



**Algoritmos de alta performance
aplicados à mobilidade**

CAIO REINA

Founder/CEO da RoutEasy



Algoritmos Eficientes estão presentes na **mobilidade** das **idades inteligentes**

AGENDA

1

OTIMIZAÇÃO

2

ALGORITMOS

3

METAHEURÍSTICAS

Apresentação

2008



Engenharia Cartográfica – Unesp

Pesquisa científica na área da Matemática Aplicada e Otimização Computacional
Problema de Roteirização de Veículos e P-Medianas utilizando Algoritmo Genético

2012



Engenharia de Transportes – Poli-USP

Grupo de pesquisa focado em Veículos Autônomos
Estudo de diversas abordagens heurísticas aplicadas à problemas complexos de Otimização
Problema de Roteirização de Veículos com Janelas de Tempo utilizando Algoritmo Genético

2015



Consultoria em Logística e Supply Chain

Utilização de modelagem matemática em projetos de Malha Logística
Aplicação do algoritmo desenvolvido em 4 projetos de grande porte

Atual



Fundador da RoutEasy

Criação de uma plataforma web ligada ao algoritmo de roteirização
Melhorias no algoritmo, inclusive de performance de processamento
Desenvolvimento de módulos adicionais que integram a solução

AGENDA

1

OTIMIZAÇÃO

2

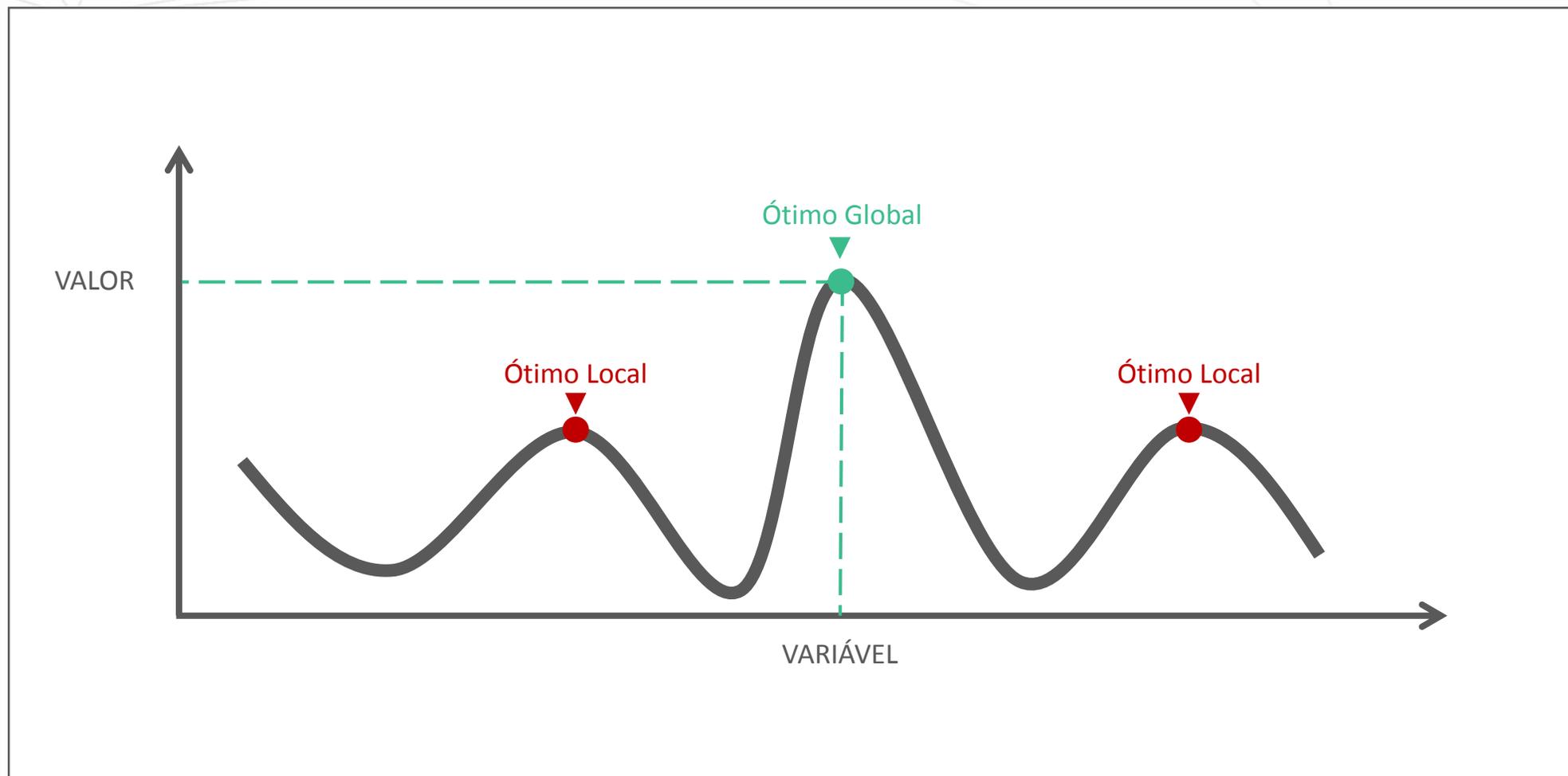
ALGORITMOS

3

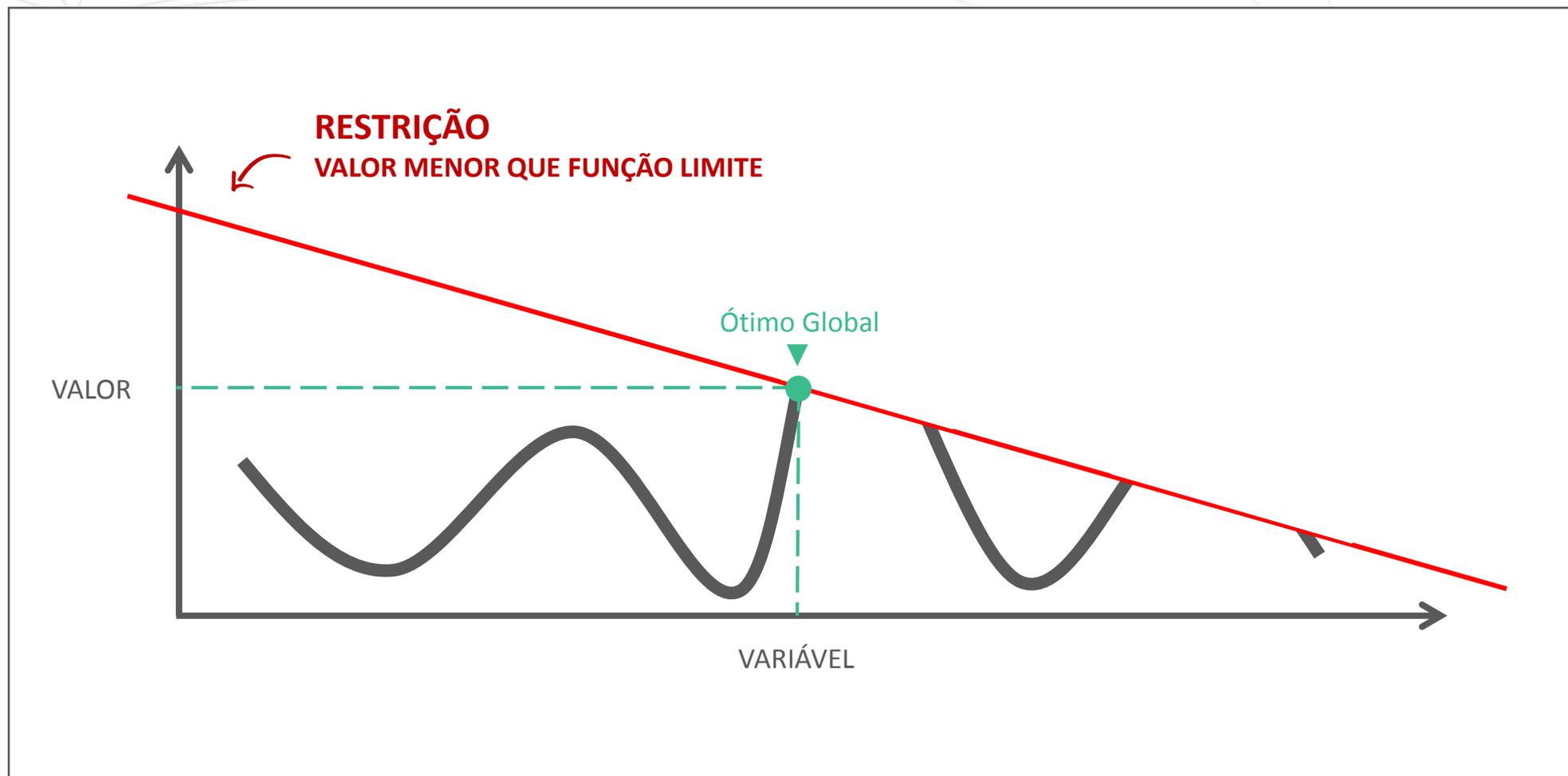
METAHEURÍSTICAS



Otimização: estudo de problemas em que se busca minimizar ou maximizar uma função através da escolha sistemática dos valores de variáveis reais ou inteiras dentro de um conjunto viável.



Otimização: estudo de problemas em que se busca minimizar ou maximizar uma função através da escolha sistemática dos valores de variáveis reais ou inteiras dentro de um conjunto viável.



Otimização: estudo de problemas em que se busca minimizar ou maximizar uma função através da escolha sistemática dos valores de variáveis reais ou inteiras dentro de um conjunto viável.

MODELAGEM MATEMÁTICA

Maximizar VALOR = FUNÇÃO(VARIÁVEL)

Sujeito à: VALOR < FUNÇÃO LIMITE

Otimização: estudo de problemas em que se busca minimizar ou maximizar uma função através da escolha sistemática dos valores de variáveis reais ou inteiras dentro de um conjunto viável.

$$x_{ij}^k = \begin{cases} 1, & \text{se o arco } (i, j) \text{ é percorrido pelo veículo } k \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (1)$$

$$\min \sum_{i=1}^N \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N \sum_{k=1}^K c_{ij} x_{ij}^k \quad (2)$$

$$\text{sujeito a: } \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^N x_{ij}^k = 1 \quad (j = 2, \dots, n) \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^N x_{ij}^k = 1 \quad (i = 2, \dots, n) \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ih}^k - \sum_{j=1}^N x_{hj}^k = 0 \quad (k = 1, \dots, nv); \quad (h = 1, \dots, n) \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^N d_i \sum_{j=1}^N x_{ij}^k \leq C \quad (k = 1, \dots, nv) \quad (6)$$

$$\sum_{j=2}^N x_{1j}^k \leq 1 \quad (k = 1, \dots, nv) \quad (7)$$

$$\sum_{i=2}^N x_{i1}^k \leq 1 \quad (k = 1, \dots, nv) \quad (8)$$

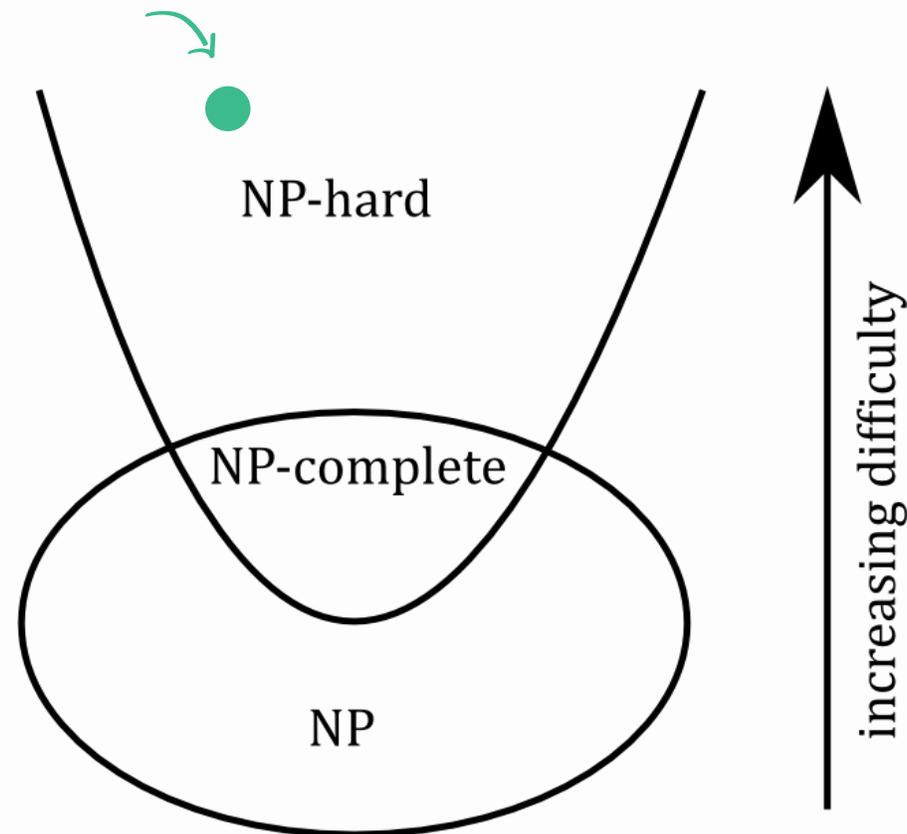
$$x_{ij}^k \in \{0,1\} \quad (i, j = 1, \dots, n); \quad (k = 1, \dots, nv) \quad (9)$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{ij}^k \leq |S| - 1 \quad (\forall S \subseteq \{2, \dots, n\}); \quad (k = 1, \dots, nv) \quad (10)$$

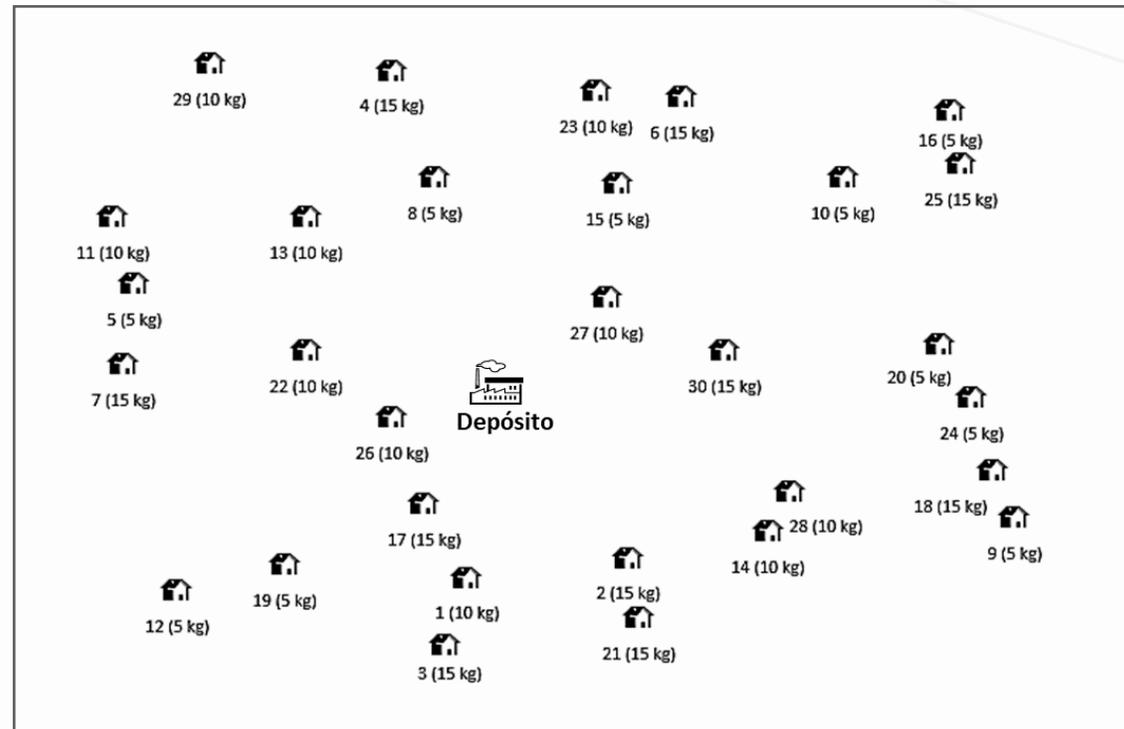
Modelagem Matemática para o Problema de Roteirização

Otimização: estudo de problemas em que se busca minimizar ou maximizar uma função através da escolha sistemática dos valores de variáveis reais ou inteiras dentro de um conjunto viável.

Problema de Roteirização de Veículos



Otimização: estudo de problemas em que se busca minimizar ou maximizar uma função através da escolha sistemática dos valores de variáveis reais ou inteiras dentro de um conjunto viável.



$$\text{Soluções Possíveis} = \frac{(30-1)!}{2} = \frac{29!}{2} \sim 4,420881 * 10^{30}$$

AGENDA

1

OTIMIZAÇÃO

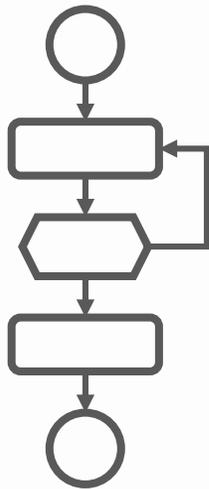
2

ALGORITMOS

3

METAHEURÍSTICAS





Algoritmo: conjunto das regras e procedimentos lógicos perfeitamente definidos que levam à solução de um problema em um número finito de etapas.

Algoritmo: conjunto das regras e procedimentos lógicos perfeitamente definidos que levam à solução de um problema em um número finito de etapas.



COMO ATRAVESSAR UMA RUA?

INÍCIO ALGORITMO

Olhar para a direita

Olhar para a esquerda

SE estiver vindo carro

Não atravesse

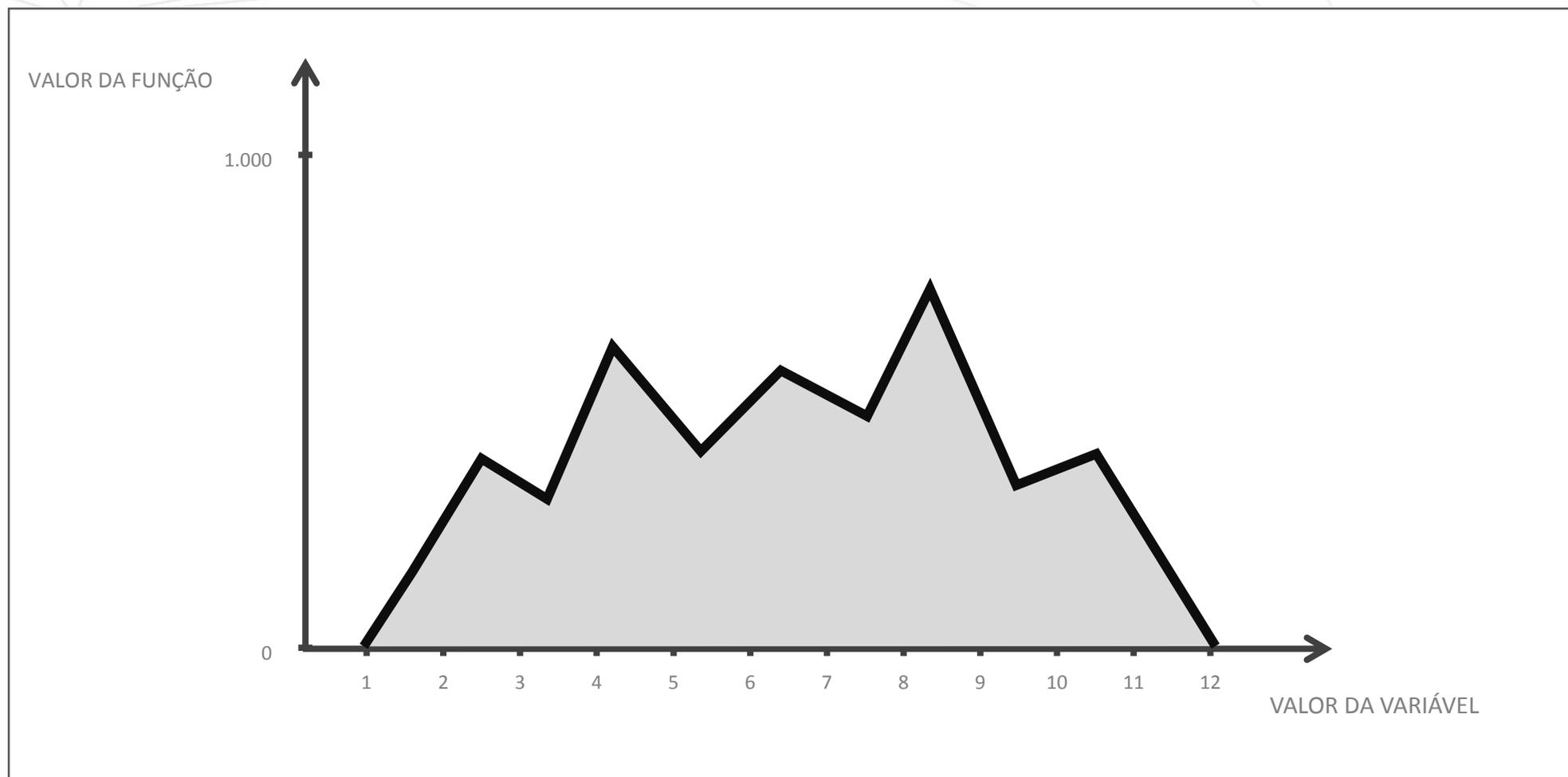
SENÃO

Atravesse

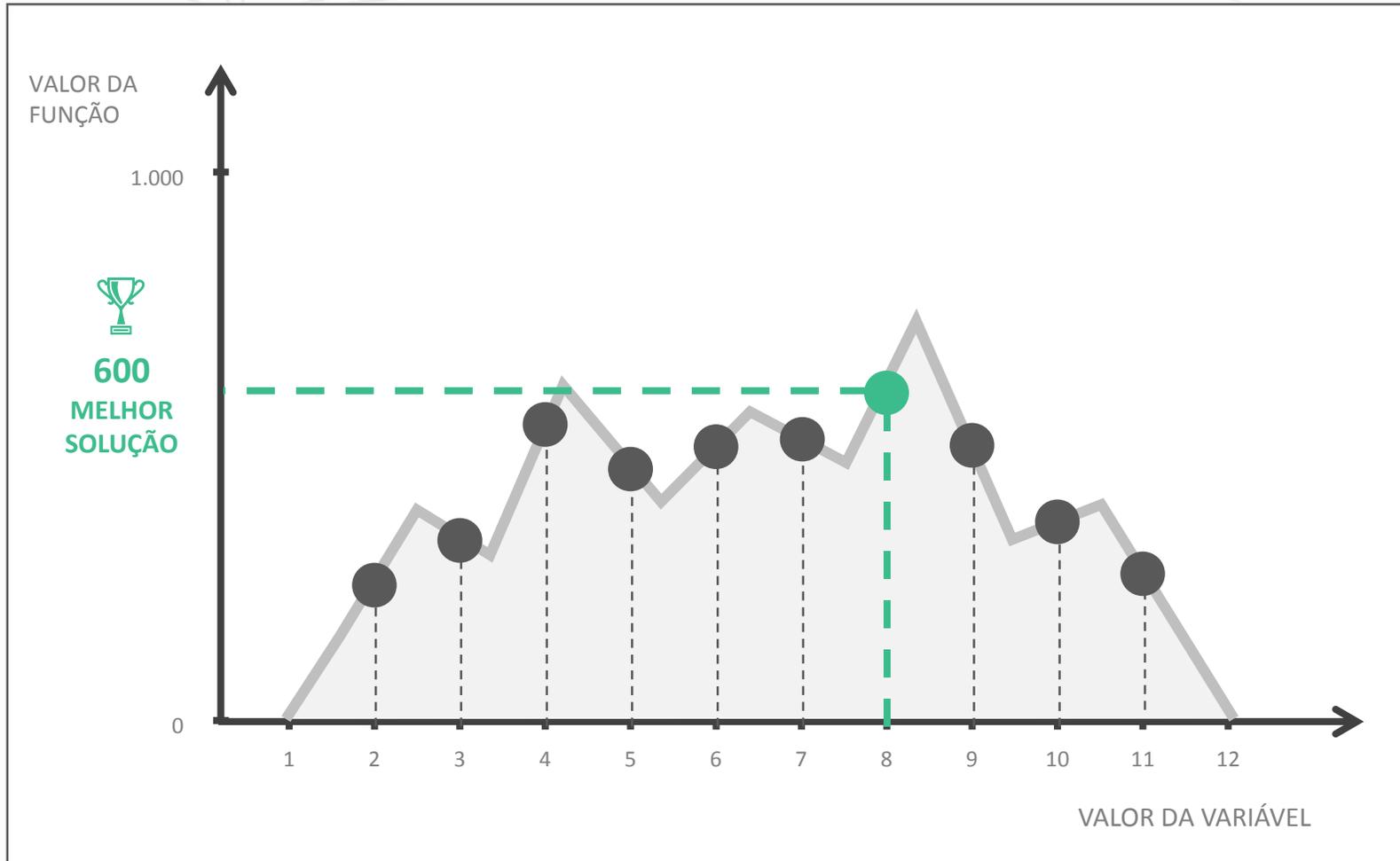
FIM-SE

FIM ALGORITMO

Algoritmo: conjunto das regras e procedimentos lógicos perfeitamente definidos que levam à solução de um problema em um número finito de etapas.



Algoritmo: conjunto das regras e procedimentos lógicos perfeitamente definidos que levam à solução de um problema em um número finito de etapas.



Algoritmo Passo = 1,0

INÍCIO ALGORITMO

VAR = 1

VALOR_MAX = 0

PARA VAR = 1 ATÉ 12

VALOR = FUNCAO (VAR)

SE VALOR > VALOR_MAX

VALOR_MAX = VALOR

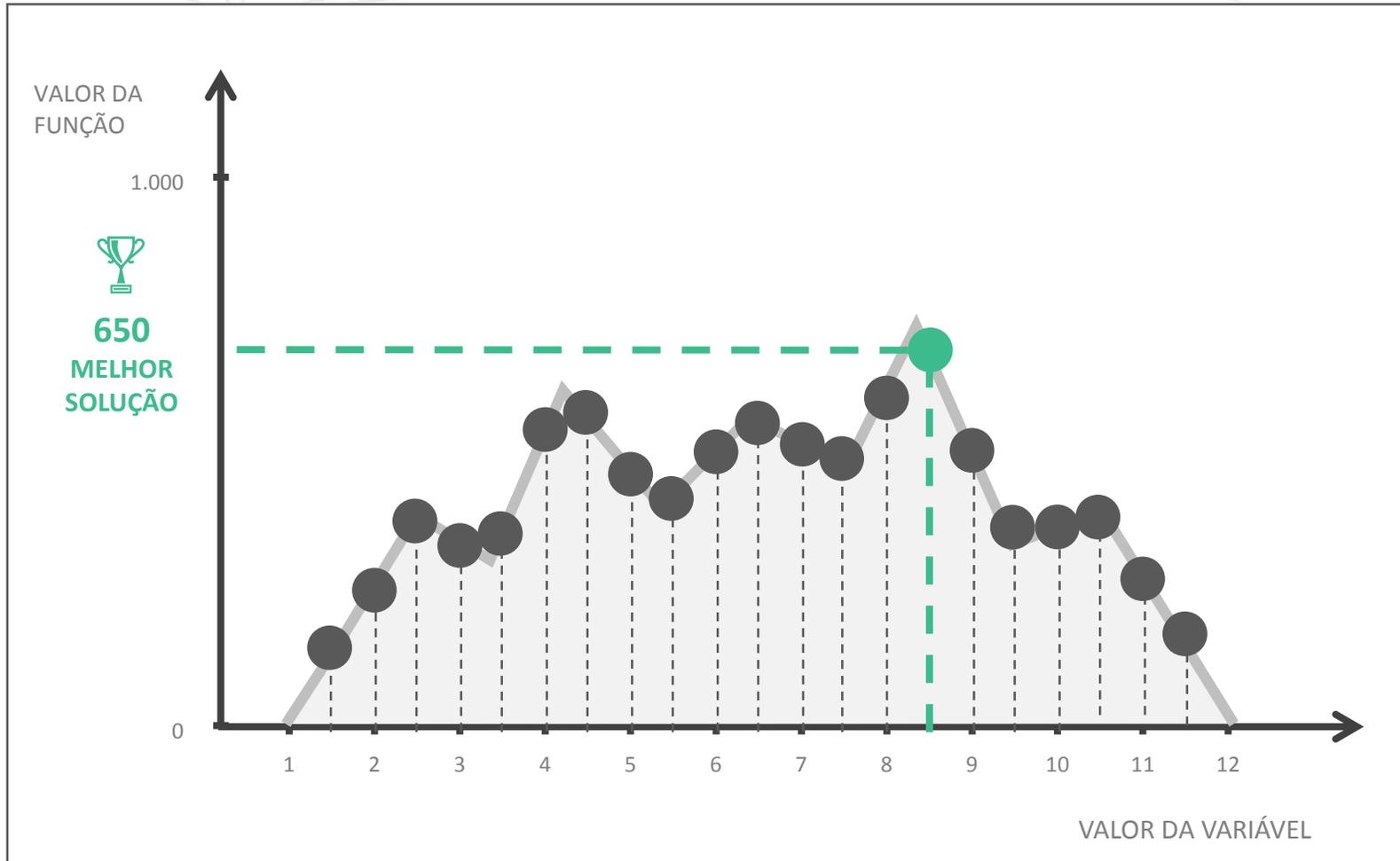
FIM-SE

VAR = VAR + 1,0

FIM-PARA

FIM ALGORITMO

Algoritmo: conjunto das regras e procedimentos lógicos perfeitamente definidos que levam à solução de um problema em um número finito de etapas.



Algoritmo Passo = 0,5

INÍCIO ALGORITMO

VAR = 1

VALOR_MAX = 0

PARA VAR = 1 ATÉ 12

VALOR = FUNCAO (VAR)

SE VALOR > VALOR_MAX

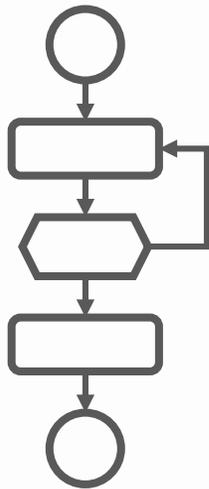
VALOR_MAX = VALOR

FIM-SE

VAR = VAR + 0,5

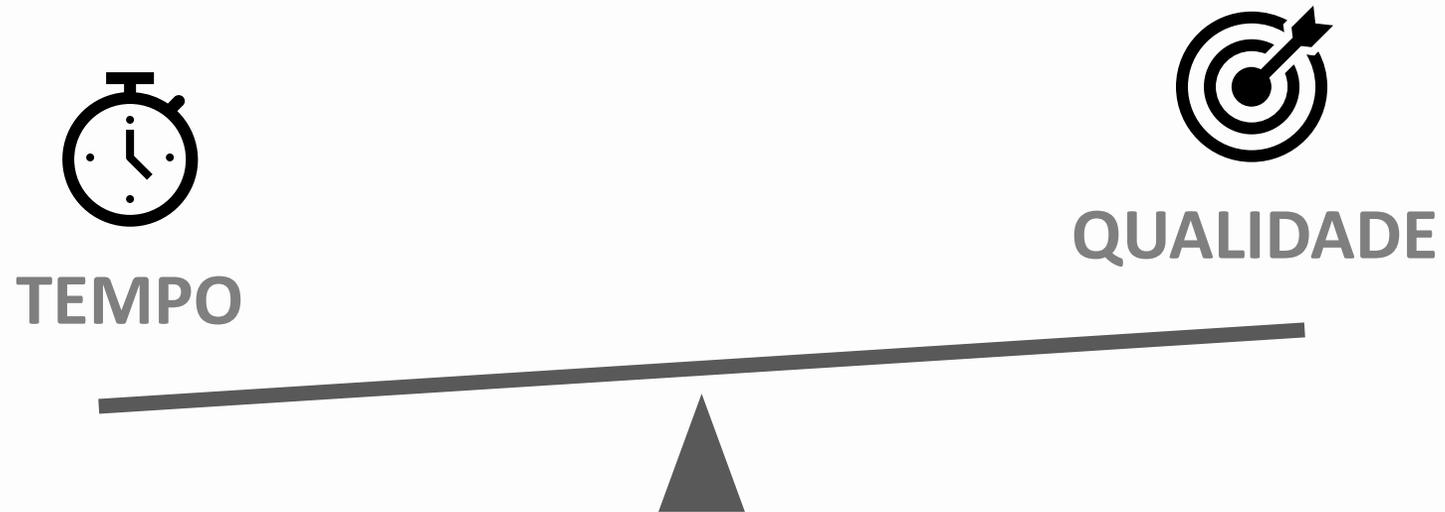
FIM-PARA

FIM ALGORITMO

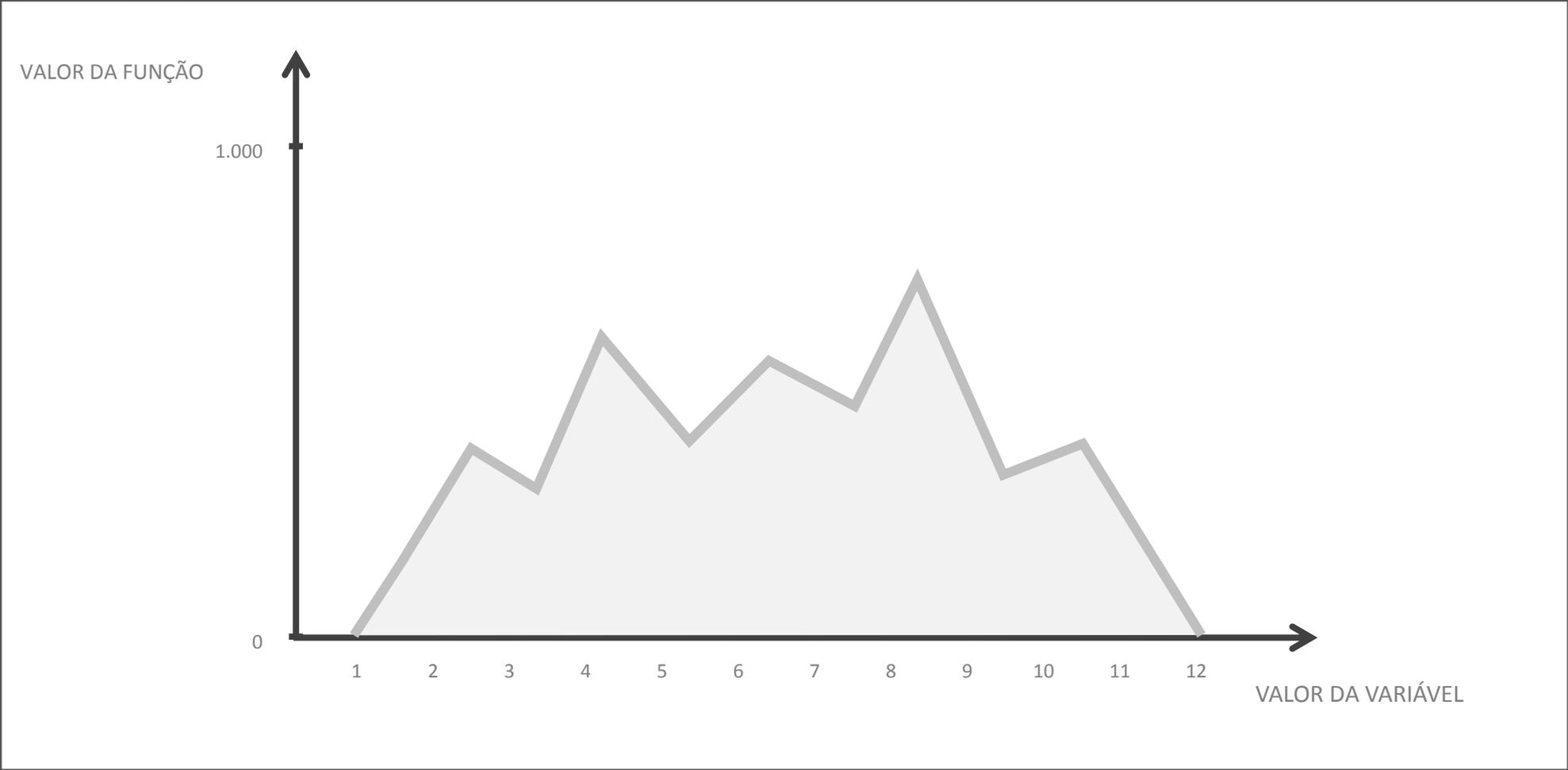


Heurística: A heurística é uma técnica de pensamento e comportamento praticamente automática nos humanos, que agem de modo intuitivo e inconsciente para achar prováveis respostas para aquilo que procuram

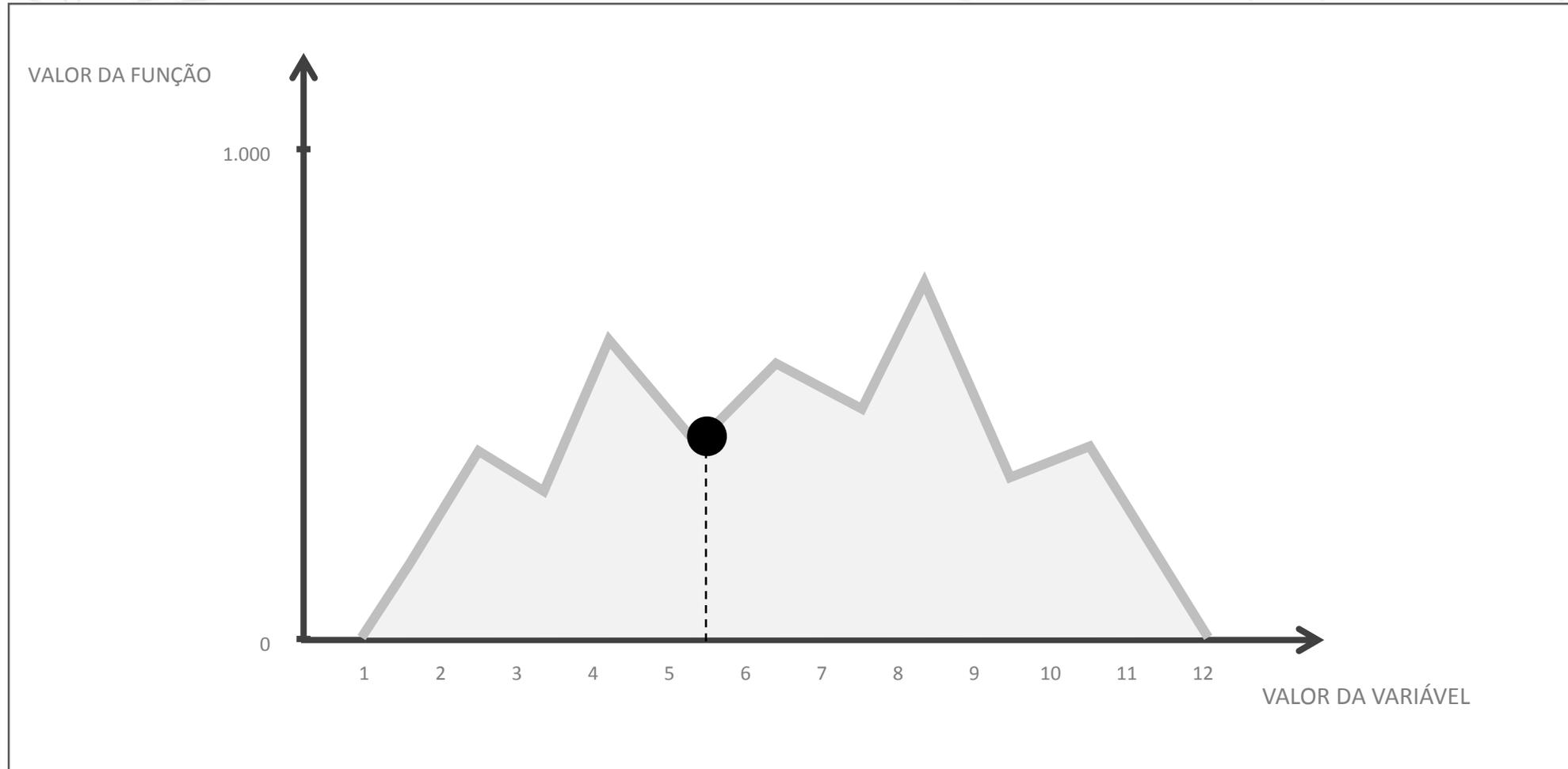
Heurística: a heurística é uma técnica de pensamento e comportamento praticamente automática nos humanos, que agem de modo intuitivo e inconsciente para achar prováveis respostas para aquilo que procuram



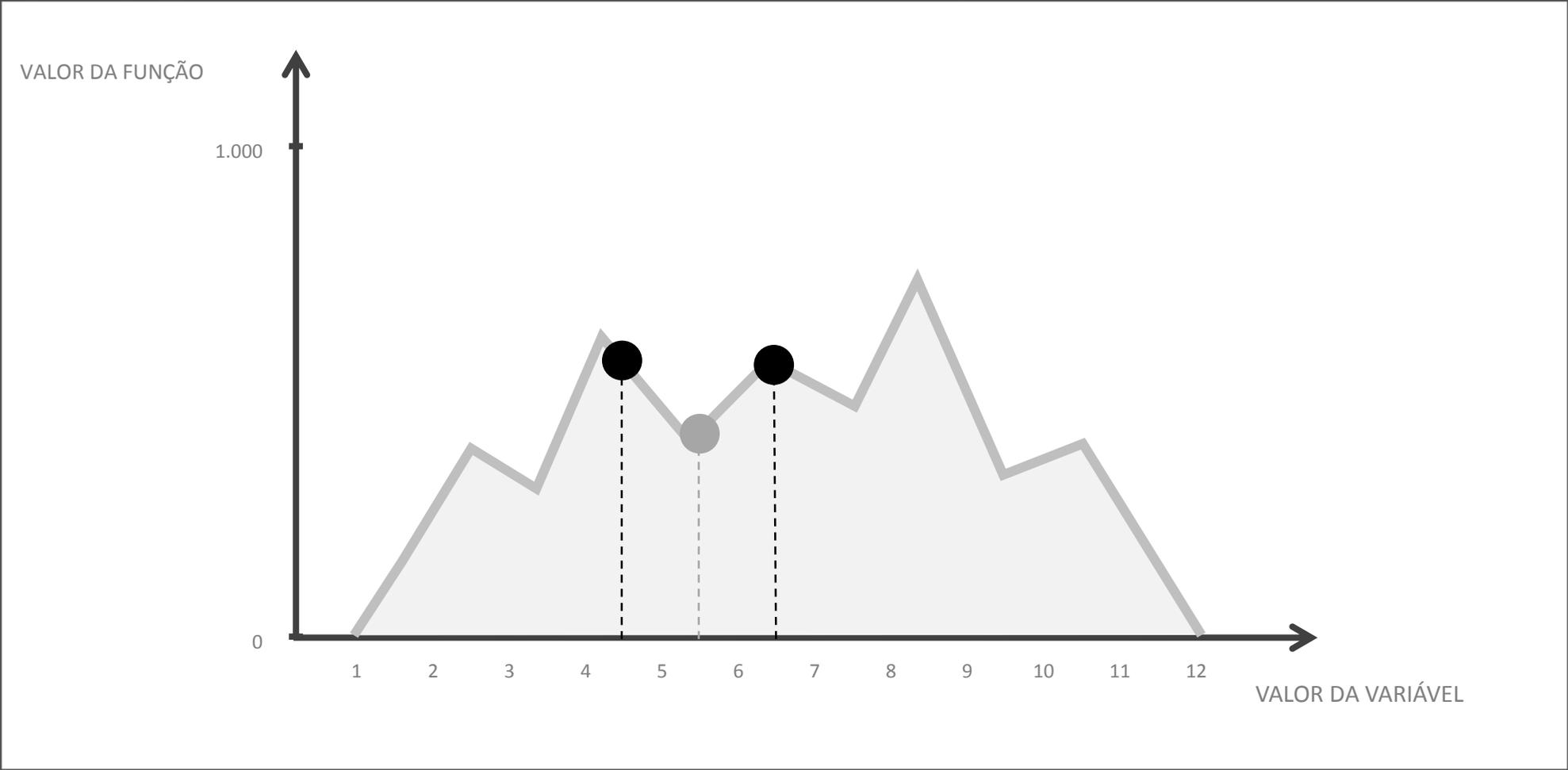
Heurística: a heurística é uma técnica de pensamento e comportamento praticamente automática nos humanos, que agem de modo intuitivo e inconsciente para achar prováveis respostas para aquilo que procuram



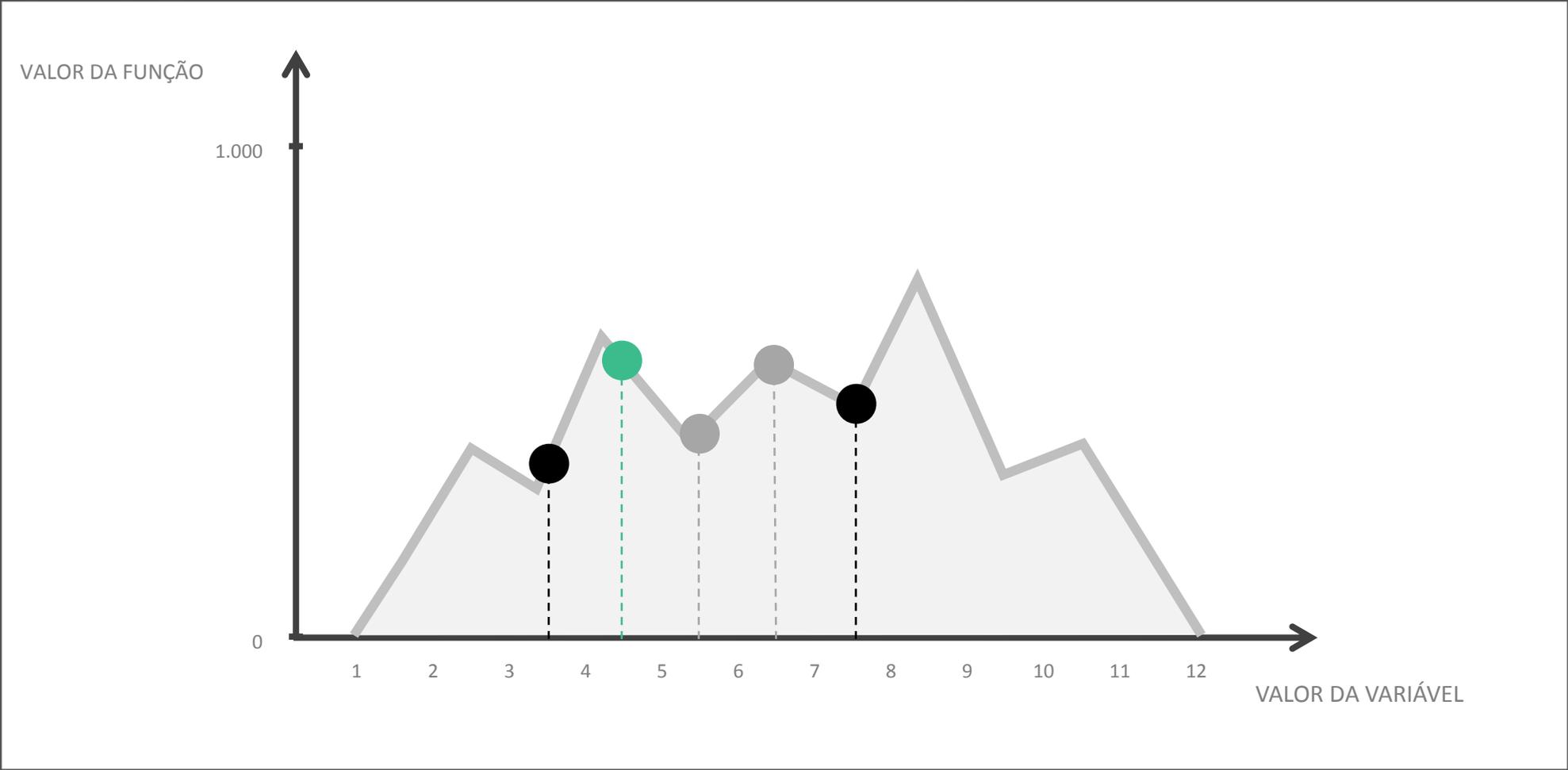
Heurística: a heurística é uma técnica de pensamento e comportamento praticamente automática nos humanos, que agem de modo intuitivo e inconsciente para achar prováveis respostas para aquilo que procuram



Heurística: a heurística é uma técnica de pensamento e comportamento praticamente automática nos humanos, que agem de modo intuitivo e inconsciente para achar prováveis respostas para aquilo que procuram



Heurística: a heurística é uma técnica de pensamento e comportamento praticamente automática nos humanos, que agem de modo intuitivo e inconsciente para achar prováveis respostas para aquilo que procuram

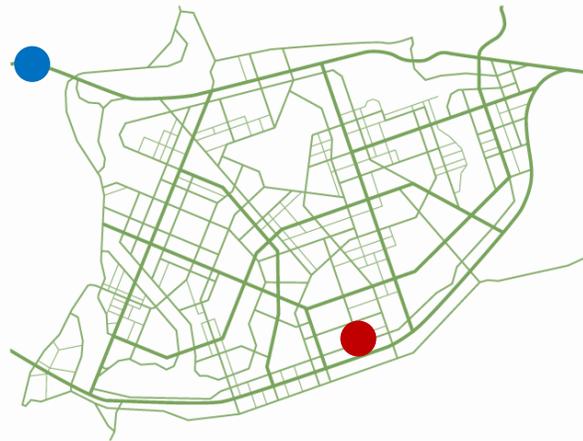




Qual é o menor caminho partindo do ponto azul até ponto vermelho, considerando a malha viária?

Algoritmo Exaustivo

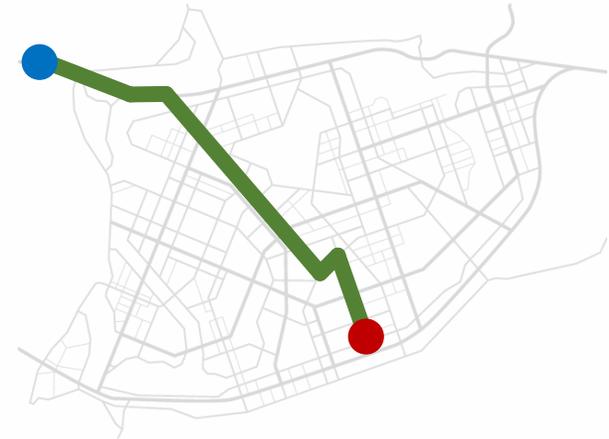
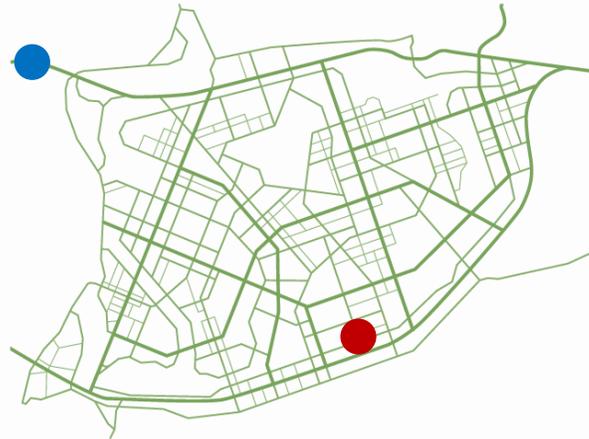
Mapear todas as
possíveis soluções



Algoritmo Exaustivo

Mapear todas as
possíveis soluções

Escolher solução com
mínima distância



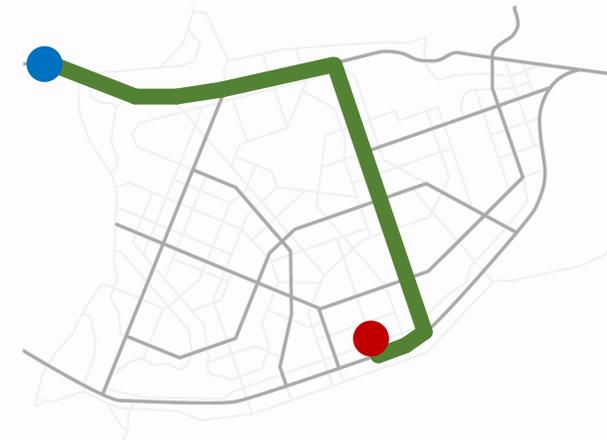
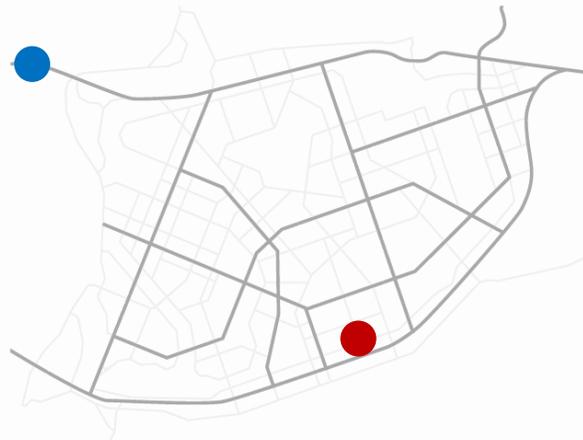
Algoritmo Heurístico

Considerar apenas as
avenidas



Considerar apenas as
avenidas

Escolher solução com
mínima distância



Exemplos de heurísticas na literatura:
algoritmo de Dijkstra, A* search, Bellman-Ford, entre outros.

Otimização: estudo de problemas em que se busca minimizar ou maximizar uma função através da escolha sistemática dos valores de variáveis reais ou inteiras dentro de um conjunto viável.



ROUTEASY



intelipost
Tecnologia para Logística



AGENDA

1

OTIMIZAÇÃO

2

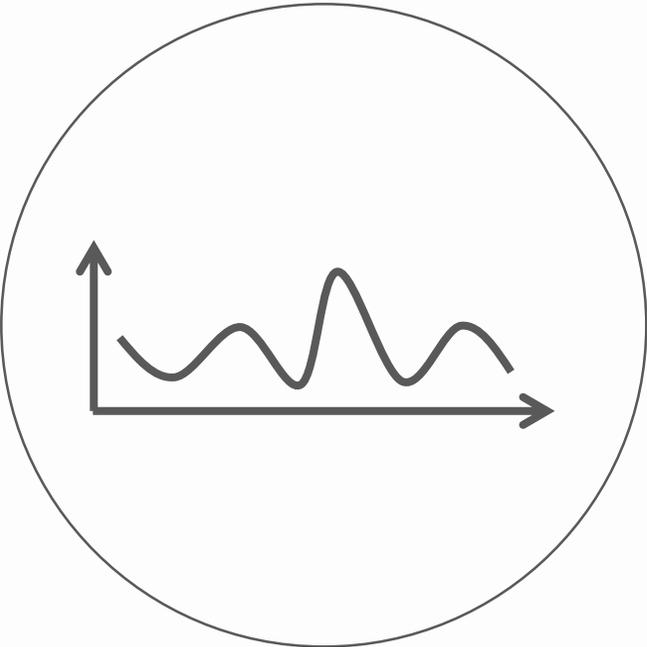
ALGORITMOS

3

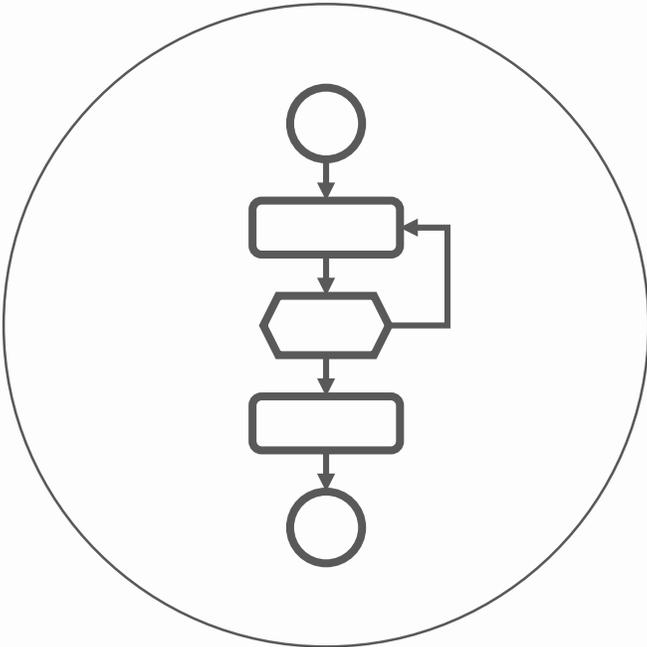
METAHEURÍSTICAS



PROBLEMA



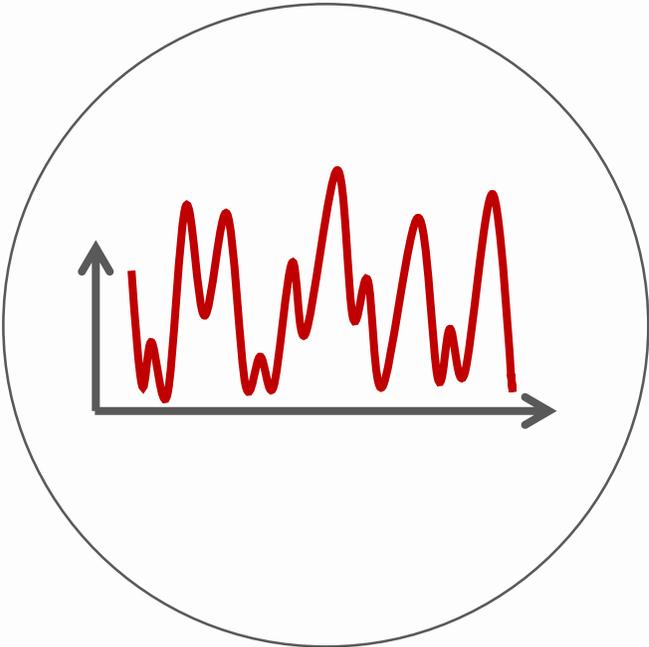
ALGORITMO



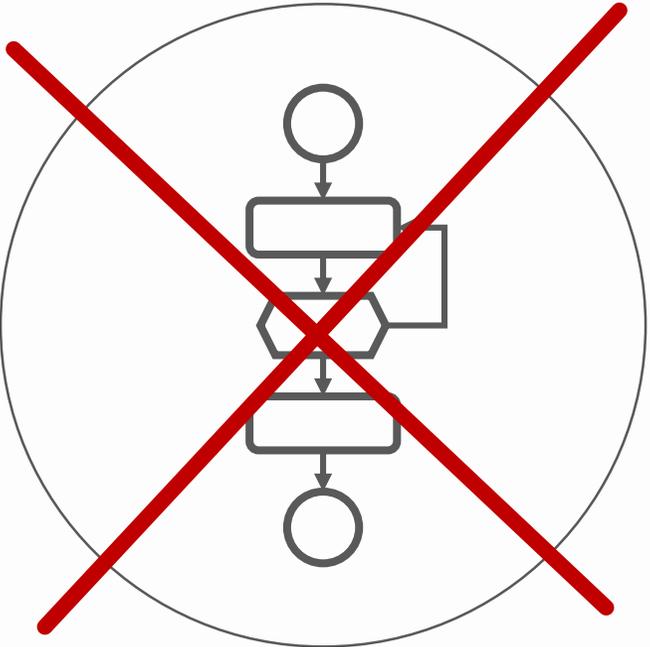
SOLUÇÃO



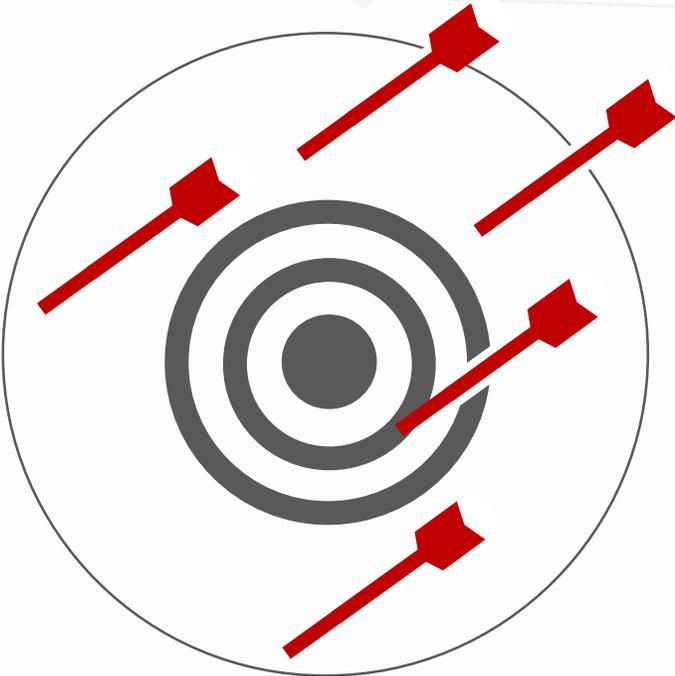
PROBLEMA



ALGORITMO



SOLUÇÃO



METAHEURÍSTICAS

Métodos heurísticos que resolvem de forma genérica problemas de otimização combinatorial, **onde não se conhece algoritmo eficiente**



Busca Local versus Busca Global

Simulated Annealing



Inteligência de Enxame

Colônia de Formigas



Algoritmos Evolutivos

Algoritmo Genético

Aplicações

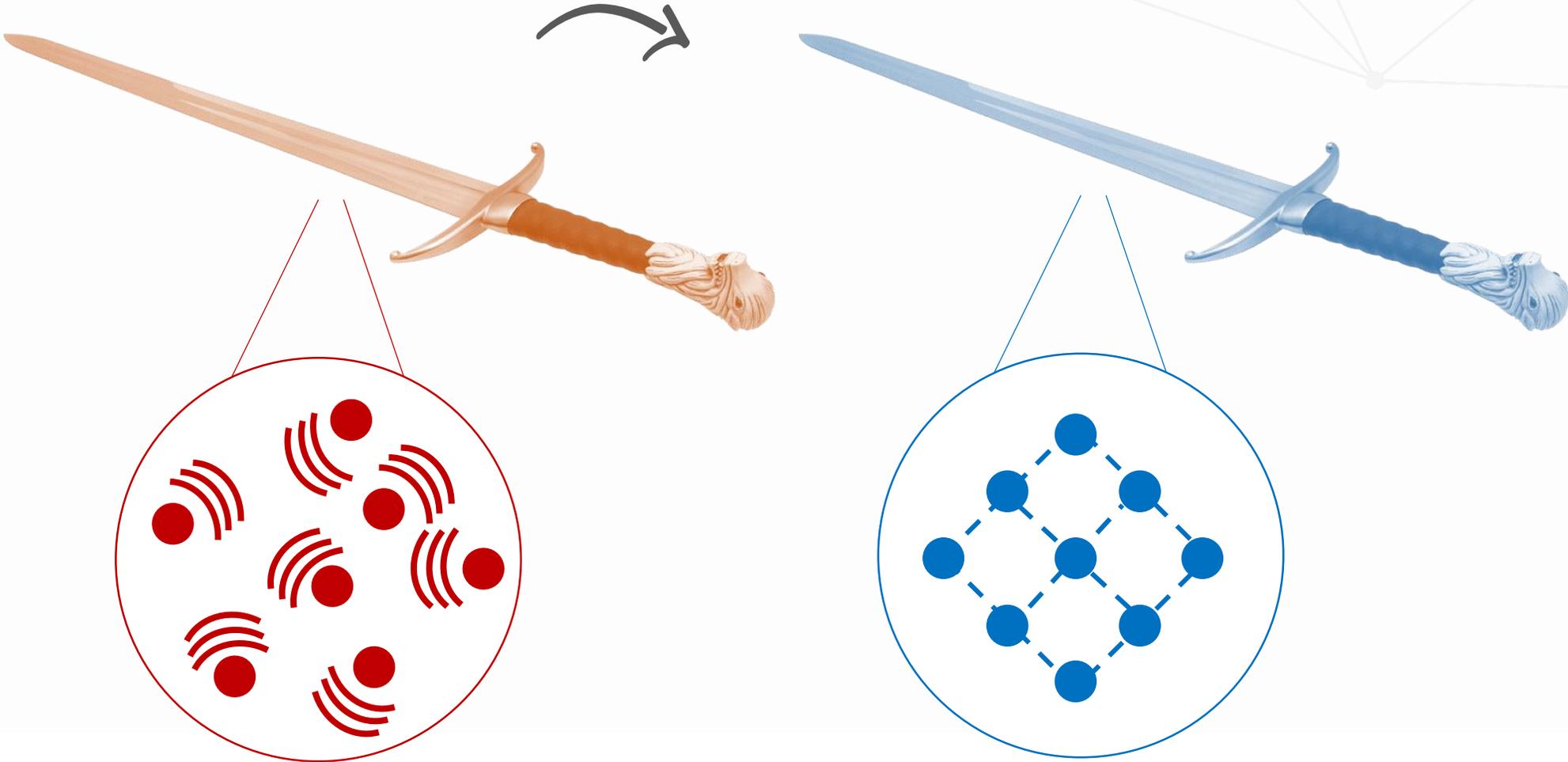
- ✓ Caixeiro viajante
- ✓ Programação de atividades
- ✓ Roteirização de veículos
- ✓ Agrupamentos (clustering)
- ✓ Localização de Instalações
- ✓ Processamento de imagens
- ✓ Impressão de circuitos
- ✓ Entre outros

Simulated Annealing: é uma metáfora de um processo térmico, dito annealing ou recozimento, utilizado em metalurgia para obtenção de estados de baixa energia de um sólido

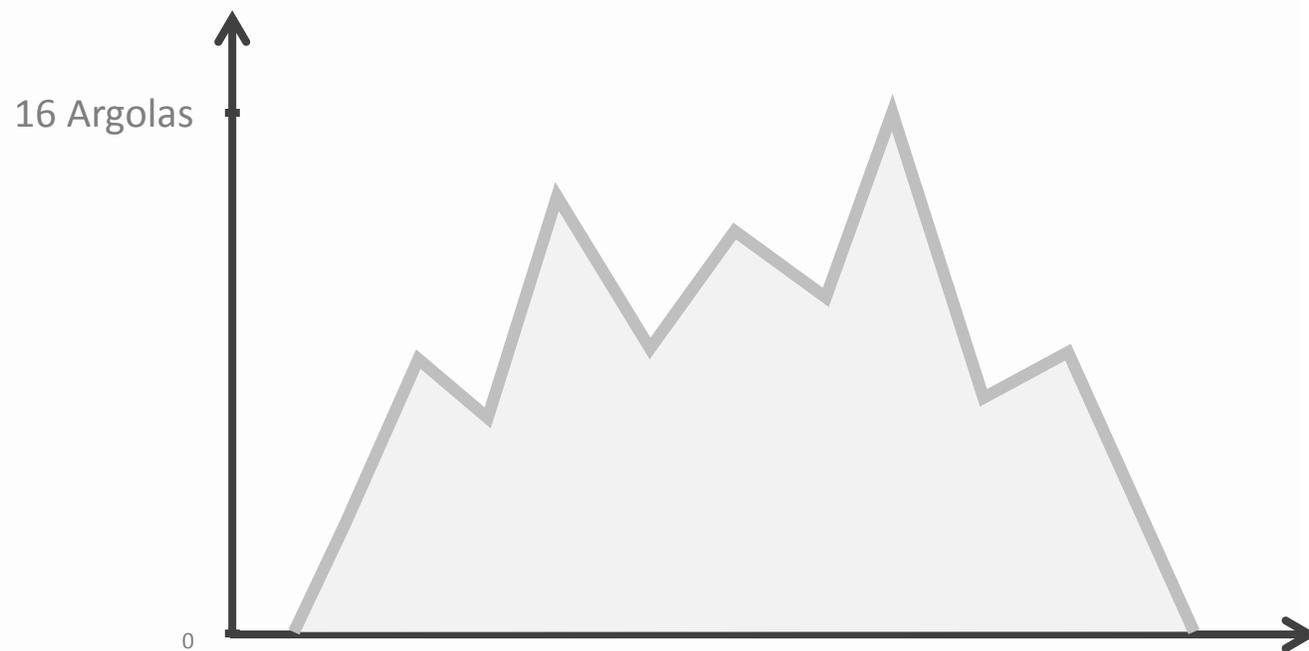


Simulated Annealing: é uma metáfora de um processo térmico, dito annealing ou recozimento, utilizado em metalurgia para obtenção de estados de baixa energia num sólido

RESFRIAMENTO



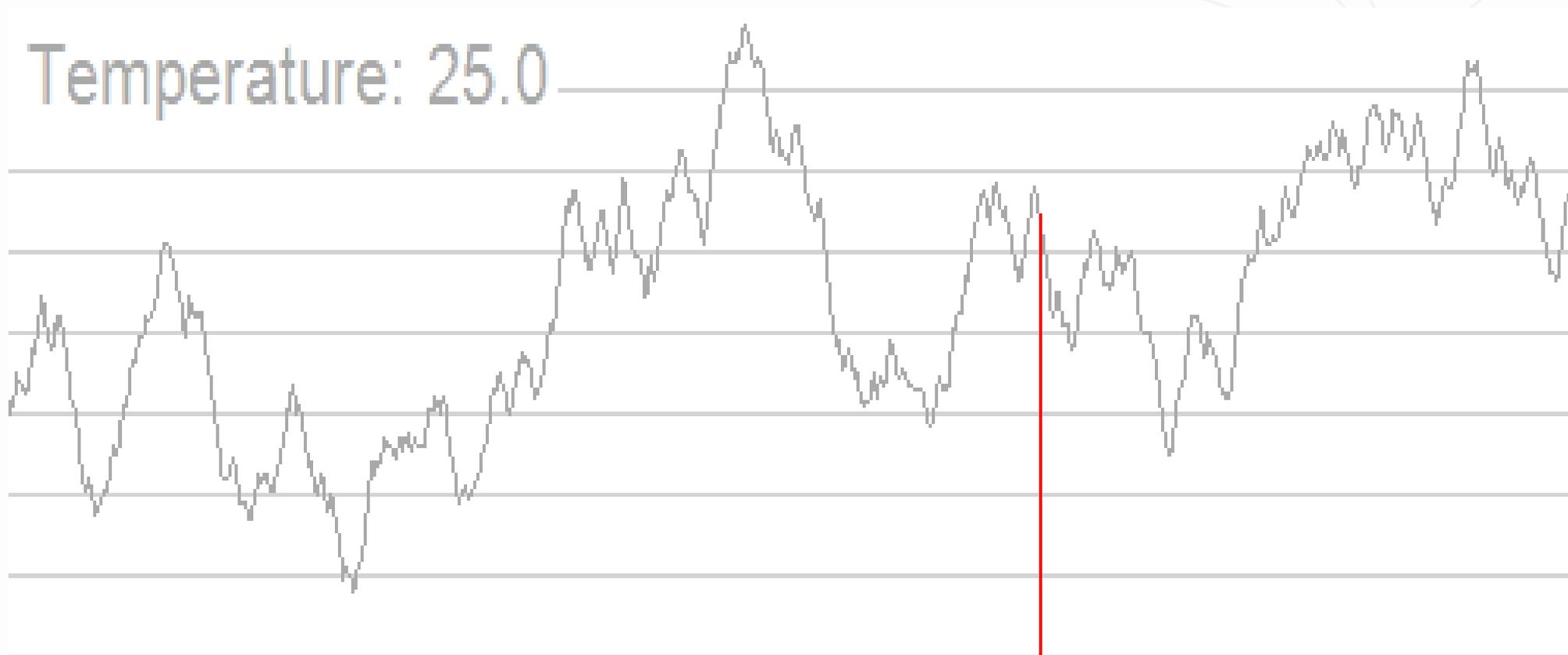
Simulated Annealing: é uma metáfora de um processo térmico, dito annealing ou recozimento, utilizado em metalurgia para obtenção de estados de baixa energia num sólido



Botões: quantidade, força e tempo



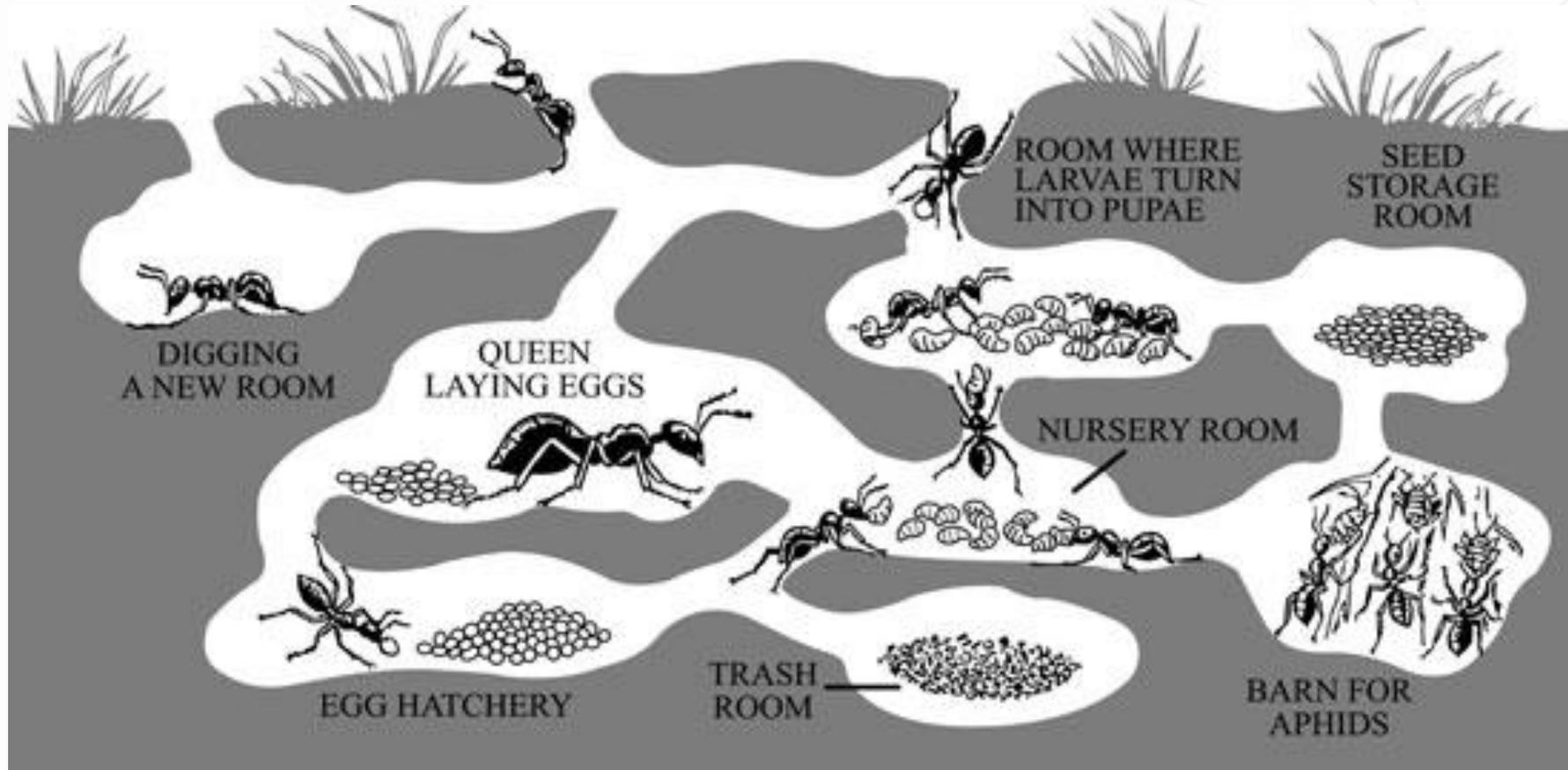
Simulated Annealing: é uma metáfora de um processo térmico, dito annealing ou recozimento, utilizado em metalurgia para obtenção de estados de baixa energia num sólido





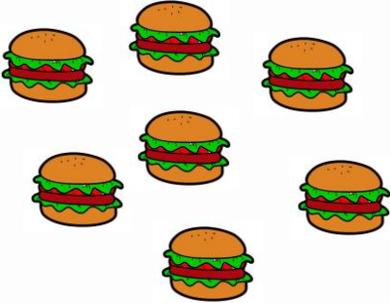
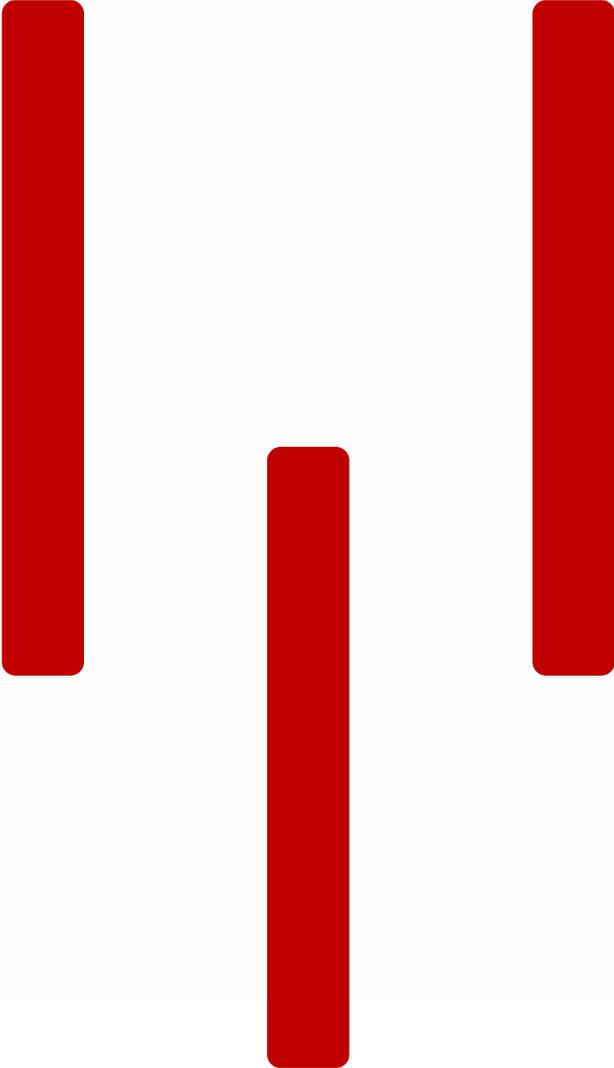
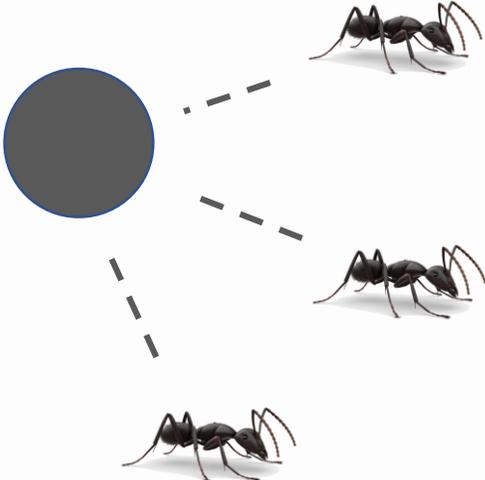
Inteligência de Enxame: disciplina da área de inteligência artificial inspirada na biologia que trata de sistemas compostos por indivíduos auto organizados e com comportamento coletivo comum

Inteligência de Enxame: disciplina da área de inteligência artificial inspirada na biologia que trata de sistemas compostos por indivíduos auto organizados e com comportamento coletivo comum

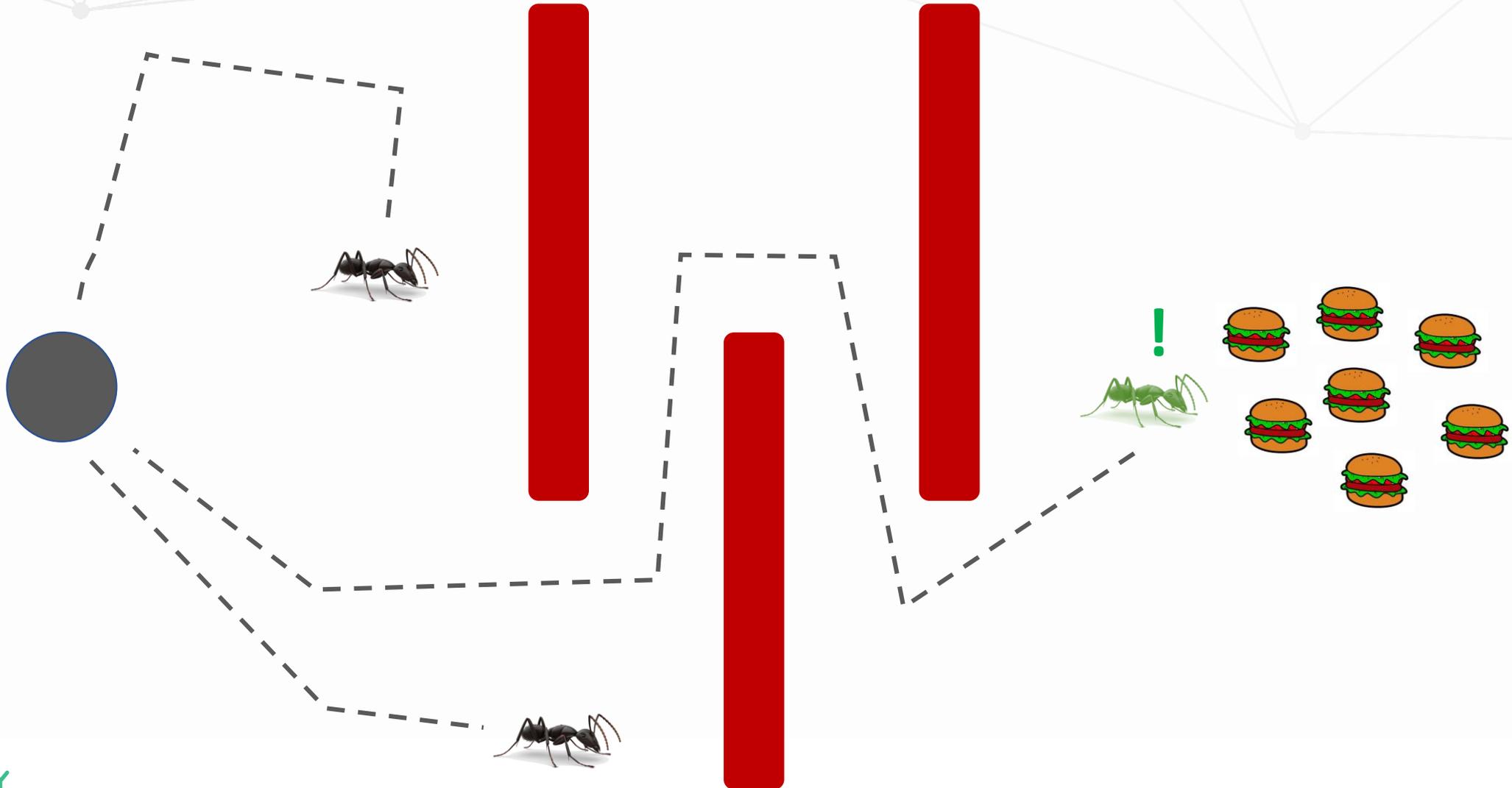


Inteligência de Enxame: disciplina da área de inteligência artificial inspirada na biologia que trata de sistemas compostos por indivíduos auto organizados e com comportamento coletivo comum

COLÔNIA DE FORMIGAS

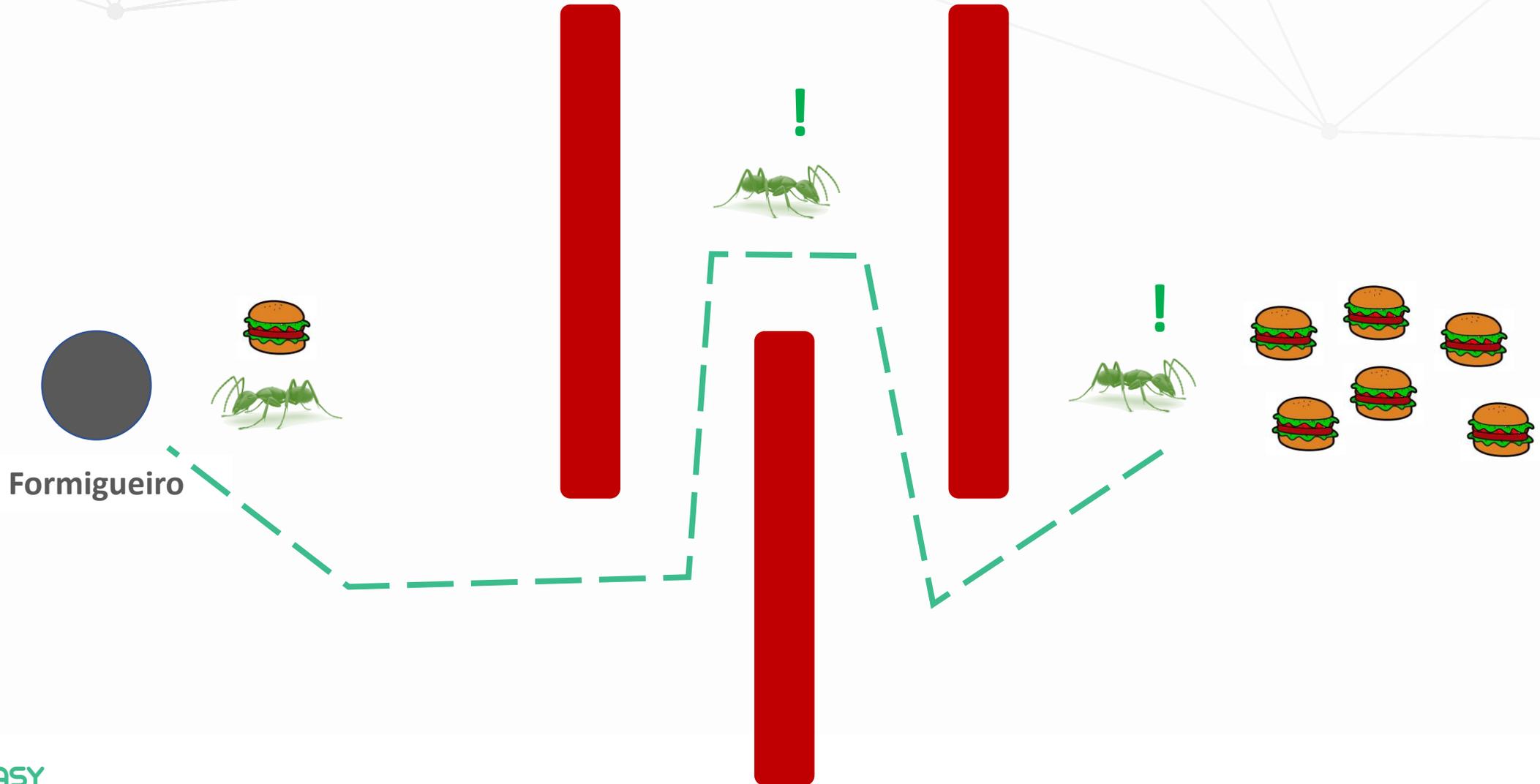


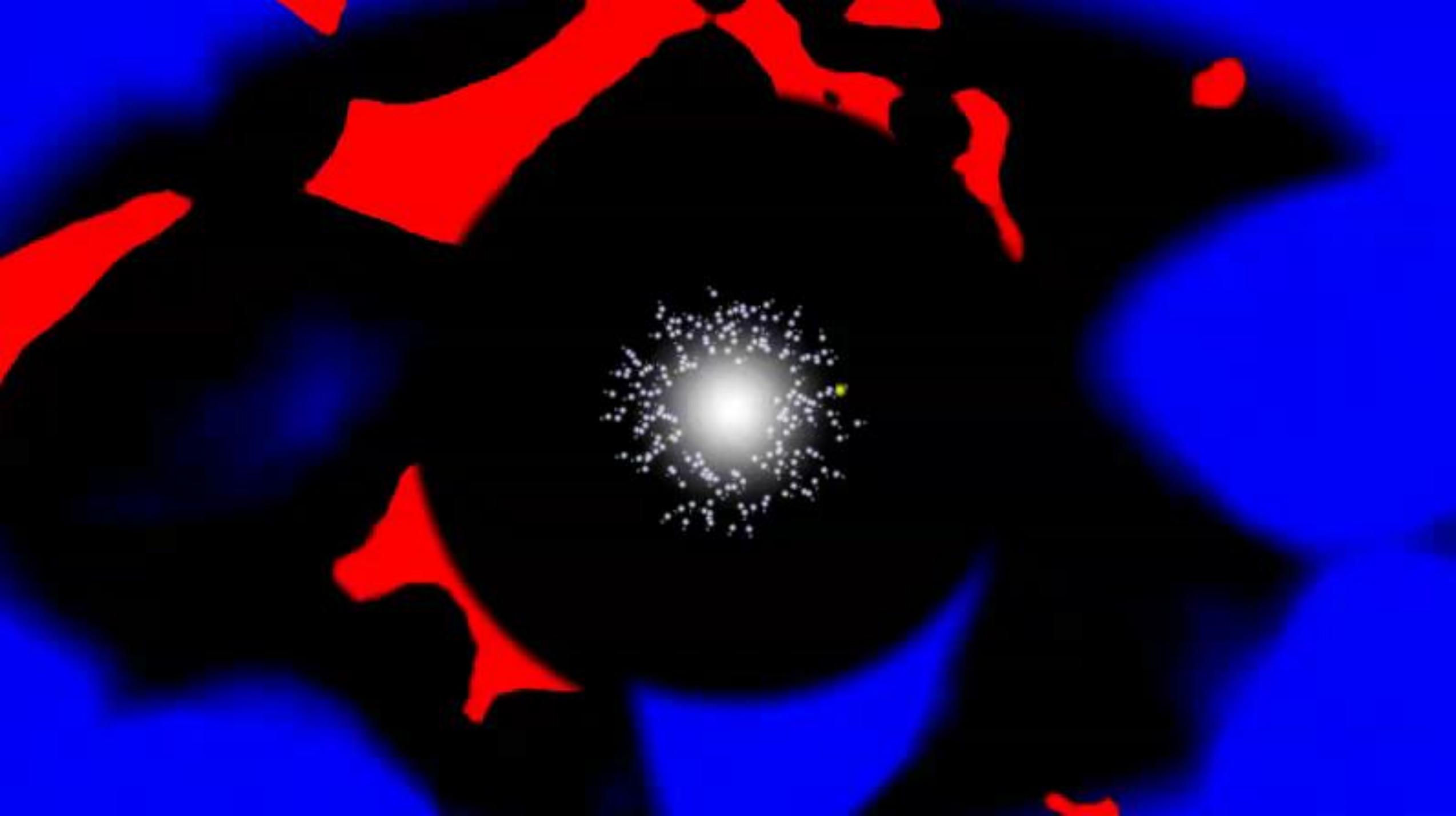
COLÔNIA DE FORMIGAS



Inteligência de Enxame: disciplina da área de inteligência artificial inspirada na biologia que trata de sistemas compostos por indivíduos auto organizados e com comportamento coletivo comum

COLÔNIA DE FORMIGAS







Algoritmo Genético: inspirados na biologia evolutiva, são algoritmos de otimização global, baseados nos mecanismos de seleção natural e genética.

Como resolvemos o problema de sobrevivência na Terra?



Algoritmo Genético: inspirados na biologia evolutiva, são algoritmos de otimização global, baseados nos mecanismos de seleção natural e genética.

1. Como podemos codificar os traços físicos?

DNA

2. De onde esses organismos vieram?

Reprodução

3. Por que alguns são extintos?

Adaptação

Algoritmo Genético: inspirados na biologia evolutiva, são algoritmos de otimização global, baseados nos mecanismos de seleção natural e genética.

1. Como podemos codificar os traços físicos?

DNA

BINÁRIO: 10101010100010110101010

REAL: 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

2. De onde esses organismos vieram?

Reprodução

3. Por que alguns são extintos?

Adaptação

Algoritmo Genético: inspirados na biologia evolutiva, são algoritmos de otimização global, baseados nos mecanismos de seleção natural e genética.

1. Como podemos codificar os traços físicos?

DNA

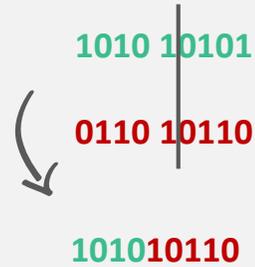
BINÁRIO: 101010101000101110101010

REAL: 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

2. De onde esses organismos vieram?

Reprodução

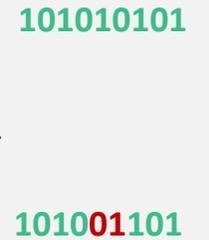
CROSSOVER:



1010 10101
0110 10110
101010110

The diagram shows two parent binary strings: 1010 10101 (top) and 0110 10110 (middle). A vertical line is drawn between the 5th and 6th bits. A curved arrow points from the 6th bit of the top string to the 6th bit of the bottom string, and another curved arrow points from the 6th bit of the middle string to the 6th bit of the top string. The resulting offspring string is 101010110, where the segment after the crossover point is swapped between the two strings.

MUTAÇÃO:



101010101
101001101

The diagram shows a parent binary string 101010101 (top) and a mutated offspring string 101001101 (bottom). A curved arrow points from the 6th bit of the parent string to the 6th bit of the offspring string, indicating a bit flip.

3. Por que alguns são extintos?

Adaptação

Algoritmo Genético: inspirados na biologia evolutiva, são algoritmos de otimização global, baseados nos mecanismos de seleção natural e genética.

1. Como podemos codificar os traços físicos?

DNA

BINÁRIO: 101010101000101110101010

REAL: 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

2. De onde esses organismos vieram?

Reprodução

CROSSOVER:

1010 10101
0110 10110
101010110

MUTAÇÃO:

101010101
101001101

3. Por que alguns são extintos?

Adaptação

FITNESS:

101010101



!00 km

Algoritmo Genético: inspirados na biologia evolutiva, são algoritmos de otimização global, baseados nos mecanismos de seleção natural e genética.

População Inicial

Algoritmo Genético: inspirados na biologia evolutiva, são algoritmos de otimização global, baseados nos mecanismos de seleção natural e genética.

FITNESS

População Inicial

Avaliação

Algoritmo Genético: inspirados na biologia evolutiva, são algoritmos de otimização global, baseados nos mecanismos de seleção natural e genética.

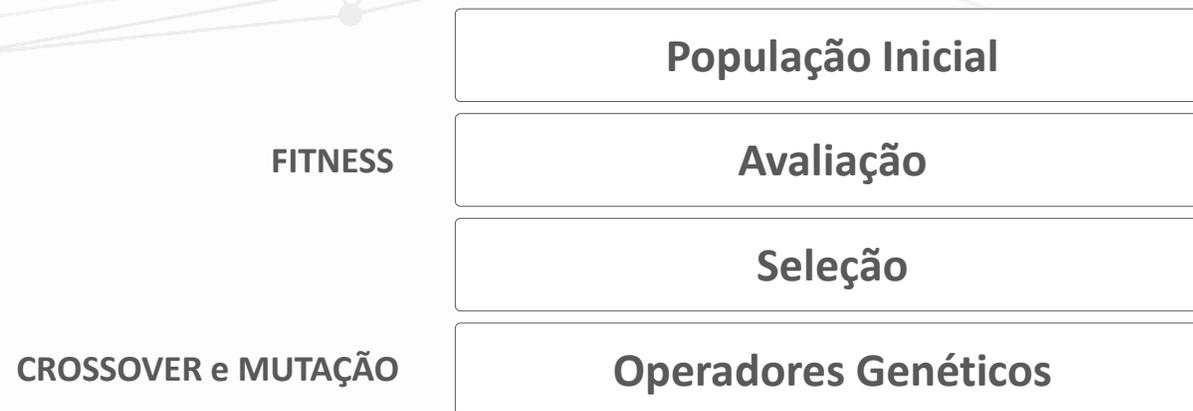
FITNESS

População Inicial

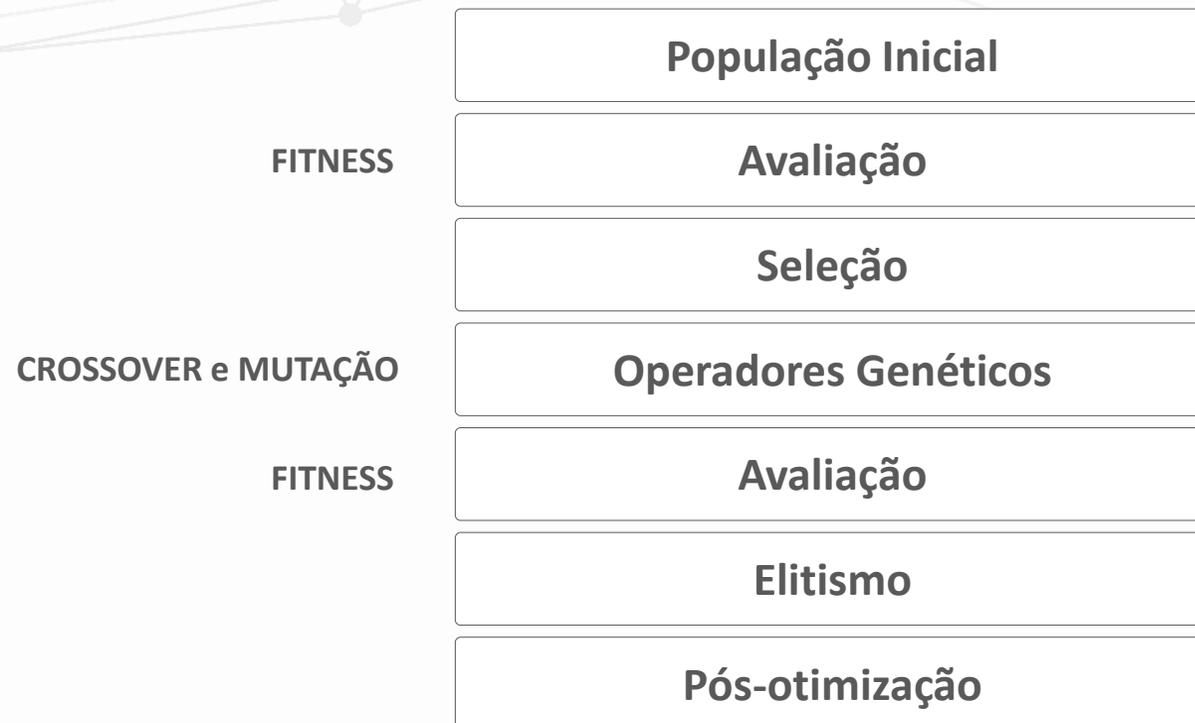
Avaliação

Seleção

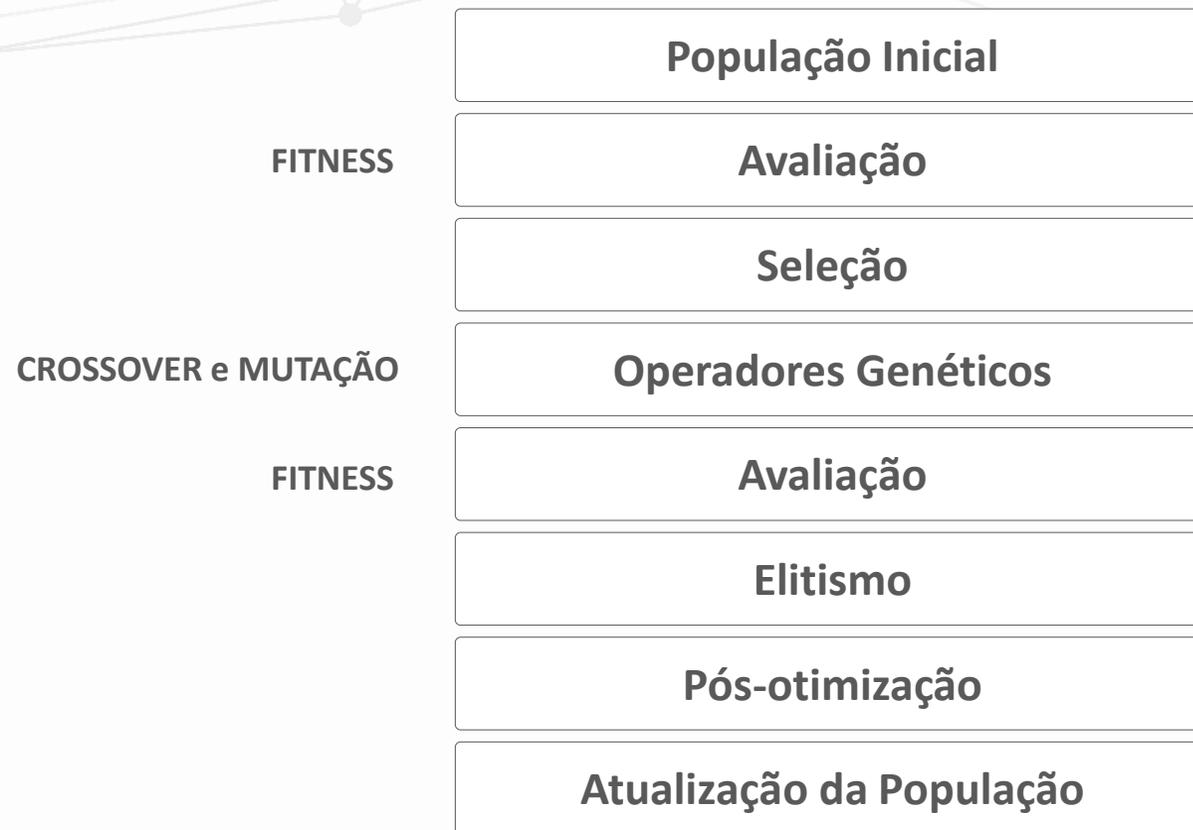
Algoritmo Genético: inspirados na biologia evolutiva, são algoritmos de otimização global, baseados nos mecanismos de seleção natural e genética.



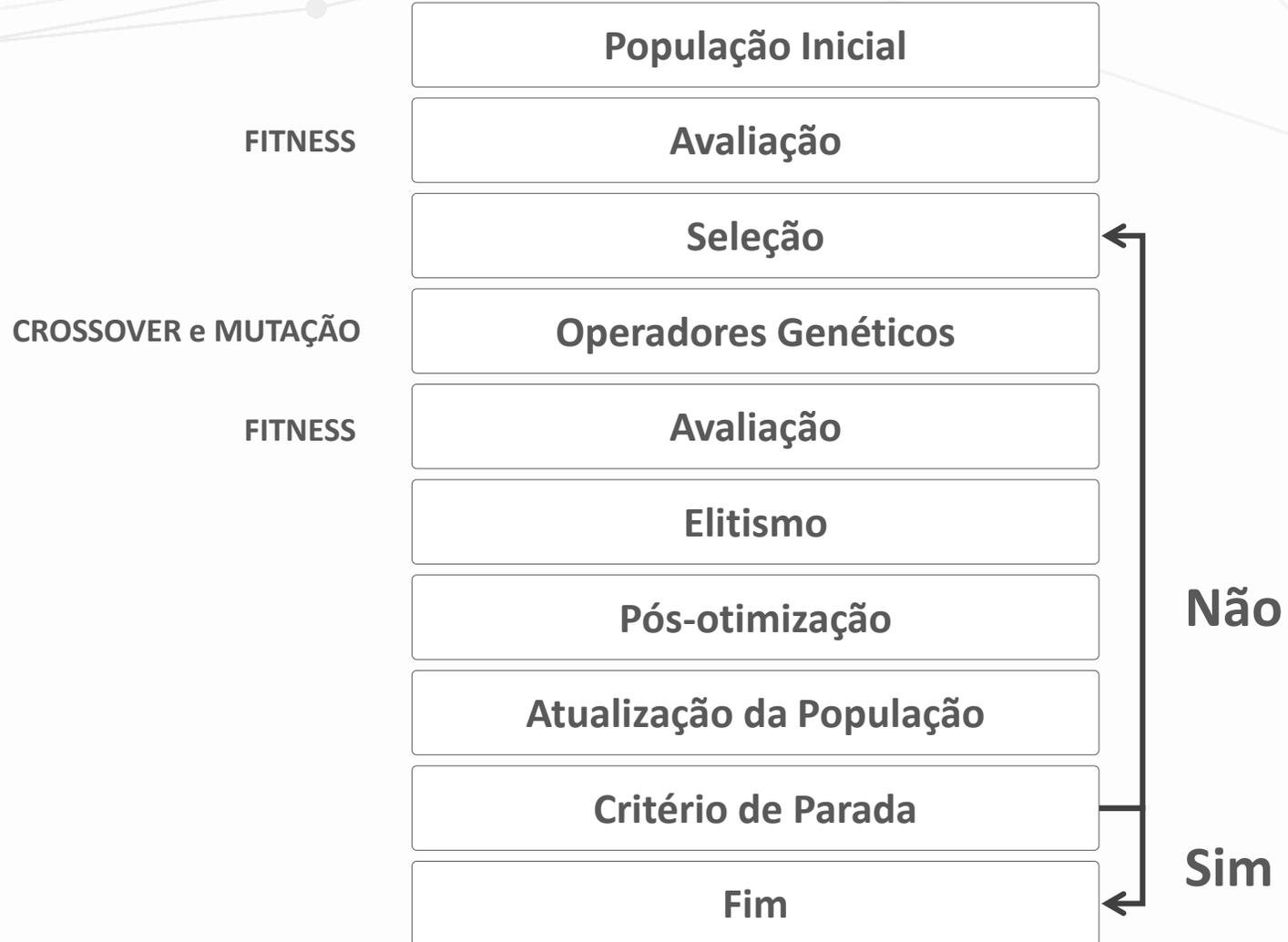
Algoritmo Genético: inspirados na biologia evolutiva, são algoritmos de otimização global, baseados nos mecanismos de seleção natural e genética.



Algoritmo Genético: inspirados na biologia evolutiva, são algoritmos de otimização global, baseados nos mecanismos de seleção natural e genética.



Algoritmo Genético: inspirados na biologia evolutiva, são algoritmos de otimização global, baseados nos mecanismos de seleção natural e genética.

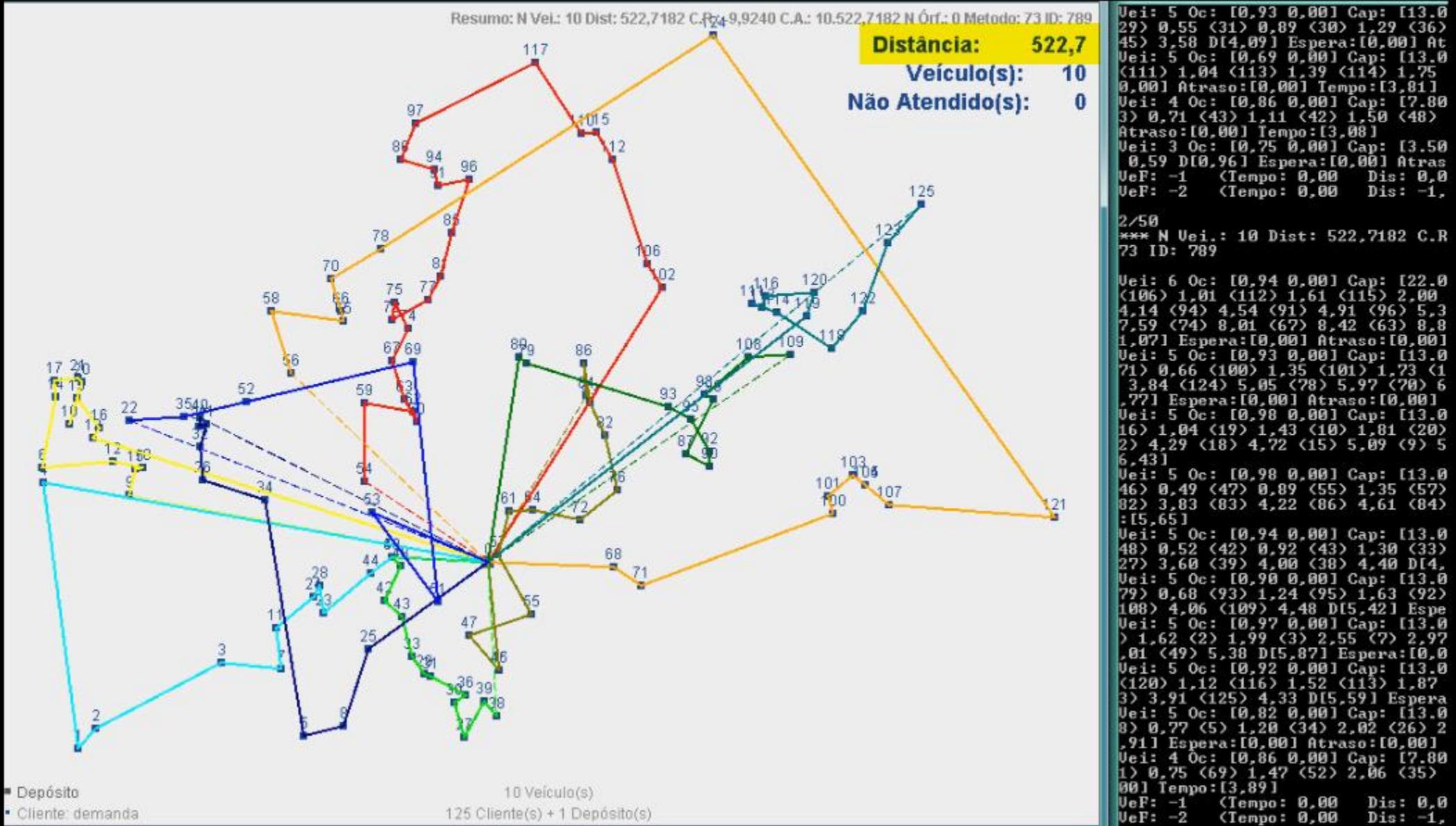


Nosso algoritmo buscando a melhor solução de rotas.
 Imagens do meu computador pessoal. Inteligência Artificial aplicada =)



Objetivo: reduzir a distância total

Consideramos distância viária. Essa é visualização é de desenvolvedor.





MOBILITY DAY 2018

OBRIGADO!

CAIO REINA

Founder/CEO da RoutEasy

caio.reina@routeasy.com.br