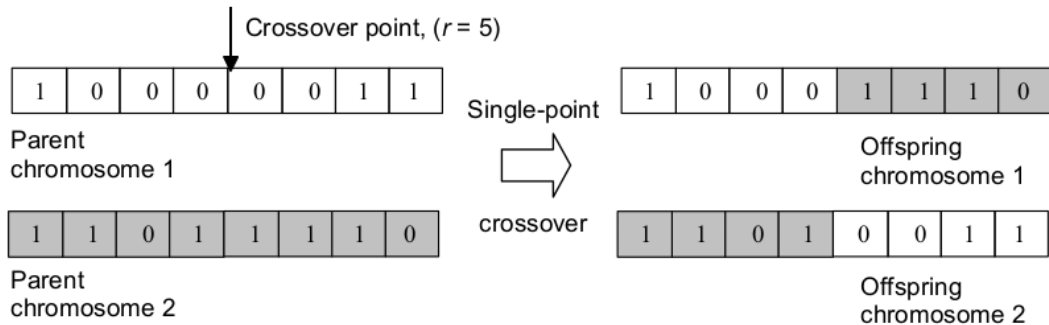
- Os indivíduos são selecionados de acordo com a sua fitness
- Garante que os mais bem adaptados reproduzam com maior frequência
- Pode afetar a exploração do espaço de busca



Population	Fitness
1	25.0
2	5.0
3	40.0
4	10.0
5	20.0

- Produz a recombinação de alelos através da troca de segmentos entre pares de cromossomos
- Dois indivíduos são selecionados da população para reprodução
- Os decendentes fazem parte da população da nova geração
- O elitismo pode manter os pais

CROSSOVER

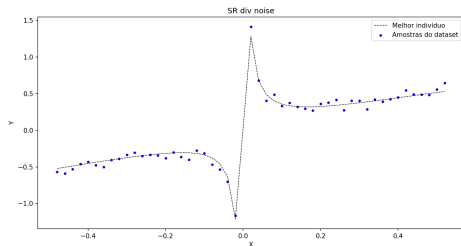


- Um alelo de um gene é substituído aleatoriamente por outro para produzir um novo cromossomo
- O parâmetro pm é a probabilidade de mutação em cada posição
- Existe a pequena probabilidade de mutação em cada gene na estrutura

Programação Genética

- Proposta por Cramer em 1985
- As estruturas de dados que sofrem adaptação
- A avaliação de fitness envolve a execução dos programas

REGRESSÃO SIMBÓLICA



Solução encontrada pelo GP

$$\frac{\frac{1}{x+x}}{3.046875} + \frac{1}{(7.5-x-5.625/x)} \over 4.453125 - (\sqrt{\sqrt{x}} - (\sqrt{5.234375} + \frac{1}{7.5})) + x$$

Código disponível em <https://github.com/mct96/SymbolicRegression>

Exemplo Prático

EXEMPLO PRÁTICO

BIBLIOTECAS

PATTERN RECOGNITION



1



2



3



4



5



6



7



8

Bibliotecas



DISTRIBUTED EVOLUTIONARY ALGORITHMS IN PYTHON

Obrigado pela presença de todos!!!

Caso queira aprofundar mais sobre o assunto, entre em contato comigo:
matheus.candido@ifmt.edu.br