Inteligência Artificial, Otimização Combinatória: Uma Apresentação

Claudio Cesar de Sá[1]

[1]Departamento de Ciência da Computação – DCC
Centro de Ciências Tecnológicas – CCT
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

II Seminário de Engenharia de Software – SEMESO
CEAVI–UDESC
1 de Outubro de 2015 – Ibirama – SC

Agenda

1. Um sobrevôo na IA
2. O que é complexidade computacional?
3. Um sobrevôo em otimização
4. Um exemplo: modelagem, código e resultados
5. Tendências

Caos + Complexidade + ... = Inteligência

Figura: Comportamento inteligente, complexo ou caótico?

Caos

Figura: Caos: indefinição de tempo, espaço sob o domínio dos reais

Caos no Cotidiano

- Crescimento das cidades
- Mudanças ambientais (em parte previsível)
- Desastres ecológicos – Katrina
- Poluição, lixo, ..., etc
- Comunicação Social

Caos no Cotidiano

- Crescimento das cidades
- Mudanças ambientais (em parte previsível)
- Desastres ecológicos – Katrina
- Poluição, lixo, ..., etc
- Comunicação Social
- Há uma aleatoriedade *embutida* nestes eventos!

Caos no Cotidiano

- Crescimento das cidades
- Mudanças ambientais (em parte previsível)
- Desastres ecológicos – Katrina
- Poluição, lixo, ..., etc
- Comunicação Social
- Há uma aleatoriedade *embutida* nestes eventos!
- Embora computáveis, longe de serem postos em prática!

Complexo

Figura: *Precisamos de uma máquina que calcule sobre outra máquina!*

Origens da Inteligência Artificial

Histórico

- Sim, foi logo após a morte de Alan Turing (1954)
- Motivação: máquinas que apresentassem *comportamentos inteligentes*. Exemplo: jogo de xadrez
- Máquinas que provassem teoremas (verdades matemáticas)
- Usassem um senso-comum de um ser humano (a lógica matemática)
- Logo, há um *mix* de áreas: psicologia, matemática, lógica (há lugares tratado apenas pela filosofia), ..., e computação!
- Há uma complexidade nisto tudo!

Motivações aos *Toys-Problem*

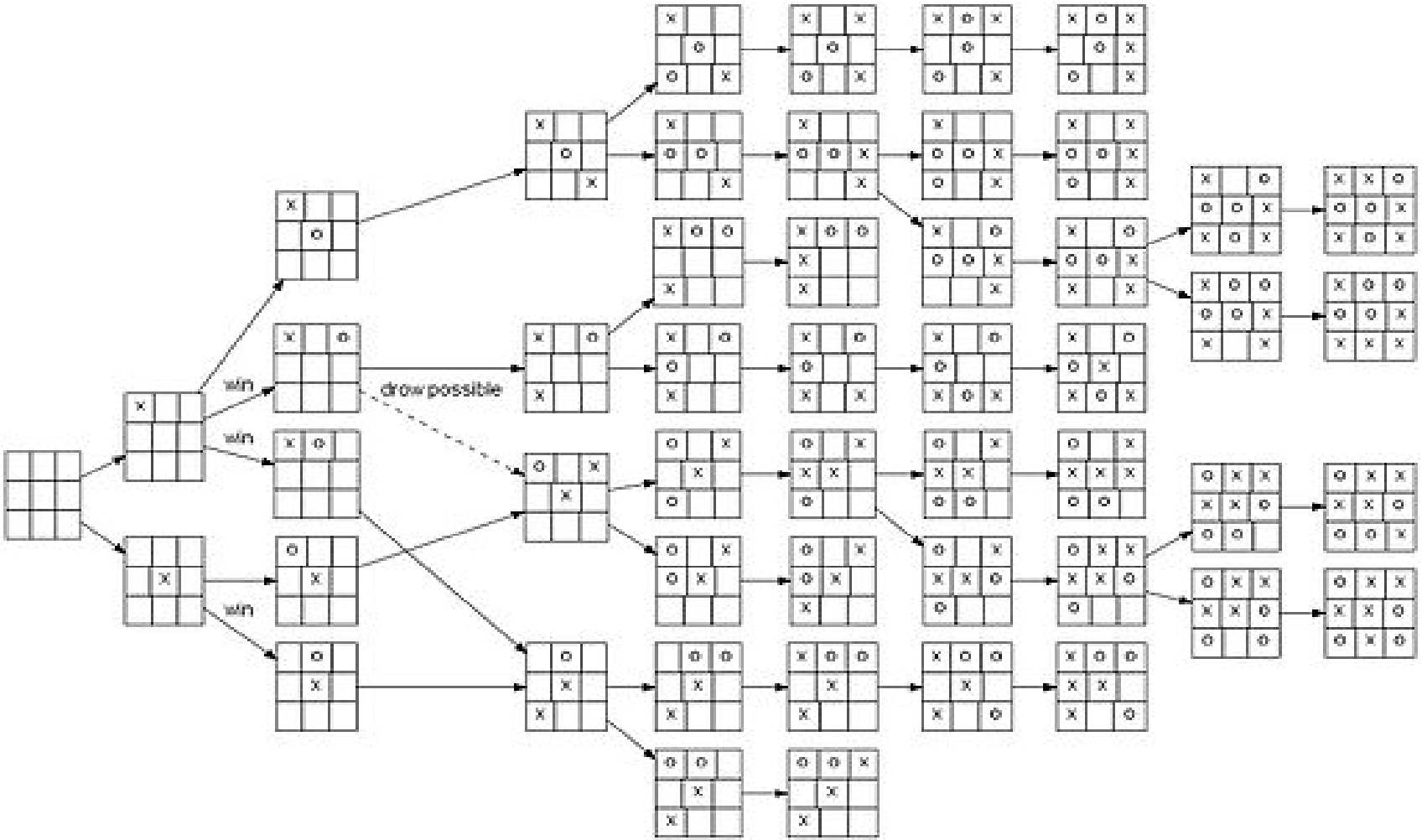


Figura: Problemas que usassem uma habilidade de pensar do ser humano, reproduzir este conhecimento em uma máquina!

Principais Áreas da IA

- Lógica: visa automatizar a cognição humana
- Redes Neurais: reproduz o comportamento neurônios
- Aprendizagem de Máquinas: adquire um conhecimento e exibe o que foi aprendido
- Raciocínio Incerto: visa inferir uma valoração ao conhecimento
- Agentes: estabeleceu paradigmas de autonomia e inteligência
- Robótica: tudo embarcado em um hardware que faça algo
- Ferramentas: como implementar tudo isto. Linguagens de programação: LISP (1960) e PROLOG (197X)
- Sim ... mas há muito mais!

Principais Áreas da IA

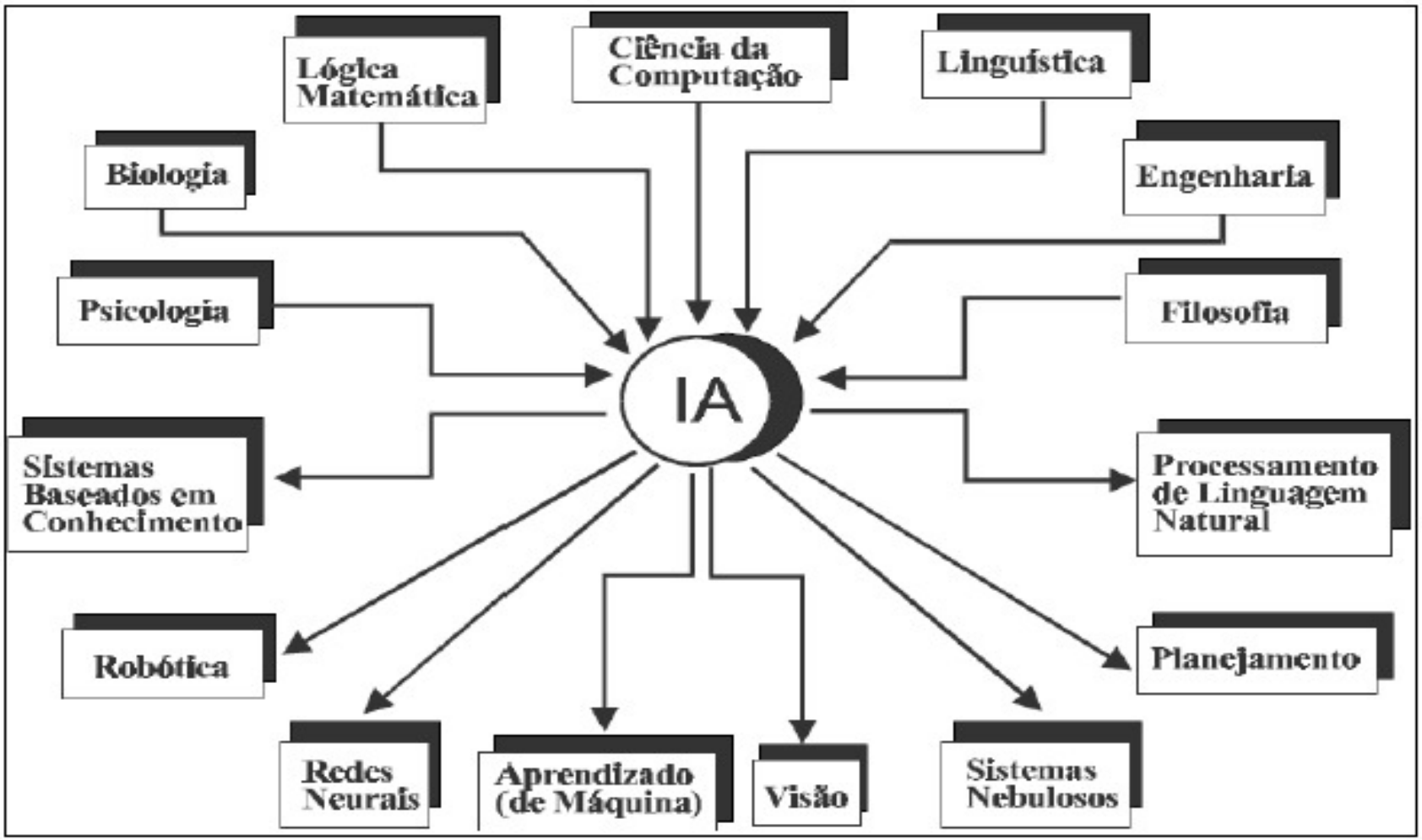


Figura: Observe o sentido das setas !

Sucessos da IA

Figura: Teoria publicada em 1986 ... Sojourner (a esquerda) 1996

Sucessos da IA

Figura: Carro da Google – Sucesso de Marketing

Sucessos da IA

Figura: Dava-se um fato ou a resposta, a idéia era encontrar a pergunta certa!

Sucessos da IA

Figura: Impulsão bélica: os drones!

Outros Sucessos da IA

- Mineração de Dados: aprendizagem a partir de dados
  Exemplos: Google, Facebook, etc.
- Reconhecimento de Padrões: imagens, voz, movimentos
- Sistemas de Segurança: Biometria

Computação Natural $\supset$ IA

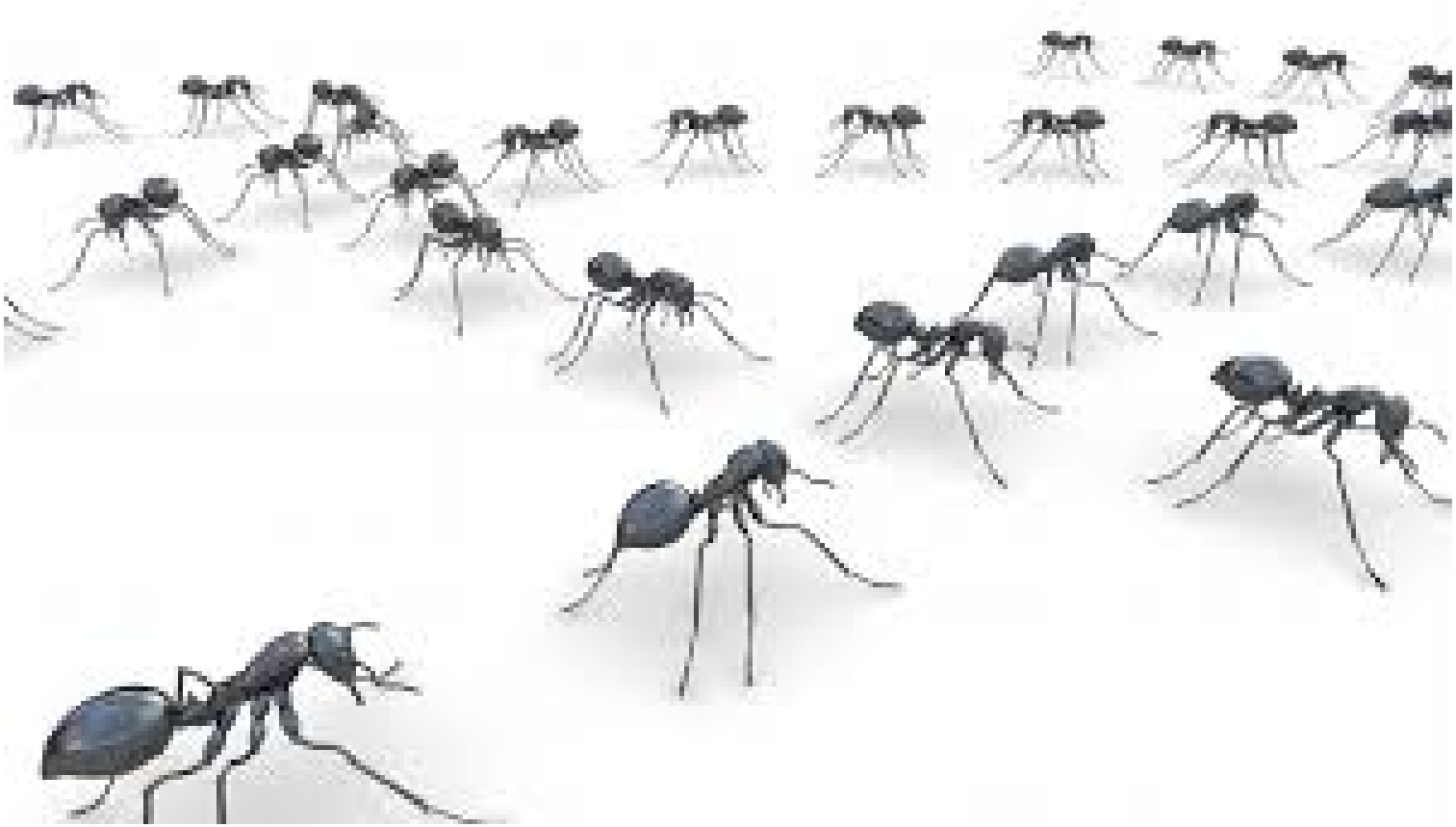
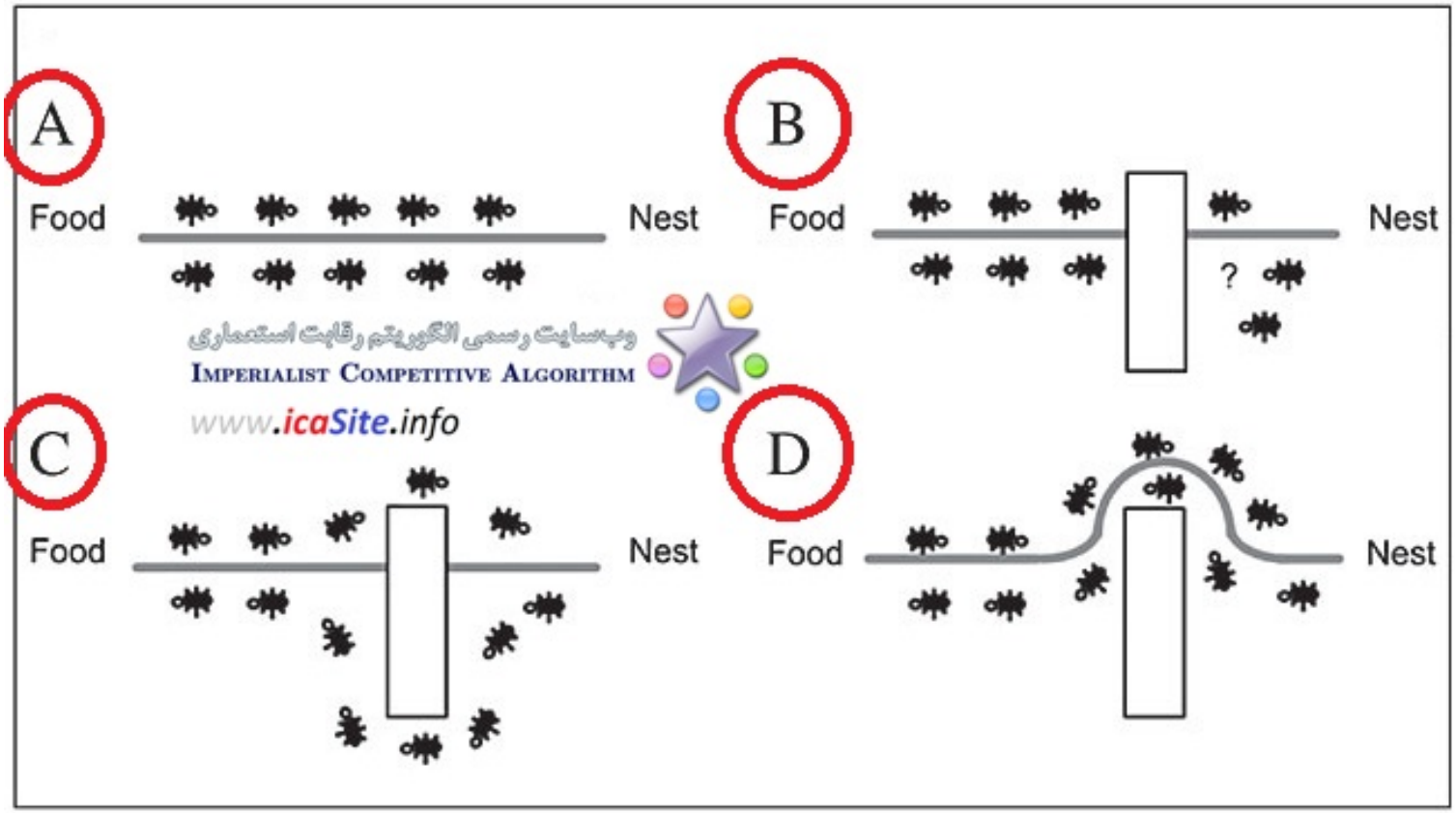
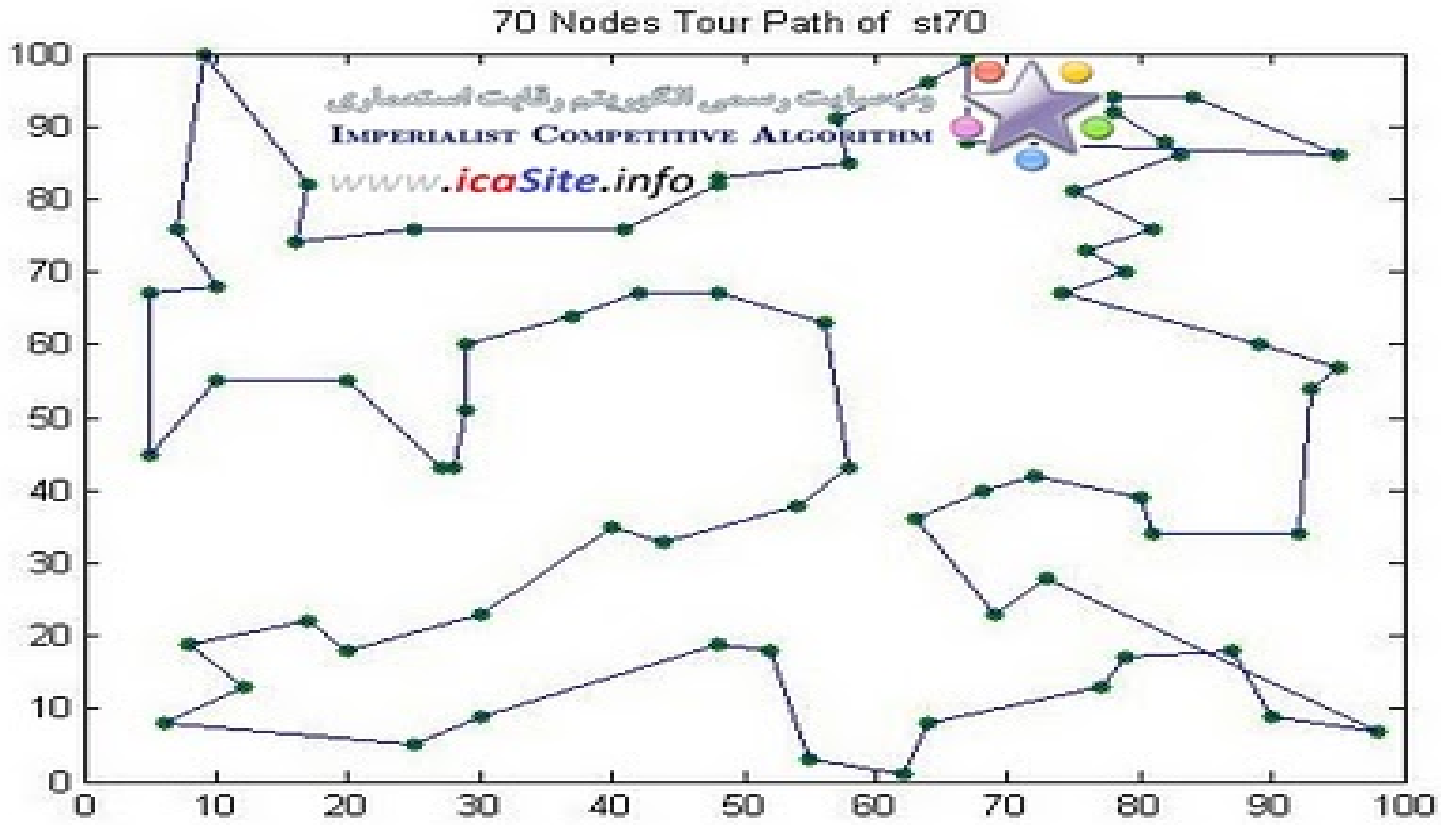


Figura: Computação Inspirada em Seres Biológicos (sua evolução *Darwiniana*)

Computação via Colônia de Formigas



Aplicação 1: TSP, um problema difícil



Aplicação 2: encontrar um *ponto de maior ganho*!

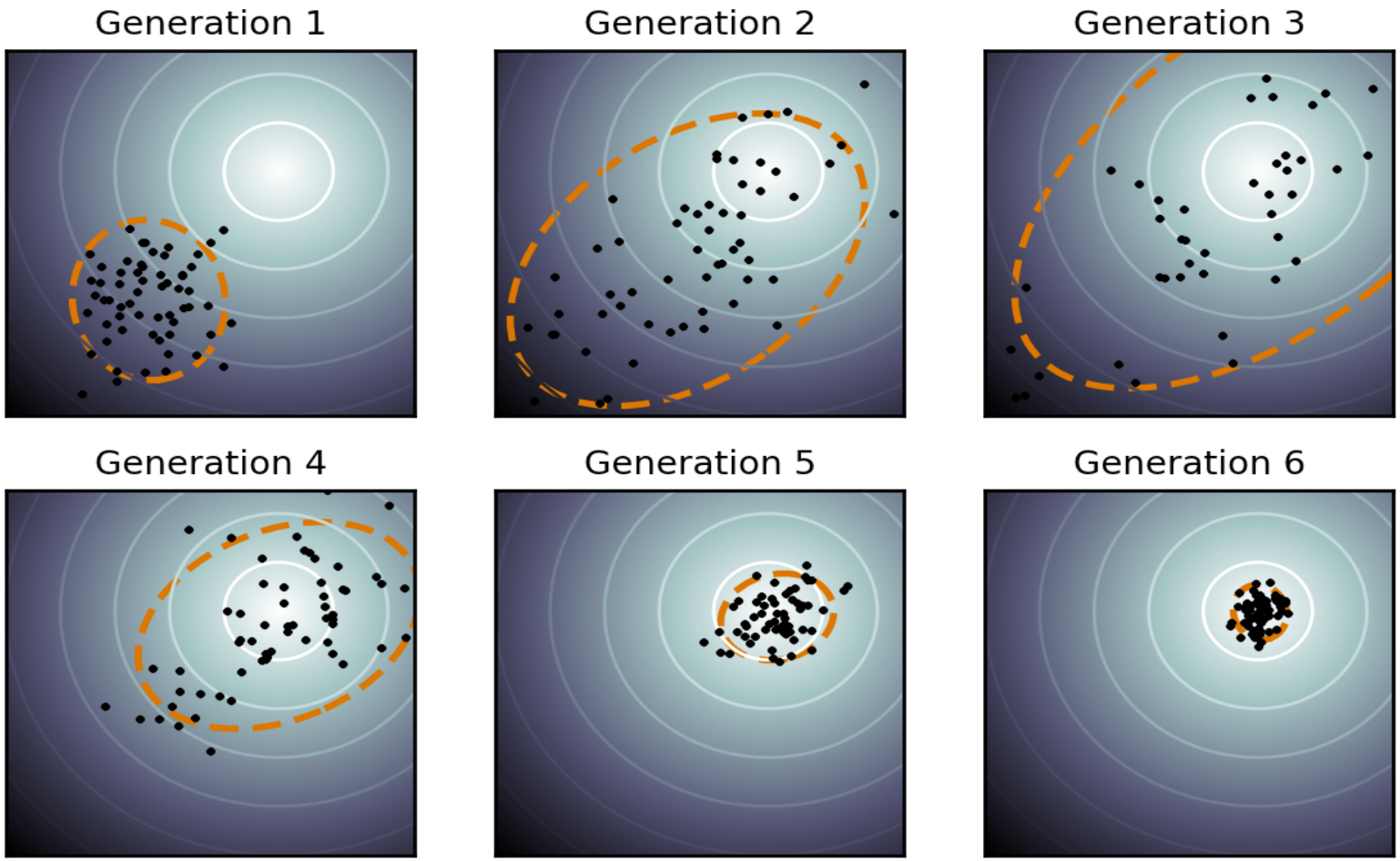


Figura: Computação Inspirada em Seres Biológicos (a evolução *Darwiniana*)

Onde a IA se encontra com a Otimização Combinatória (OC)?

IA $\Leftrightarrow$ OC:

- Ambas as áreas abordam problemas complexos!
- IA: diversas direções e muitos paradigmas
- Otimização Combinatória (OC): usa modelos como a IA, rígidos, espaços definidos ...
- A área de **Otimização** tem uma divisão: Discreta ou Combinatória e Contínua ou Numérica (não é o foco – funções deriváveis)
- Atacar problemas difíceis! Contudo, o que é *difícil*?
- Aqui: complexo $\approx$ difícil
- Vamos definir *uma medida de* ***complexo***

Definindo uma Medida Complexidade

- Na área de CC tem uma medida clássica
- Classificar os problemas em **polinomiais** e **exponenciais**
- Assim, os problemas **exponenciais** são os mais intrigantes ...
- O que é isto?

Problema da Satisfatibilidade

Fórmulas Lógicas

Seja uma fórmula $\varphi_1(x)$ sobre o domínio $\{0, 1\}$, temos a sua interpretação dada Tabela Verdade abaixo:

x	$\varphi_1(x)$
1	**1**
0	**0**

Árvore semântica

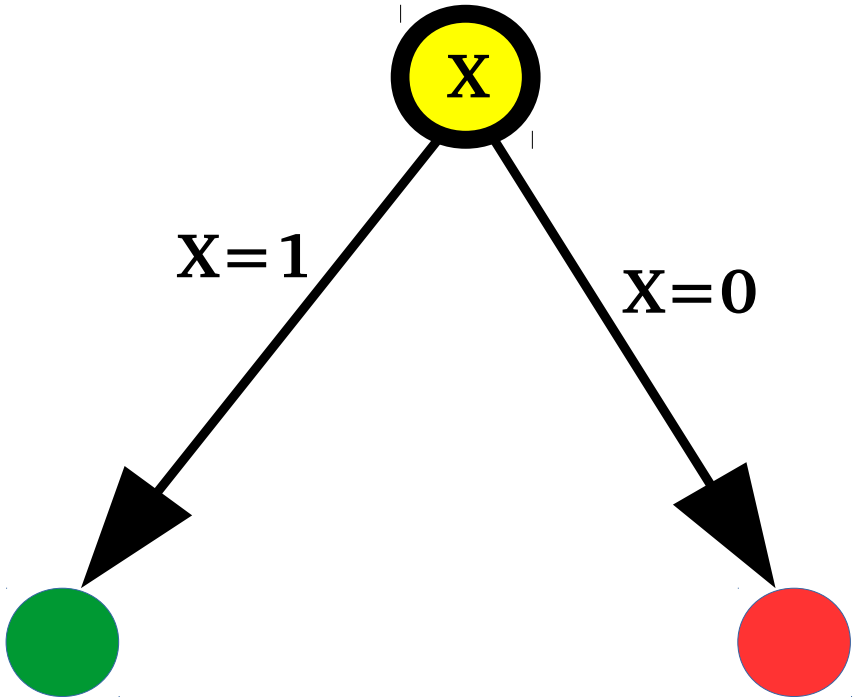


Figura: Representando as validades da função $\varphi_1(x)$

Fórmulas Lógicas

Seja uma fórmula $\varphi_2(x, y) = (\sim x \wedge y) \vee (x \wedge \sim y)$ sobre o domínio $\{0, 1\}$, temos a sua interpretação dada Tabela Verdade abaixo:

x	y	$(\neg$	x	$\wedge$	$y)$	$\vee$	$(x$	$\wedge$	$\neg$	$y)$	$\varphi_2(x, y)$
1	1	0	1	0	1	**0**	1	0	0	1	**0**
1	0	0	1	0	0	**1**	1	1	1	0	**1**
0	1	1	0	1	1	**1**	0	0	0	1	**1**
0	0	1	0	0	0	**0**	0	0	1	0	**0**

Sua árvore semântica é dada por:

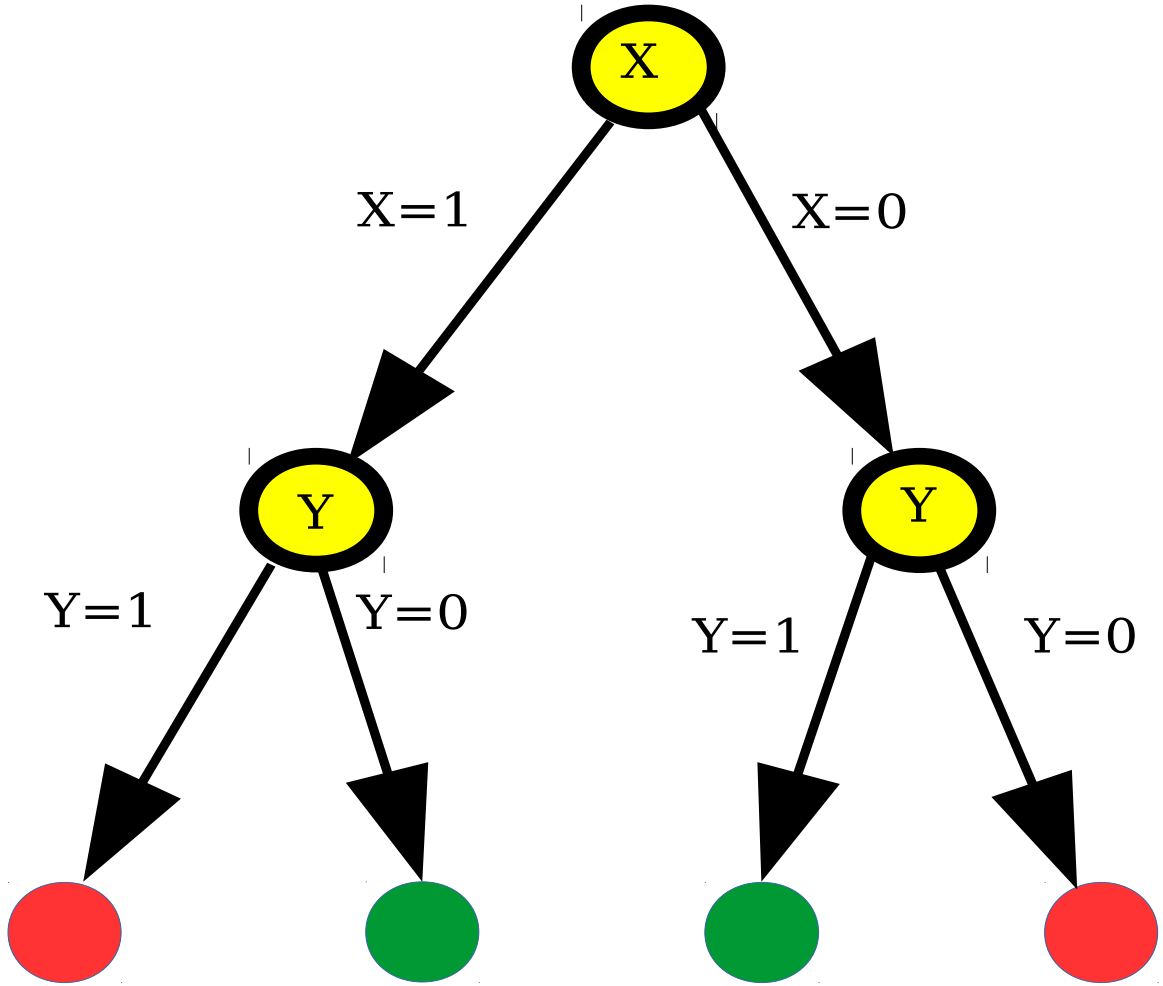


Figura: Representando as validades da função $\varphi_2(x, y)$

Fórmulas Lógicas

Seja uma fórmula $\varphi_3(x, y, z) = (\sim x \vee y) \wedge (\sim y \vee z)$ sobre o domínio $\{0, 1\}$, temos a sua interpretação dada Tabela Verdade abaixo:

x	y	z	$(\neg$	x	$\vee$	$y)$	$\wedge$	$(\neg$	y	$\vee$	$z)$	$\varphi_3(x, y, z)$
1	1	1	0	1	1	1	**1**	0	1	1	1	**1**
1	1	0	0	1	1	1	**0**	0	1	0	0	**0**
1	0	1	0	1	0	0	**0**	1	0	1	1	**0**
1	0	0	0	1	0	0	**0**	1	0	1	0	**0**
0	1	1	1	0	1	1	**1**	0	1	1	1	**1**
0	1	0	1	0	1	1	**0**	0	1	0	0	**0**
0	0	1	1	0	1	0	**1**	1	0	1	1	**1**
0	0	0	1	0	1	0	**1**	1	0	1	0	**1**

Sua árvore semântica é dada por:

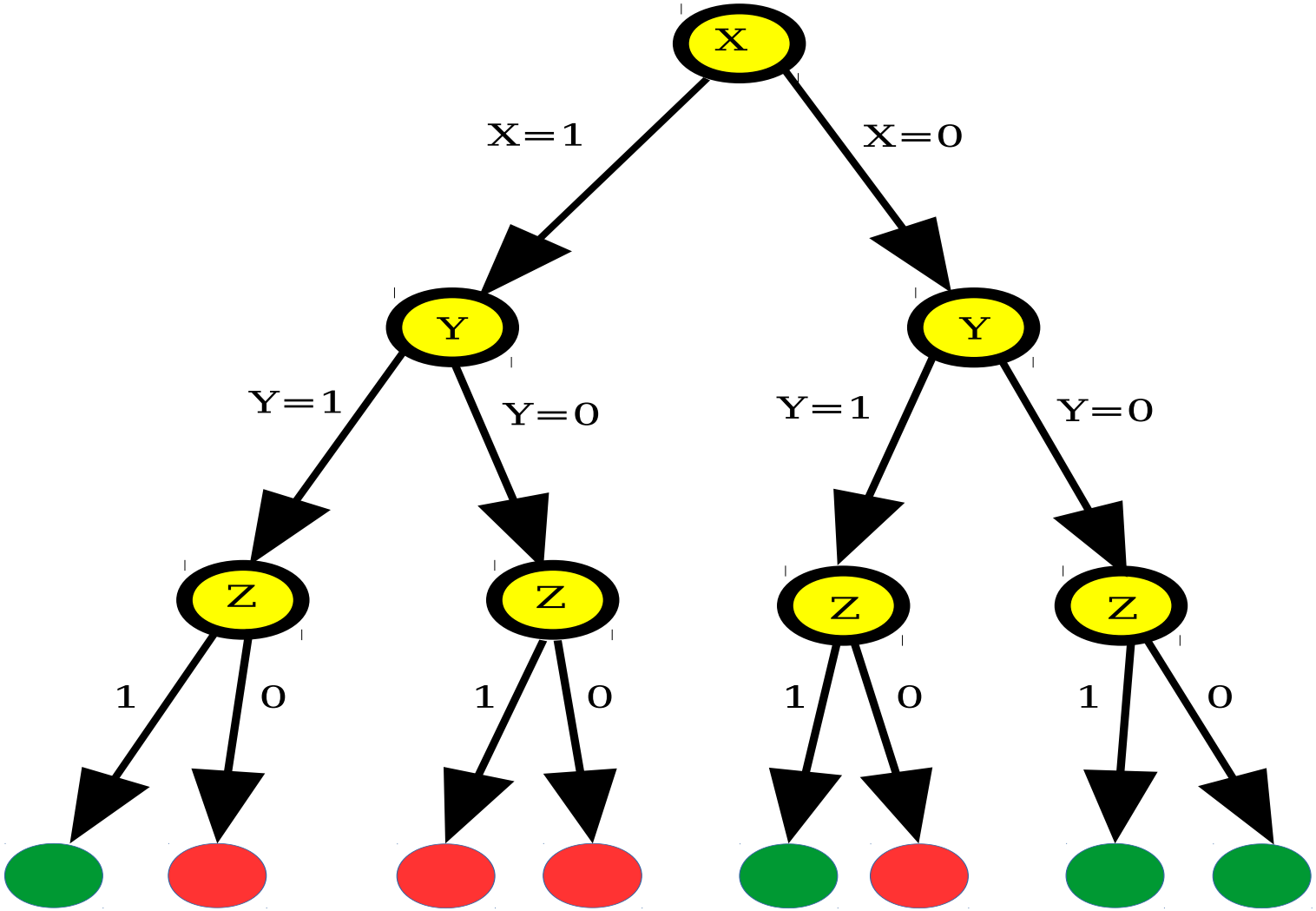


Figura: Representando as validades da função $\varphi_3(x, y, z)$

O que temos em comum entre $\varphi_1(x)$, $\varphi_2(x, y)$ $\varphi_3(x, y, z)$?

- Claro, o mesmo domínio: $\{0, 1\}$
- O número de linhas cresceu ....
- Sim, o número de linhas cresceu e exponencialmente: 2^n onde é o número de variáveis
- Quanto a base 2 veio tamanho do domínio: $\{0, 1\}$
- E quando este número de variáveis e domínio forem maiores?
- Isto mesmo, temos $\mid D \mid^n$, uma exponencial!
- Logo, problemas que tenham uma ordem maior ou igual a $2^{O(n)}$ são exponenciais, consequentemente, difíceis!

Classe de Problemas e o interesse da IA

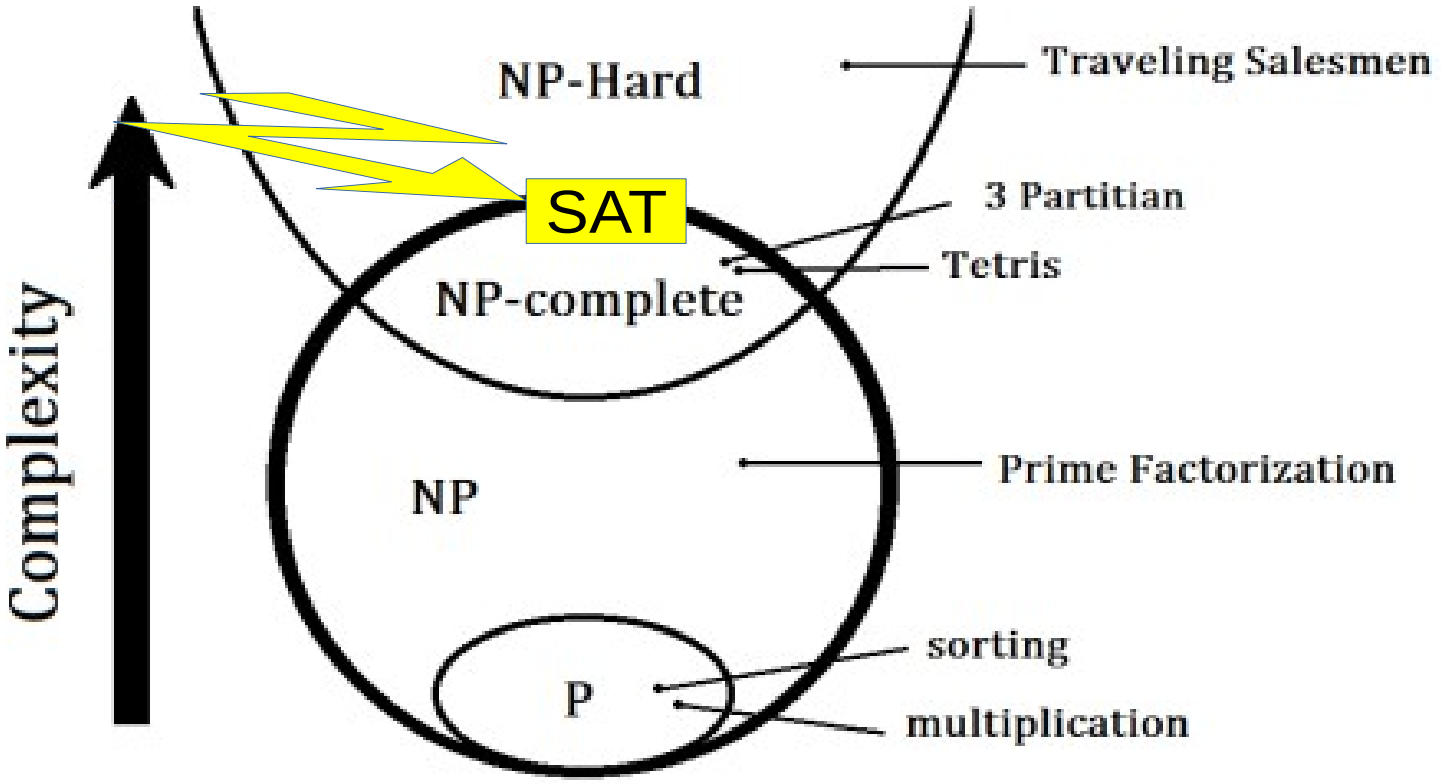


Figura: Problemas e suas complexidades

Introdução à Otimização

Classes de Problemas

Problemas de otimização são geralmente divididos em dois tipos: *otimização combinatorial* (*discreta*) e *otimização numérica* (*contínua*)

Combinatorial Problemas definidos em um espaço de estados finito (ou infinito mas enumerável)

Numérica Definidos em subespaços infinitos e não enumeráveis, como os números reais e complexos

Elementos de uma Otimização

Min ou Max

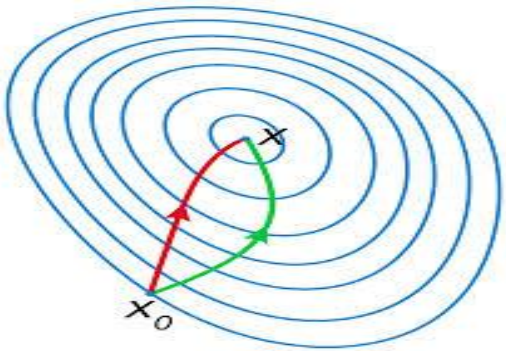
$$f(x)$$

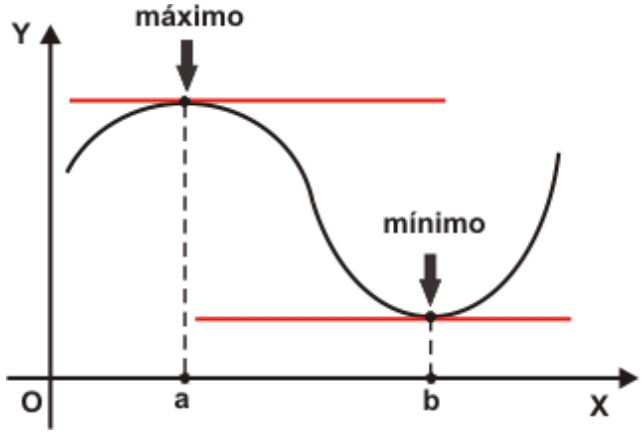
Sujeito a

$$h_k(x) = 0 \qquad k = 1, ..., K$$
$$g_j(x) \geq 0 \qquad j = 1, ..., J$$
$$x_i^{(U)} \geq x_i \geq x_i^{(L)} \qquad i = 1, ..., N$$

Tipos de Variáveis:

- Contínua
- Combinatória/Discreta
- Mista





Mínimo/Máximo: Local x Global

Otimização Combinatorial - Exemplo

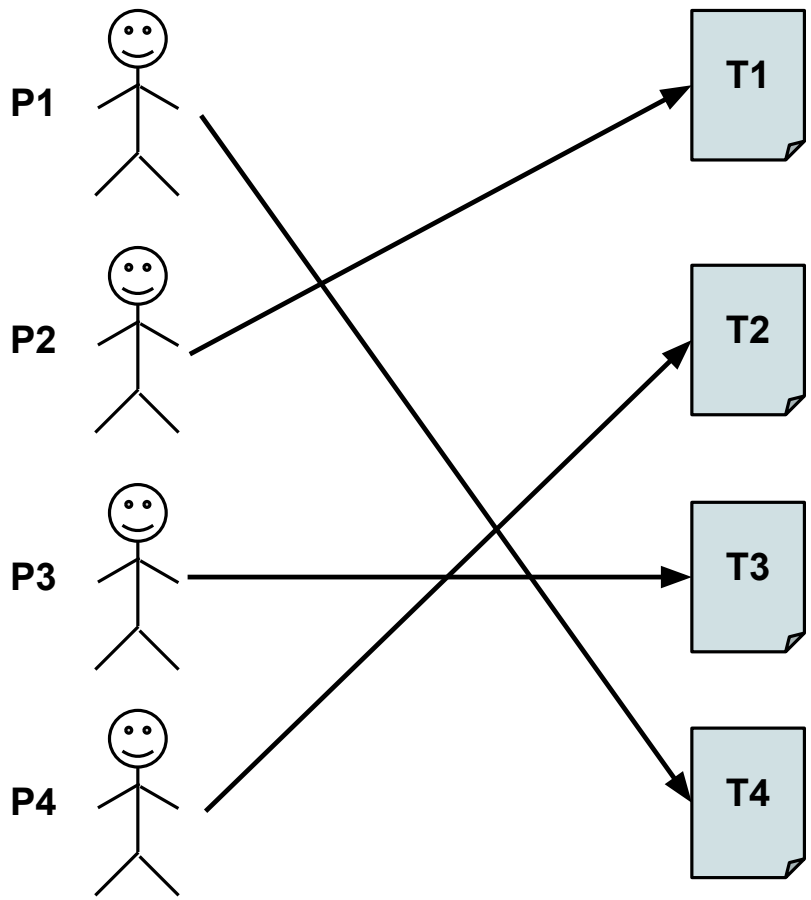
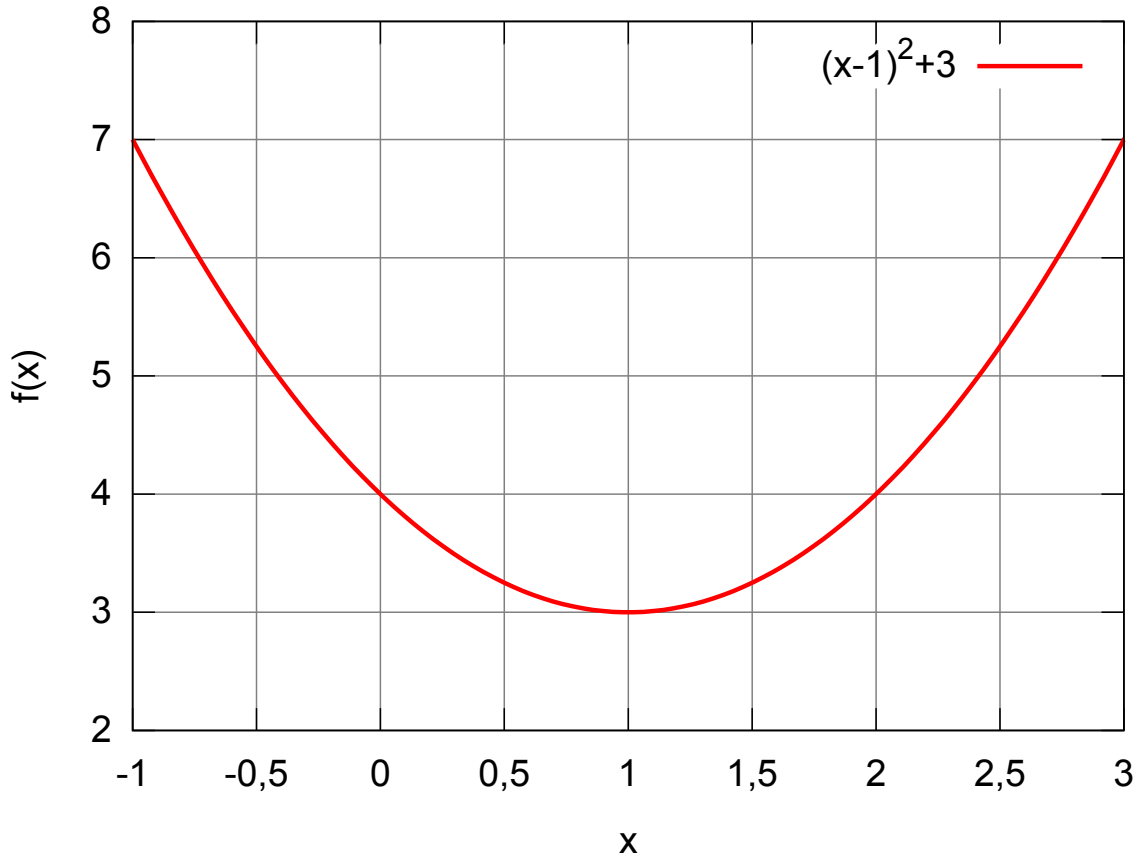


Figura: Atribuição ou designação de trabalhos

Otimização Numérica - Exemplo

Minimizar a função $f(x) = (x-1)^2 + 3$.



As técnicas:

Combinatória:

- Busca Local
- Métodos Gulosos: busca tipo subida a encosta (*hill-climbing*), recozimento simulado (*simulated annealing*), busca tabu,
- Programação Dinâmica
- Programação por Restrições
- Redes de Fluxo
- .....

Numérica:

- Descida do Gradiente
- Gauss-Newton
- Lavemberg-Marquardt
- .....

Um Problema Difícil (NP): Cabo de Guerra

Critério de escolha do times: por peso

Figura: *O mais pesado tem mais força!*

Especificando o problema do Cabo de Guerra

Que seja feita a divisão:

$Joao_1$	$Pedro_2$	$Manoel_3$	....	$Zeca_n$
45	39	79	....	42

- Divisão por peso
- Respeitar critérios como: $|N_A - N_B| \leq 1$
- Todos devem brincar
- Bem, esta simples **restrição** ($|N_A - N_B| \leq 1$), de nosso cotidiano tornou um simples problema em mais uma questão combinatória. Um arranjo da ordem de $\frac{n!}{(n/2)!}$. Casualmente, nada trivial para grandes valores!

Estratégia de Modelagem

- Variável de Decisão: análogo a árvore do SAT

Nomes (n_i):	n_1	n_2	n_3	....	n_n
Peso (p_i):	45	39	79	....	42
Binária (x_i):	0/1	0/1	0/1	....	0/1

- Assim $N_A \approx N/2$, $N_B \approx N/2$ e $|N_A - N_B| \leq 1$
- $x_i = 0$: n_i fica para o time A
- $x_i = 1$: n_i fica para o time B
- Logo a soma:

$$\sum_{i=1}^{n} x_i p_i$$

é o peso total do time B (P_B)

Modelagem das Restrições

- Falta encontrar peso total do time A (P_A), dado por:
- $P_A = P_{total} - P_B$
- ou

$$P_A = \sum_{i=1}^{n} p_i - \sum_{i=1}^{n} x_i p_i$$

- Finalmente, aplicar uma minimização na diferença: $|P_A - P_B|$

Uma Estratégia de Implementação

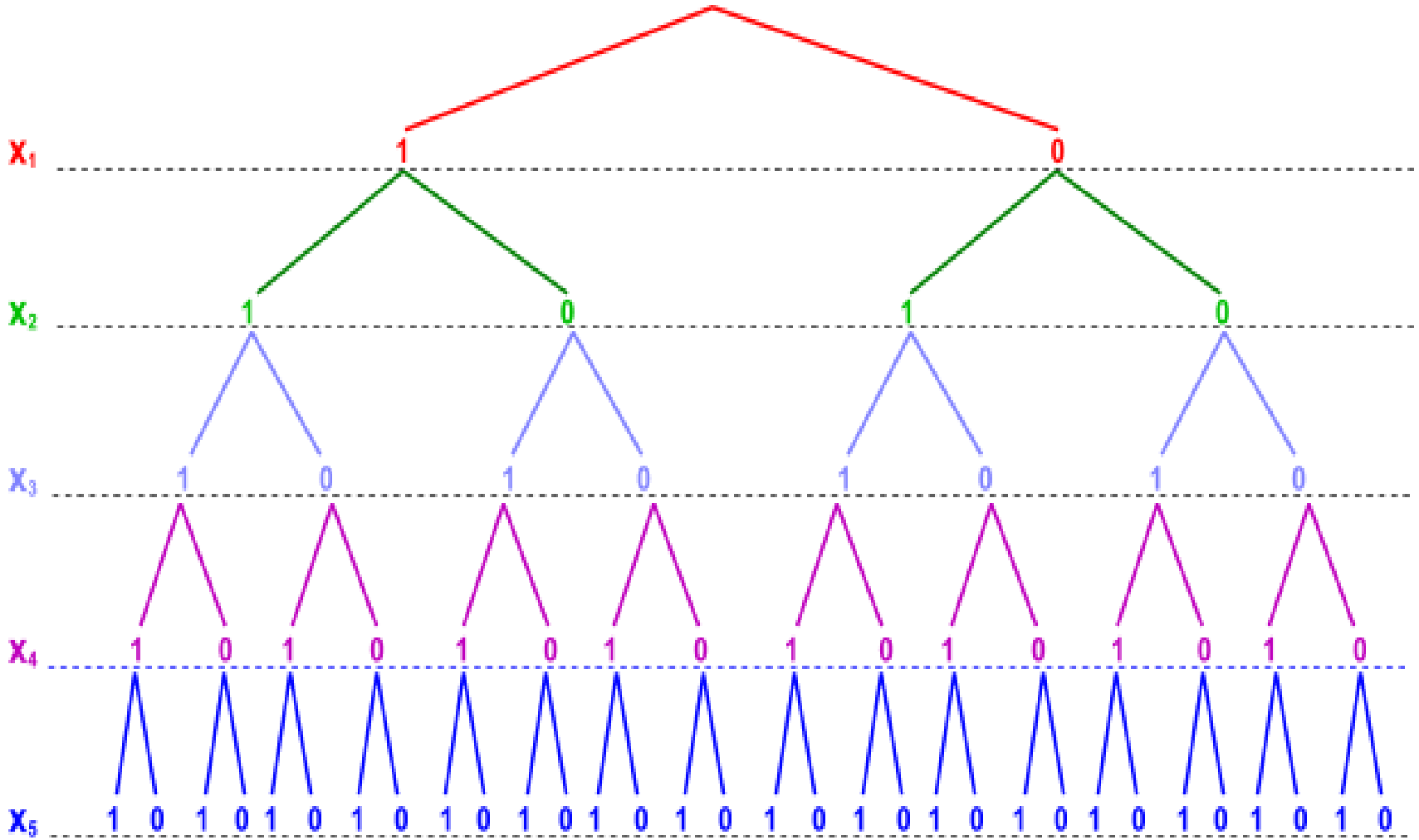


Figura: Se $x_i = 0$, então n_i segue para o time A, caso $x_i = 1$, então n_i vai para o time B

Qual a técnica usada?

Implementação em Minizinc

```
int: n; %% total de pessoas
var int: NA; %% Quantos em cada lado
var int: NB; %%  Lado B

%%% quantidade de pessoas (n) e seu peso vetor : ARQ EXTERNO
array[1..n] of int : peso;

%% var de decisao BINARIA
array[1..n] of var 0..1 : x_decision;

var int: PESO_TOTAL;
var int: PA;
var int: PB;

%%% ilustrando uma funcao em MINIZINC
function var int: metade( int: n) = n div 2 ;
```

```
%% quantos em cada lado
constraint
   NA = metade(n)
   /\
   NB = (n - NA);

constraint
   PESO_TOTAL = sum( i in 1..n ) (peso[i]);

constraint
  NB = sum( i in 1..n ) ( x_decision[i] );

constraint
  PB = sum( i in 1..n ) ( x_decision[i]*peso[i] );

constraint
  PA = (PESO_TOTAL - PB);

% minimizar a diferenca entre os PESOS
solve minimize abs(PA-PB);
```

Resultados e Análise

Números aleatórios de 1 a 150

Usando um *solver* médio do Minizinc (*G12 lazyfd*) padrão:

n	tempo	P_A	P_B
5	40msec	276	278
10	46msec	518	519
25	98msec	1198	1197
50	411msec	2290	2291
75	**2s 485msec**	3133	3133
100	470msec	4142	4142
125	**7s 2msec**	4992	4992
150	605msec	5823	5823
175	642msec	6777	6778
200	$>$ 10min	–	–

Referência: cpu 4-core, 4 G ram, SO: Linux-Debian

Reflexões

- Enfim, este problema é uma variação de clássicos NPs, mais especificamente o *sub-set-sum*

- Leia-se: Problema da Mochila

- Implemente este problema usando Programação Dinâmica (PD)

Finalizando estes exponenciais

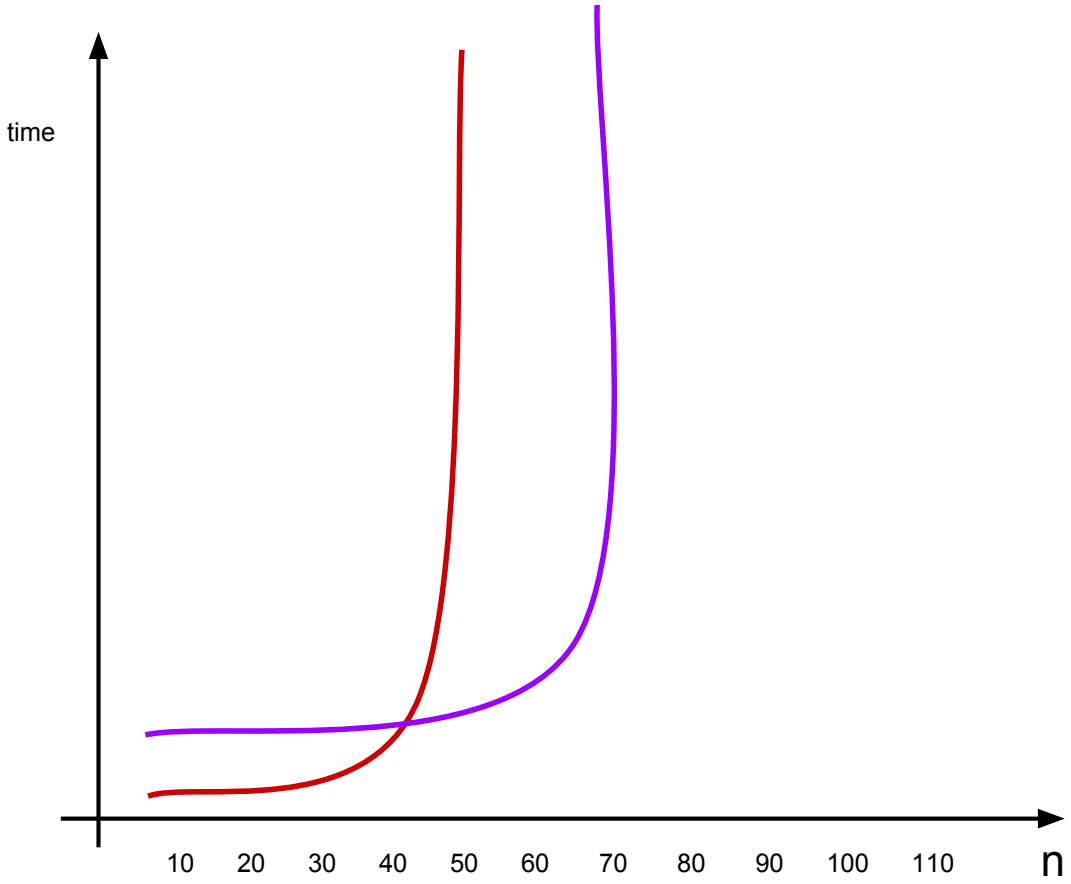


Figura: O limite dos NPs

Empurrando o *muro* dos exponenciais

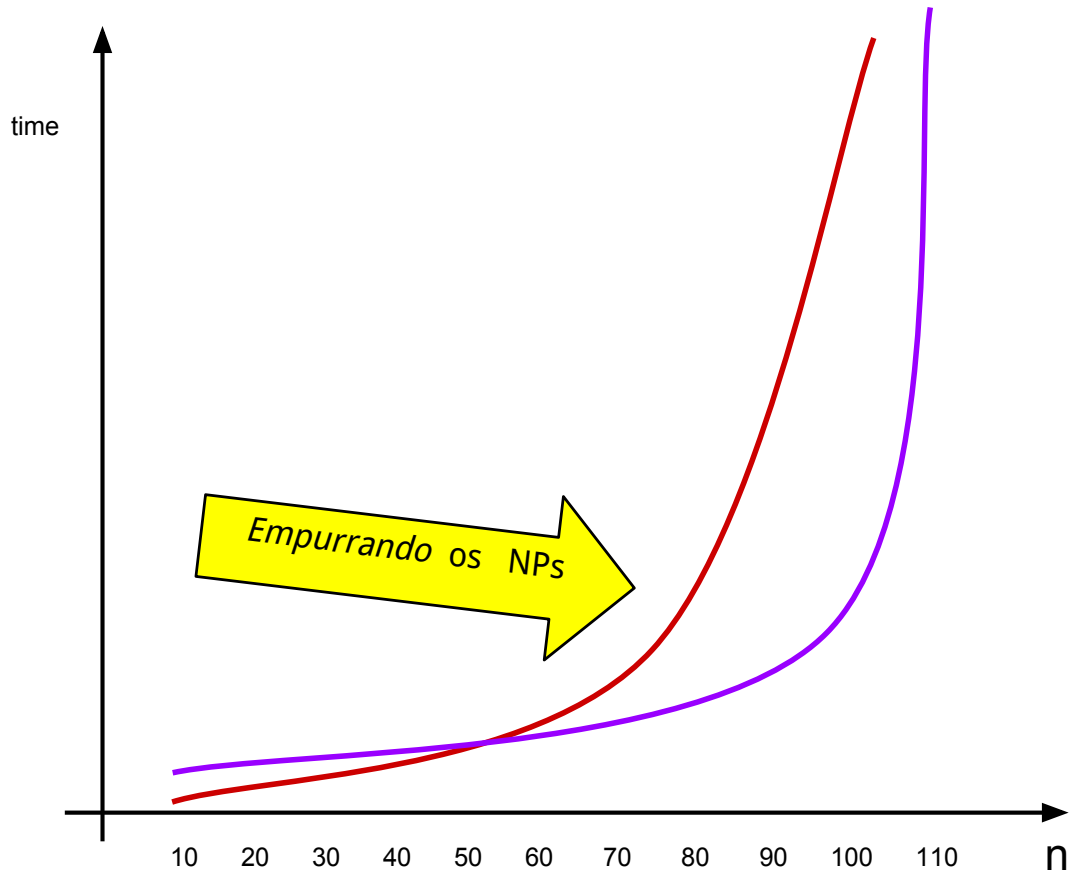


Figura: *Empurrando* o limite dos NPs

Conclusões:

- A área computação evolucionária tem apresentado resultados expressivos, são resultados *quase-ótimos*, mas magnetudes acima das demais técnicas;
- O hardware com IA embarcada sempre foi um paradigma da construção de uma *inteligência*
- Os *rápidos*, *baratos* e *velozes*, agora formam um sociedade de agentes inteligentes
- Os problemas solucionados com a *combinatória* tem sido colocados em prática há muitos anos, e ao que parece, devem continuar, ...

Perguntas, Referências e Contactos

- http://www.joinville.udesc.br/coca/
- https://github.com/claudiosa
- Email: claudio.sa@udesc.br
- *Thank you so much*!