



Universidade Federal Rural de Pernambuco
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
**Programa de Pós-Graduação em
Informática Aplicada**



Computação Evolutiva

AULA 02 – INTRODUÇÃO AOS PROBLEMAS DE OTIMIZAÇÃO E
INSPIRAÇÃO BIOLÓGICA

Roteiro

Tipos de problemas

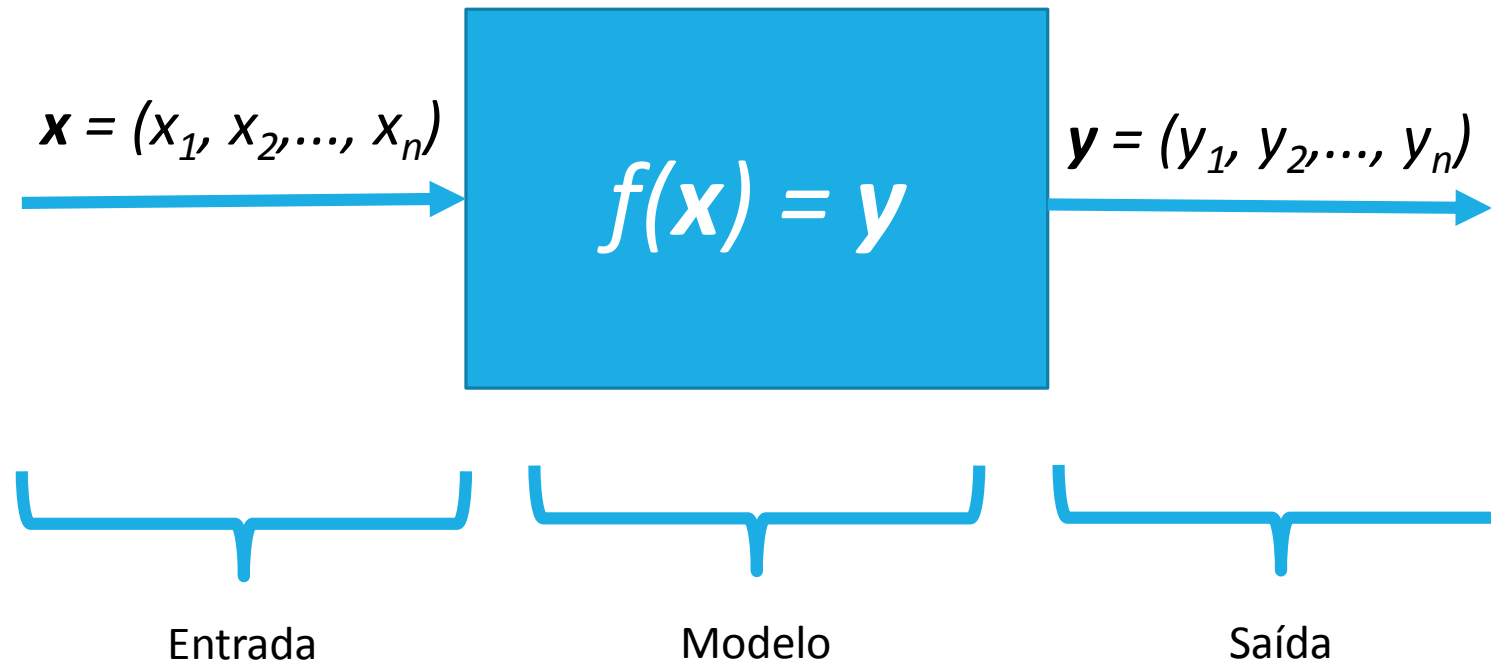
Busca, otimização e satisfação de restrições

Algoritmos com inspiração biológica

Metáfora da Computação Evolucionária (CE)

Tipos de problemas

Modelo de caixa preta (*black box*) para sistemas computacionais:

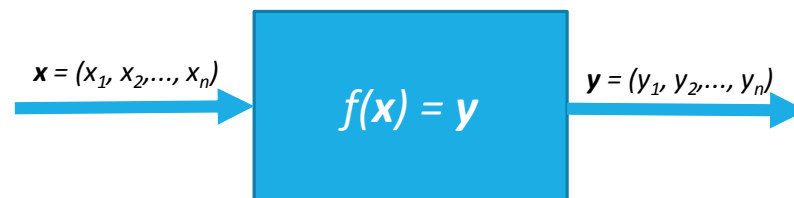


Tipos de problemas

Modelo de caixa preta (*black box*) para sistemas computacionais

Exemplos:

- Um sistema de **controle de voz para casas inteligentes** obtém como entrada os sinais elétricos produzidos quando um usuário fala em um microfone. Saídas possíveis são comandos para serem enviados para o sistema de controle de temperatura do ar, sistema de TV e som ambiente, ou iluminação. O modelo consiste no mapeamento de certos padrões em ondas elétricas provenientes do áudio de entrada nas saídas especificadas.
- Para um **tocador de músicas** embutido em um aplicativo voltado para prática esportiva, as entradas poderiam ser gestos ou medidas da atividade física. A saída corresponde à uma música relacionada ao nível de atividade física capturado na entrada. O modelo consiste no mapeamento dos gestos e indicadores de atividades com arquivos MP3 específicos de uma base de dados de arquivos de áudio.

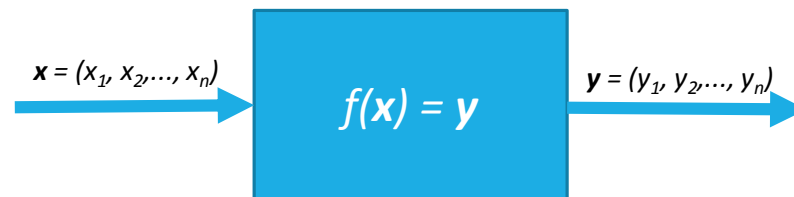


Tipos de problemas

Tipicamente são considerados 3 tipos de problemas, a depender do componente que é desconhecido no problema considerado (entrada, modelo ou saída)

Tipos de problema:

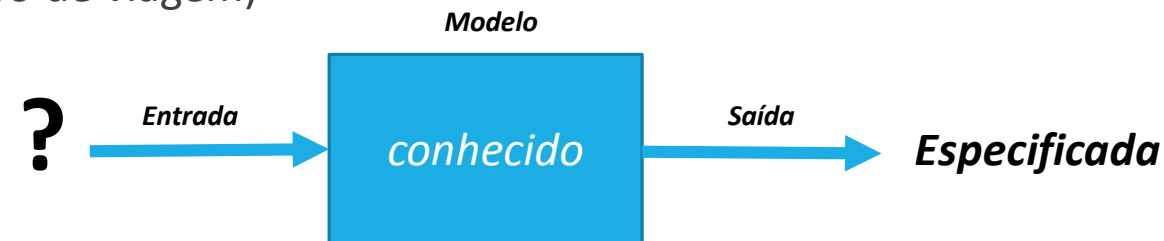
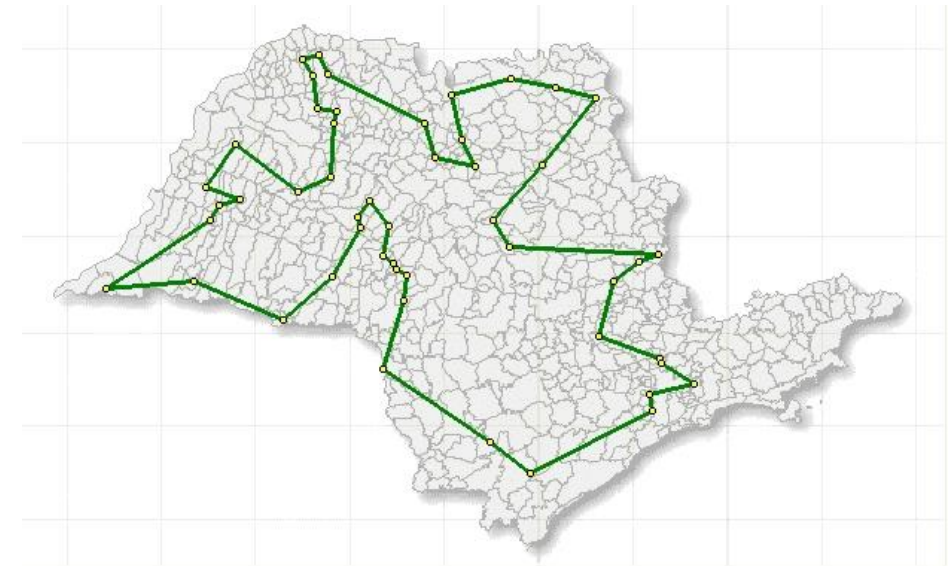
- Otimização: o modelo é conhecido, bem como a saída desejada e a tarefa é encontrar a entrada que leve à saída desejada.
- Modelagem: conjuntos de entradas e saídas são conhecidos e a tarefa é encontrar um modelo que consiga relacionar os pares de (entrada, saída).
- Simulação: é conhecido o modelo e entradas e a tarefa é encontrar as saídas correspondentes.



Tipos de problemas: otimização

Exemplos:

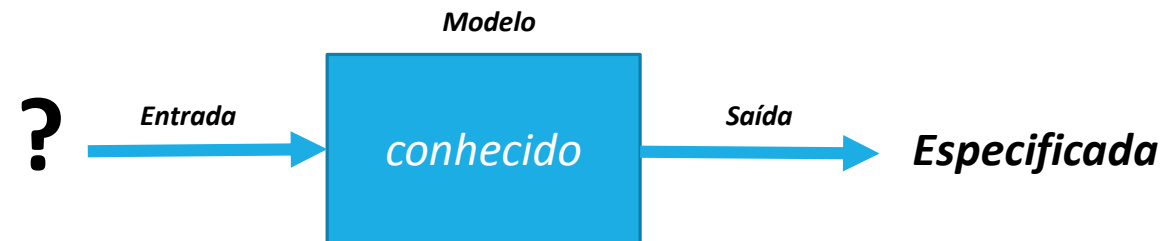
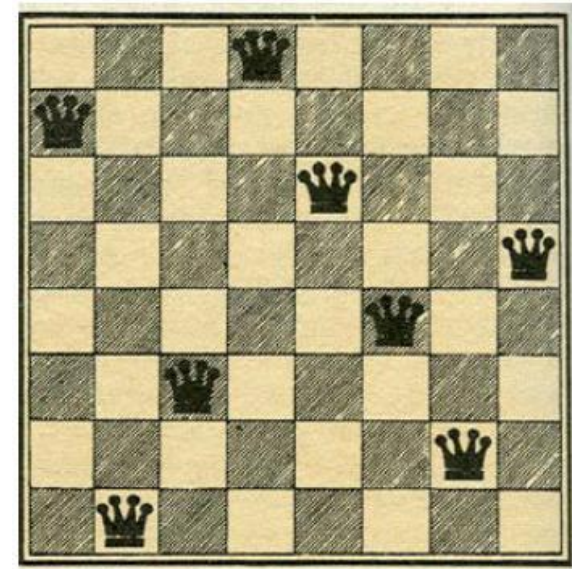
- Problema do caixeiro viajante: dado um conjunto de cidades, é necessário encontrar a menor sequência de visitas às cidades que permite visitar todas elas. O modelo calcula o custo da viagem para uma dada sequência de visitas (distância física entre as cidades ou tempo de viagem, por exemplo). A saída desejada é definida implicitamente como a que oferece o menor custo de viagem quando comparada às demais. O objetivo é encontrar a entrada (sequência de visitas) que fornece o menor valor de saída (distância física entre as cidades ou tempo de viagem)



Tipos de problemas: otimização

Exemplos:

- Problema das oito rainhas: dado um tabuleiro de xadrez e oito rainhas, o objetivo é especificar a localização das 8 rainhas no tabuleiro de modo que nenhuma rainha seja atacada (sem interseção na horizontal, vertical ou diagonal). A entrada é a configuração das 8 rainhas no tabuleiro; o modelo calcula as interseções e a saída é o número de rainhas atacadas. A saída é obtida explicitamente (número de rainhas não atacadas deve ser 8).



Tipos de problemas: modelagem

Exemplos:

- Mapeamento de indicadores econômicos para um índice de ações, onde alguns indicadores socioeconômicos (taxa de desemprego, preço de ouro, taxa de câmbio) formam a entrada e são mapeados em algum índice como o IBOVESPA, que representa a saída. A tarefa é encontrar a “fórmula” que descreve o IBOVESPA em termos das entradas (indicadores socioeconômicos).



Tipos de problemas: modelagem

Exemplos:

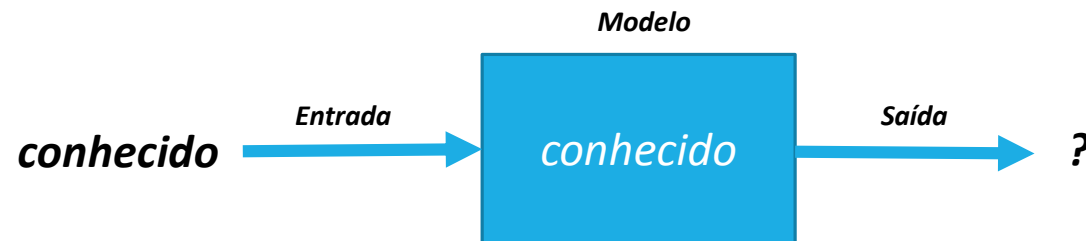
- Identificação de sinais de trânsito a partir de imagens obtidas pela câmera de vídeo de um carro inteligente. Alguma etapa de pré-processamento obtém os sinais elétricos produzidos pela câmera, separa as regiões de interesse, e para cada uma são produzidos indicadores numéricos de tamanho, formato, brilho, contraste, etc. No sistema principal a entrada é este conjunto numérico da imagem capturada e a saída são símbolos predefinidos de “pare”, “siga em frente”, “60 km/h”, etc. O modelo é um algoritmo que mapeia o conjunto capturado em algum sinal de trânsito predefinido.



Tipos de problemas: simulação

Exemplos:

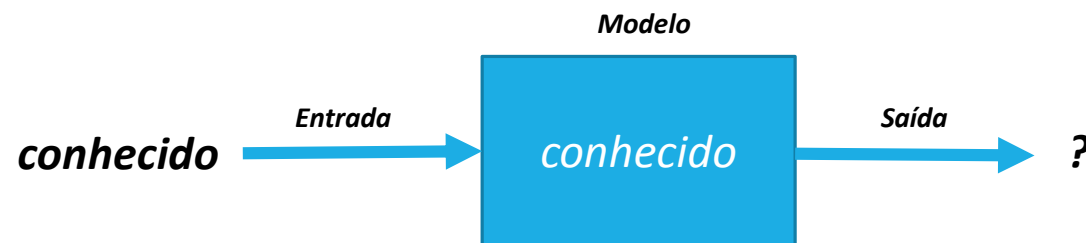
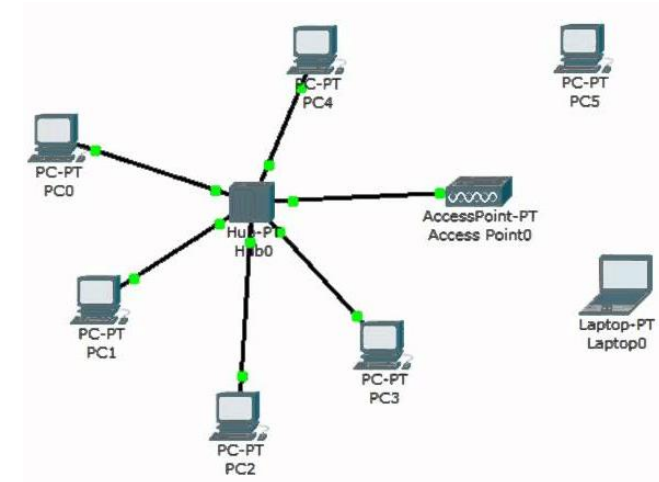
- Um sistema de previsão do tempo que usa dados de temperatura, vento, chuva e umidade do ar do tempo t_0 e algum modelo meteorológico para prever os dados de temperatura, vento, chuva e umidade do ar do tempo t_1 . Este é um modelo típico usado para previsão.



Tipos de problemas: simulação

Exemplos:

- Estimativa do desempenho de uma rede com base em dados de entrada descrevendo a infraestrutura da rede (enlaces e equipamentos nos nós terminais) e o tráfego esperado, com base em um modelo de previsão baseado em teoria das filas. A saída poderia ser o desempenho da rede medido por meio da probabilidade de bloqueios de requisições de chamadas. É menos custoso usar uma abordagem baseada em simulação para prever o desempenho da rede quando comparada com a implantação da rede e aferição do desempenho experimentalmente.



Tipos de problemas: exercício

Atividade de reflexão individual:

- Reflita sobre o uso do modelo de caixa preta no seu tema provisório de dissertação de mestrado.
- O seu problema de pesquisa é melhor modelado com um problema de otimização, modelagem ou simulação?

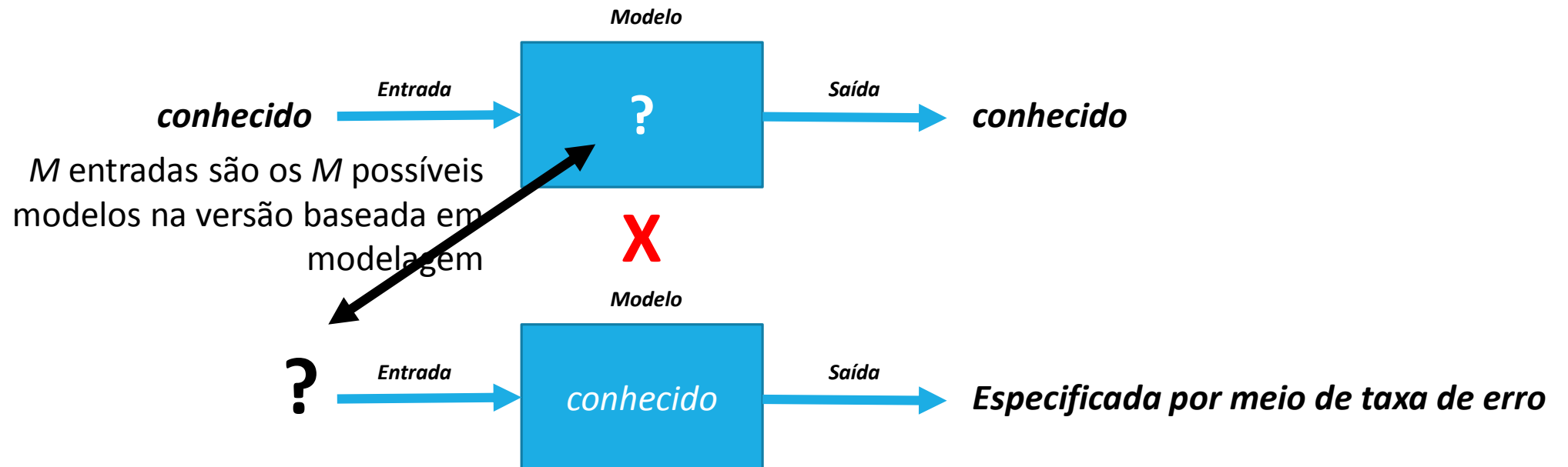


Tipos de problemas: reformulações

Os problemas podem ser reformulados conforme conveniência do projetista.

Exemplo:

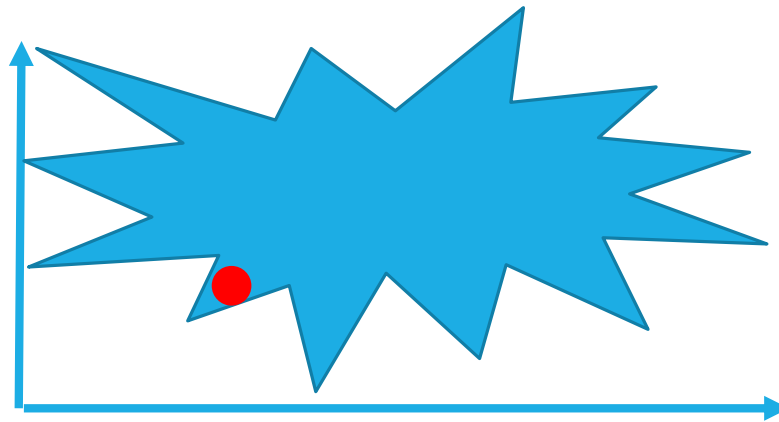
- Um problema de modelagem pode ser transformado em um problema de otimização. O truque é usar uma taxa de erro como saída para testar diversos possíveis modelos em um espaço de busca.



Problemas de busca

Um fato que está implícito no modelo de caixa-preta é que ele é direcional:

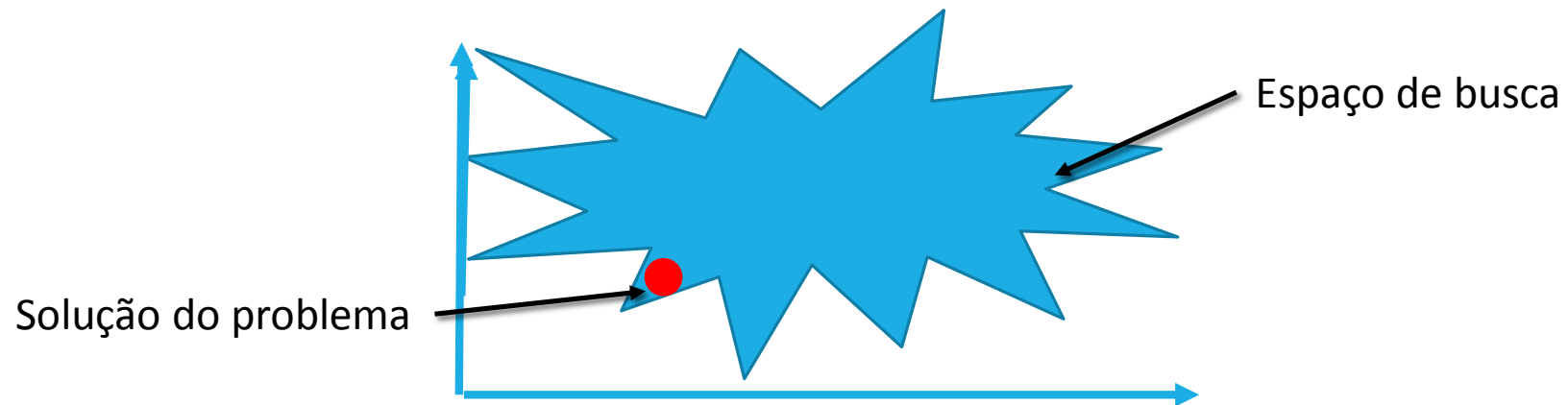
- A caixa computa as saídas com base nas entradas e essa ordem não pode ser invertida.
- Isso implica em dizer que resolver um problema de simulação é diferente de resolver um problema de otimização ou de modelagem.
- A tarefa de resolver um problema de modelagem ou de otimização pode ser vista como encontrar um objeto em particular em um espaço de possibilidades (que pode ser enorme).



Problemas de busca

Problemas de modelagem e otimização baseados em caixa-preta podem ser vistos como problemas de busca:

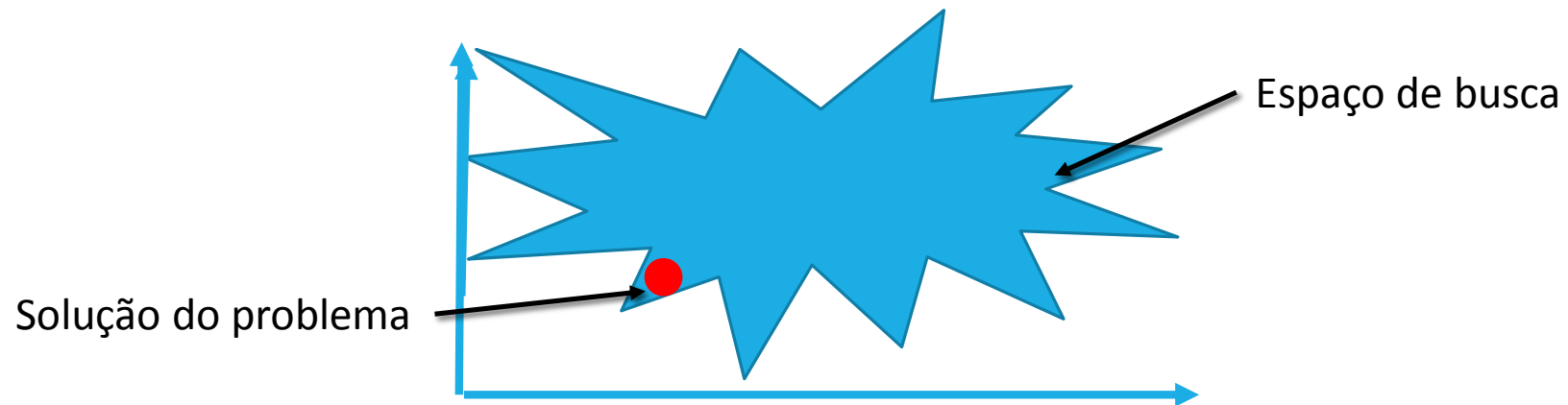
- Conceito de **espaço de busca**: coleção de todos objetos de interesse, incluindo o objeto que está sendo procurado, ou seja, a **solução do problema**.
- Geralmente, os espaços de busca são enormes!
 - O número de possibilidades de passeios no problema do cacheiro viajante com n cidades é $(n-1)!$



Problemas de busca

Tipos de problemas de acordo com o espaço de busca:

- Se o espaço de busca S de um problema de otimização é composto por **variáveis contínuas** (números reais), este problema é conhecido como **problema de otimização numérica**.
- Se o espaço de busca S de um problema de otimização é composto por **variáveis discretas** (lógicas ou inteiras), este problema é conhecido como **problema de otimização combinatorial**.



Otimização x satisfação de restrições

É importante deixar clara a diferença entre funções objetivo que serão otimizadas e restrições que serão satisfeitas:

- Uma função objetivo é uma forma de atribuir um valor a uma possível solução que possa refletir sua qualidade em uma escala numérica.
- Uma restrição representa uma avaliação binária informando se um dado requisito é satisfeito ou não.

Exemplos de função objetivo:

- Maximizar o número de rainhas não atacadas em um tabuleiro de xadrez.
- Minimizar o comprimento de um passeio (visita de várias cidades) no problema do caixeiro viajante.

Exemplos de restrições:

- Encontre uma configuração de 8 rainhas de modo que não mais do que 2 sejam atacadas.
- Encontre um passeio com comprimento mínimo no problema do caixeiro viajante de modo que a cidade X seja visitada depois da cidade Y.

Otimização x satisfação de restrições

Os problemas de otimização de satisfação de restrições podem ser combinados de diferentes formas:

Restrições	Função objetivo	
	Sim	Não
Sim	Problema de otimização com restrições	Problema de satisfação de restrições
Não	Problema de otimização sem restrições	Não há um problema

Problemas de satisfação de restrições podem ser transformados em problemas de otimização: o truque é contar o número de restrições infringidas e minimizá-las!

Problemas fáceis e problemas difíceis

Além da classificação dos problemas em termos de otimização, modelagem e simulação é possível pensar em uma classificação por nível de dificuldade para se resolver cada problema

- Geralmente esta ideia intuitiva de dificuldade está relacionada com o estudo de **complexidade computacional**.
- Noções intuitivas:
 - O número de variáveis do problema e os diferentes valores que podem assumir podem deixar o problema mais fácil ou mais difícil de ser resolvido (**dimensionalidade**)
 - O número de passos necessários para o algoritmo encontrar a solução (ou **tempo de execução**) pode ser uma medida de dificuldade
- Em geral, considera-se o pior caso para a análise de complexidade (complexidade assintótica)
- Simplificando:
 - A expressão matemática que relaciona o tempo de execução do pior caso com o tamanho do problema pode ser polinomial ou não
 - Problemas podem ser classificados como P, NP-completos e NP-difíceis

Problemas fáceis e problemas difíceis

Embora o estudo teórico de complexidade computacional esteja fora do escopo da disciplina, há algumas implicações práticas:

- Se um problema é NP-completo, apesar de ser possível de se resolver instâncias particulares do problema em tempo polinomial, não é possível generalizar isso para todas as instâncias do problema.
- Esse fato sugere que há um compromisso entre tentar usar um método exato que encontre a melhor solução de um problema em um tempo impraticável ou usar um método aproximado que encontre boas soluções (mas talvez não as melhores) em um menor tempo

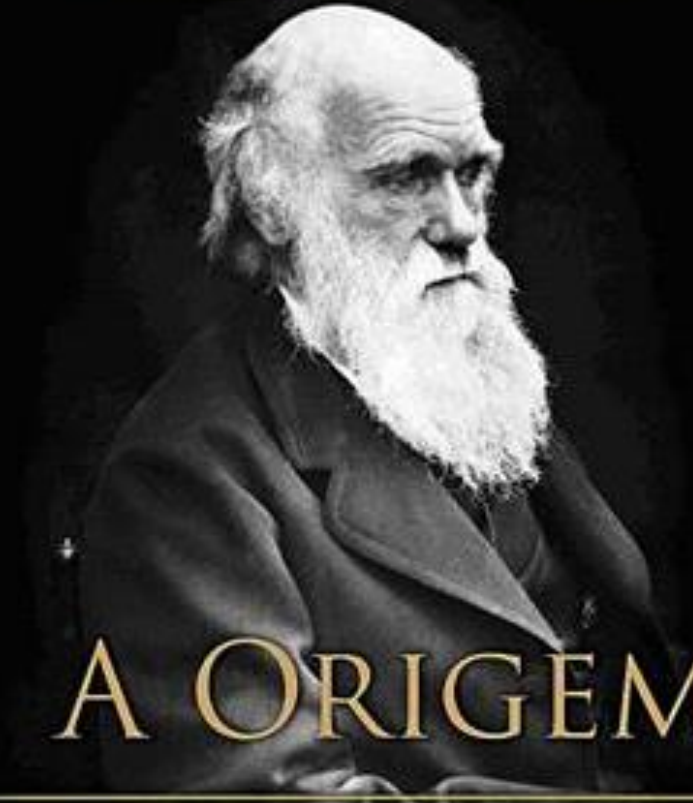
Ao longo da disciplina serão ilustrados exemplos de problemas x níveis de dificuldade e os benefícios de usar algoritmos evolucionários para resolvê-los

A metáfora da Computação Evolucionária

A Teoria da Evolução de Darwin:

- Oferece uma explicação para a origem da diversidade biológica e seus mecanismos subjacentes.
- Dado um ambiente que pode acomodar um número limitado de indivíduos, e considerando o instinto básicos dos indivíduos de se reproduzirem, a seleção é fundamental devido ao crescimento exponencial das populações
- A seleção natural favorece os indivíduos que competem por recursos de forma mais eficiente
 - Os melhores indivíduos são os que se adaptam melhor às condições ambientais
 - Esse fato se popularizou pelo bordão: “**os mais fortes sobrevivem**”
- A competição pela sobrevivência é um dos dois pilares da teoria da evolução

CHARLES DARWIN



A ORIGEM DAS ESPÉCIES *e a Seleção Natural*

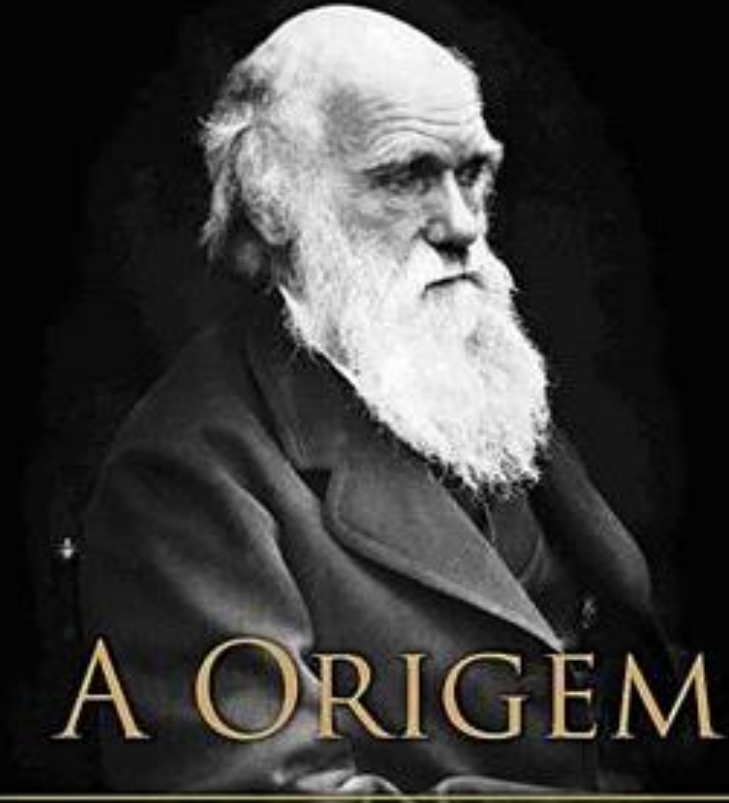


A metáfora da Computação Evolucionária

A Teoria da Evolução de Darwin:

- Outra força primária identificada por Darwin no processo de evolução natural é a variação fenotípica entre membros da população
- Os traços fenotípicos são as características físicas e comportamentais dos indivíduos que afetam diretamente a resposta deles ao ambiente → influenciam a aptidão
- Cada indivíduo representa uma combinação única de traços fenotípicos que são avaliados pelo ambiente
- Indivíduos com bons traços fenotípicos tendem a gerar descendentes e os bons traços tendem a serem repassados aos descendentes (herança genética)
 - Por outro lado, os indivíduos com características fenotípicas ruins tendem a morte sem geração de descendentes
- Indivíduos podem ter suas características fenotípicas combinadas em processos de reprodução sexuada e mutações genéticas também podem ocorrer

CHARLES DARWIN



A ORIGEM DAS ESPÉCIES *e a Seleção Natural*



A metáfora da Computação Evolucionária

Sobre Computação Evolucionária (CE):

- É um ramo de pesquisa dentro da computação
- Como o nome sugere, é inspirada no processo de Evolução Natural
- A metáfora fundamental para CE está relacionada ao poder da evolução natural para um estilo em particular de resolução de problemas – que é o de tentativa e erro



A metáfora da Computação Evolucionária

Qual o modelo/abstração de evolução natural é usado para CE?

- Um dado ambiente é preenchido com uma população de indivíduos que luta para se reproduzir e sobreviver
- A aptidão destes indivíduos é determinada pelo ambiente, e está relacionada ao modo pelo qual eles obtém sucesso em alcançar os seus objetivos
 - A aptidão representa a chance de sobrevivência/multiplicação
- Em um processo de solução de problemas por tentativa e erro um indivíduo é uma possível solução e a aptidão é qual bem ele resolve o problema
 - A aptidão de uma solução candidata é usada para determinar a probabilidade de manter este indivíduo como solução candidata e de usá-lo como sementes para futuras soluções candidatas

Evolução	Solução do problema
Ambiente	Problema
Indivíduo	Solução candidata
Aptidão	Qualidade da solução

A metáfora da Computação Evolucionária

Genética:

- A visão microscópica do processo de evolução natural é explicada usando genética molecular
- Do ponto de vista genético, cada indivíduo é uma entidade dual:
 - As propriedades fenotípicas (lado externo) são representadas no nível genotípico (lado interno)
 - Em outras palavras: o **genótipo** de um indivíduo codifica o seu **fenótipo**
- **Genes** são unidades funcionais de herança das características fenotípicas
 - Exemplo: propriedades visíveis como a cor da pele ou o tamanho da cauda de um animal podem ser determinadas pelos genes
- **Alelo** é um dos possíveis valores que um gene pode assumir
 - Pense na relação entre uma variável matemática (gene) e os valores que ela pode assumir (alelo)



A metáfora da Computação Evolucionária

Exemplo prático sobre genes x alelos:

- Ursos podem ter um gene que determina a cor de sua pele e pelo, de modo que um urso polar teria um alelo específico para indicar que ele seja branco
- Importante: em sistemas naturais a codificação genética não é um para um:
 - Um gene pode afetar mais de uma característica fenotípica e um traço fenotípico pode ser determinado por mais de um gene
- Variação fenotípica:
 - As variações nas aparências dos animais são sempre explicadas por variações genotípicas
 - Estas variações são consequências de mutações dos genes ou recombinação de genes por reprodução sexuada

A grayscale microscopic image of DNA chromosomes, showing their characteristic X-shaped structure with intricate, fibrous details. The image is positioned on the left side of the slide, partially overlapping the blue background.

A metáfora da Computação Evolucionária

O material genético, ou seja, todos os genes de um organismo, são arranjados em diversos **cromossomos**

- Um ser humano possui 46 cromossomos

A metáfora da Computação Evolucionária

Em computação evolucionária a combinação de características de dois indivíduos para geração de um descendente é chamada de **cruzamento** ou **recombinação** (*crossover*):

- Não confundir com o cruzamento de animais – a analogia do crossover é com o processo de **meiose**



Processo de meiose simplificado por três passos.

Existem muitos detalhes sobre genética que não serão explorados na disciplina – o que será usado é um modelo simplificado que atende aos propósitos de CE.

A metáfora da Computação Evolucionária

Resumindo tudo:

- Qualquer ser vivo é uma entidade dual com um código interno (seu **genótipo**) e traços observáveis (o seu **fenótipo**).
- Os indivíduos são bem sucedidos com relação à **reprodução** e **sobrevivência** de acordo com suas características fenotípicas:
 - Indivíduos possuem mais chances de perpetuar se possuírem boa audição, músculos fortes, atitude sociais amigável, aparência atrativa, etc.
- A seleção natural e a seleção sexual atua principalmente no nível do fenótipo, mas a seleção também afeta o nível genotípico de forma implícita (reprodução)
- Novos indivíduos podem ter apenas um pai (reprodução **assexuada**) ou dois pais (reprodução **sexuada**)
- Avaliando de forma abstrata, cada novo nascimento que ocorre é uma nova amostra no espaço de todas as possibilidades de seres vivos
 - Essa nova amostra é produzida a partir de forças de variação (reprodução sexuada ou assexuada) e é avaliada pelas forças de seleção
 - Este novo indivíduo precisa passar por dois obstáculos: provar que consegue viver por conta própria e capaz de se reproduzir

A metáfora da Computação Evolucionária

Resumindo tudo:

- Computação evolucionária é um ramo da ciência da computação focada em uma classe de algoritmos que são amplamente baseados nos princípios de seleção natural de Darwin
- Na história do mundo é possível perceber que muitas espécies evoluíram para se adequar a diferentes ambientes, e todas usaram o mesmo maquinário biológico
- Neste sentido, se um algoritmo evolucionário for usado seguindo a inspiração biológica, é esperado que uma população de soluções candidatas (população de indivíduos lutando pela sobrevivência) possam resolver um problema (o ambiente) por meio de reproduções e testes de aptidão...



Universidade Federal Rural de Pernambuco
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
**Programa de Pós-Graduação em
Informática Aplicada**



Computação Evolutiva

AULA 02 – INTRODUÇÃO AOS PROBLEMAS DE OTIMIZAÇÃO E
INSPIRAÇÃO BIOLÓGICA