



# Tópicos Especiais em Otimização

## Otimização por Colônia de Formigas

Ivo Chaves da Silva Junior

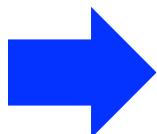
[ivo.junior@ufjf.edu.br](mailto:ivo.junior@ufjf.edu.br)

Juiz de Fora, 03 de Abril de 2017

# *Introdução*

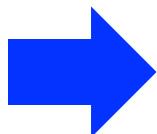


Qual a diferença entre inteligência:  
**ARTIFICIAL E COMPUTACIONAL?**



## **ARTIFICIAL:**

É a ciência que tenta compreender e **emular a inteligência humana**.



## **COMPUTACIONAL:**

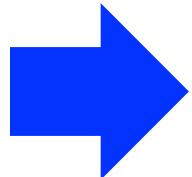
É a ciência que procura desenvolver sistemas que tenham comportamento similares a certos **aspectos do comportamento inteligente**.

# *Introdução*

**FOCO**



**INTELIGÊNCIA  
COMPUTACIONAL**



**QUAL A GRANDE FONTE  
INSPIRADORA**

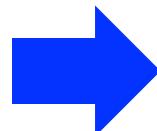


**NATUREZA**

**OBSERVAÇÃO COMPORTAMENTAL**

# *Introdução*

**NATUREZA**  
FONTE DE IDÉIAS E OBSERVAÇÕES

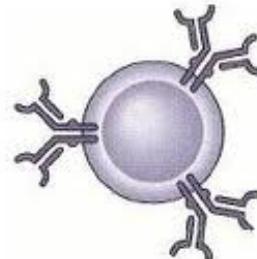


**COMPUTAÇÃO BIOINSPIRADA**

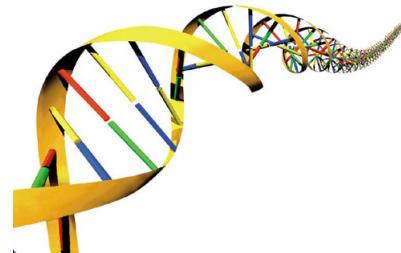


**Colônia de Formigas**

**Sistemas Imunológicos**

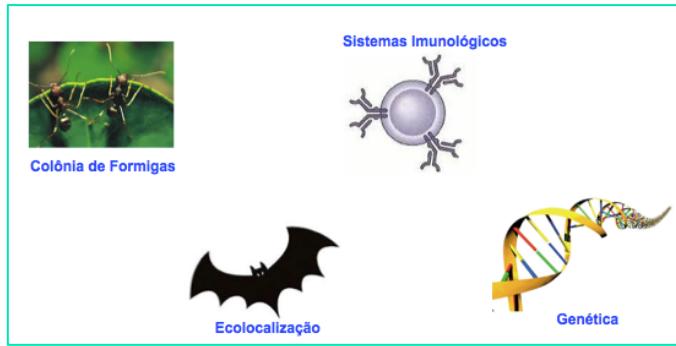


**Ecolocalização**

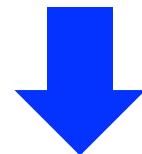


**Genética**

# *Introdução*



**ALGORITMOS BIOINSPIRADOS**  
**(Inteligência Computacional)**



**Resolução de Problemas INTRATÁVEIS**



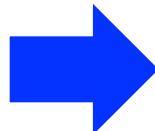
- **(Problemas com tempos de resolução inaceitáveis)**
- **(Problemas multimodais de grande porte)**

# *Introdução*

## Problemas INTRATÁVEIS



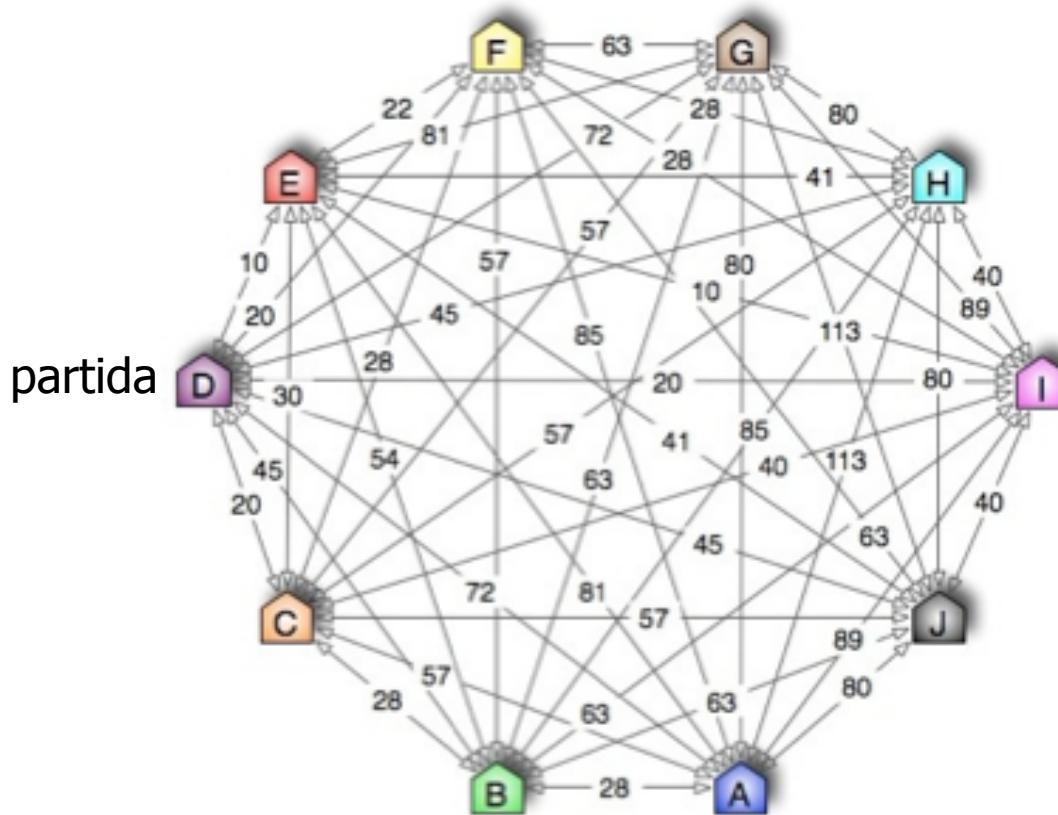
**Tempo de execução é da ordem de uma função exponencial ou fatorial**



### **EXEMPLO 1: PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE**

- Suponha que um caixeiro viajante tenha de visitar  $n$  cidades diferentes, iniciando e encerrando sua viagem na cidade de origem.
- Suponha, também, que não importa a ordem com que as cidades são visitadas e que de cada uma delas pode-se ir diretamente a qualquer outra.
- O problema do caixeiro viajante consiste em descobrir a rota que torna mínima o tempo de viagem total.

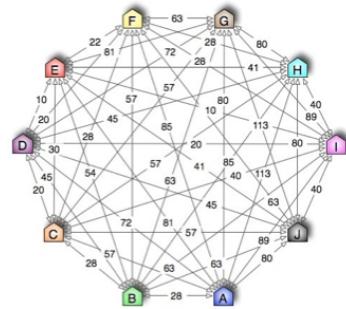
# Introdução



**ILUSTRAÇÃO DO PROBLEMA: CAIXEIRO VIAJANTE**

# Introdução

**RESOLUÇÃO DO CAIXEIRO VIAJANTE**  
(calcular todas as rotas e escolher a de menor tempo)

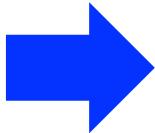


Testando 1 bilhão de soluções por segundo:

n		( n - 1 )!	cálculo total
5		24	insignific
10		362 880	0.003 seg
15		87 bilhoes	20 min
20		$1.2 \times 10^{17}$	73 anos
25		$6.2 \times 10^{23}$	470 milhões de anos

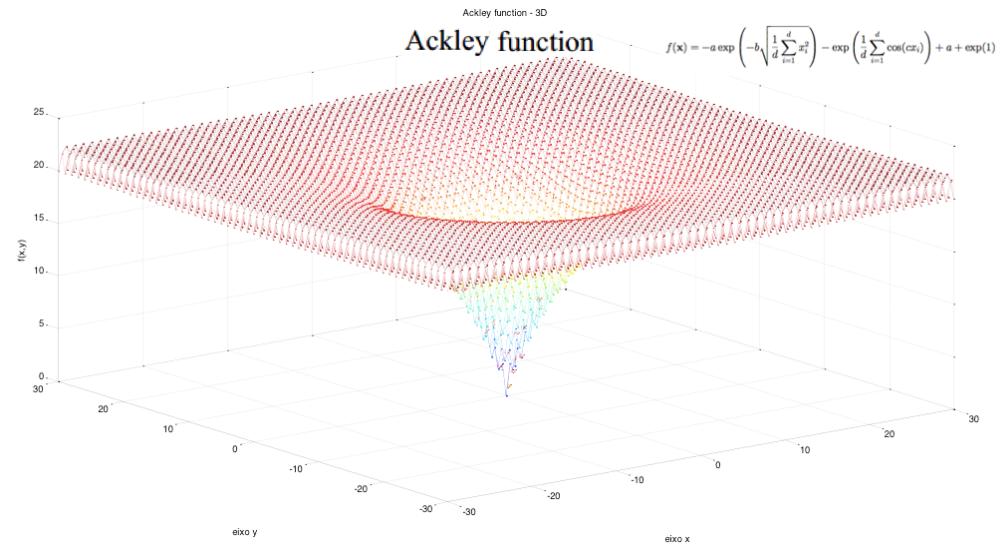
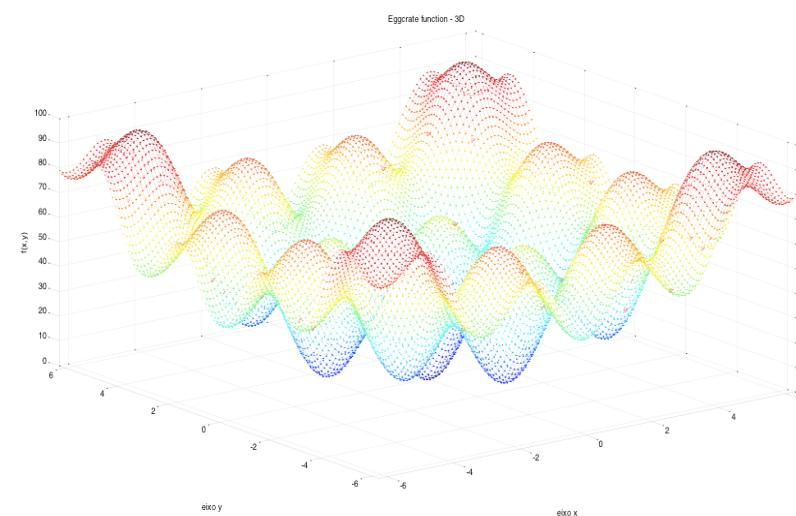


# Introdução



## EXEMPLO 2: PROBLEMA MULTIMODAL

$$\text{Max } F(x, y) = x^2 + y^2 + 25(\sin^2 x + \sin^2 y)$$

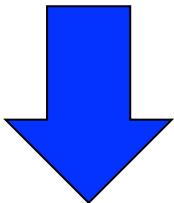




# Introdução

## Métodos Clássicos

- Programação Quadrática
- Pontos Interiores
- Gradiente Reduzido



**Fazem uso de derivadas  
(determinísticos)**

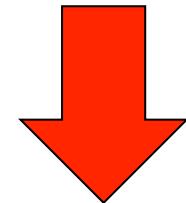
**Única solução**

**Forte dependência da solução inicial**

**Pouco esforço computacional**

## Métodos Bioinspirados

- Algoritmo Genético
- Enxame de Partículas



**Não fazem uso de derivadas  
(probabilísticos)**

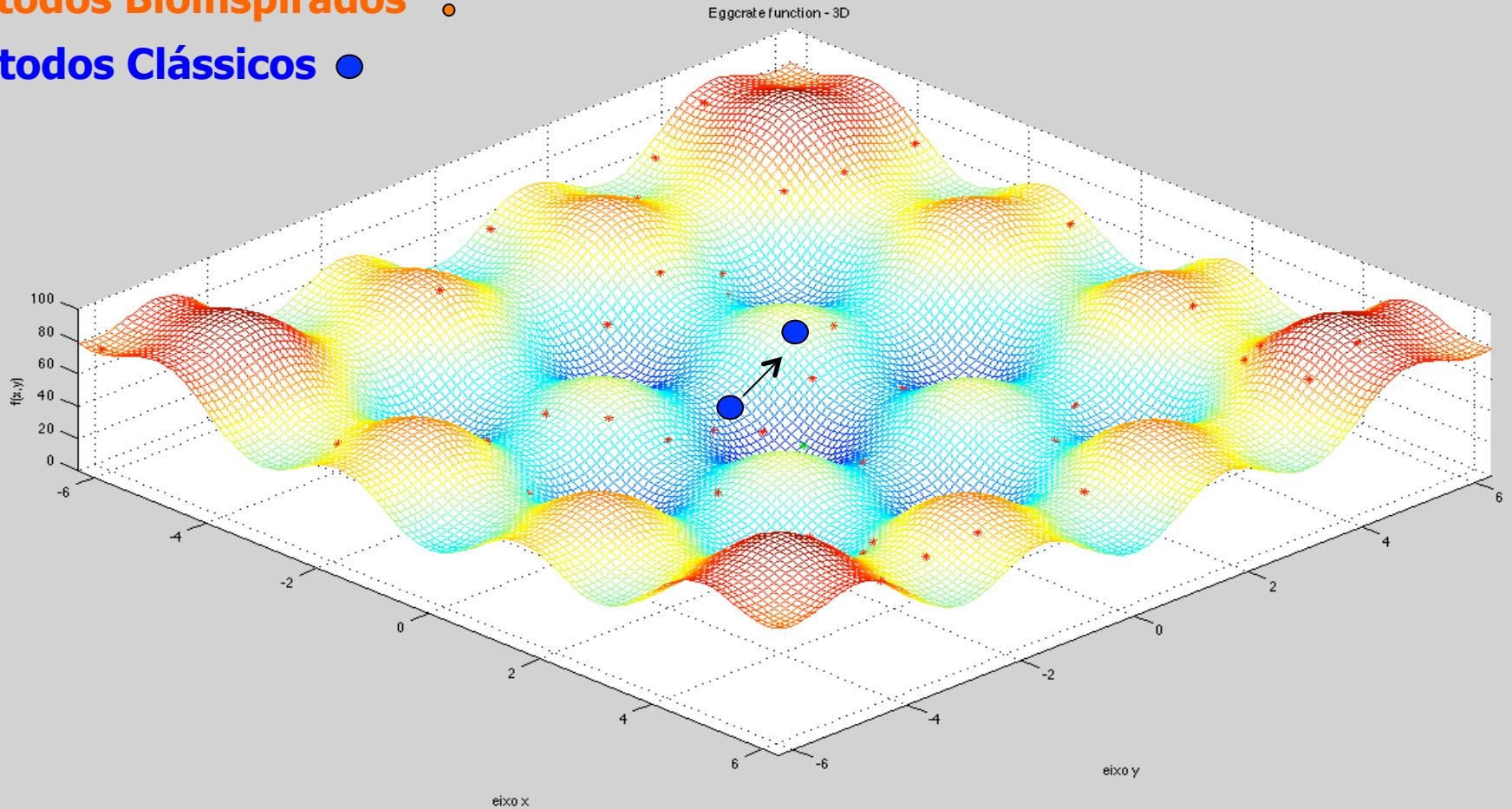
**Conjunto de soluções**

**Pouca dependência da solução inicial**

**Maior esforço computacional**

# Introdução

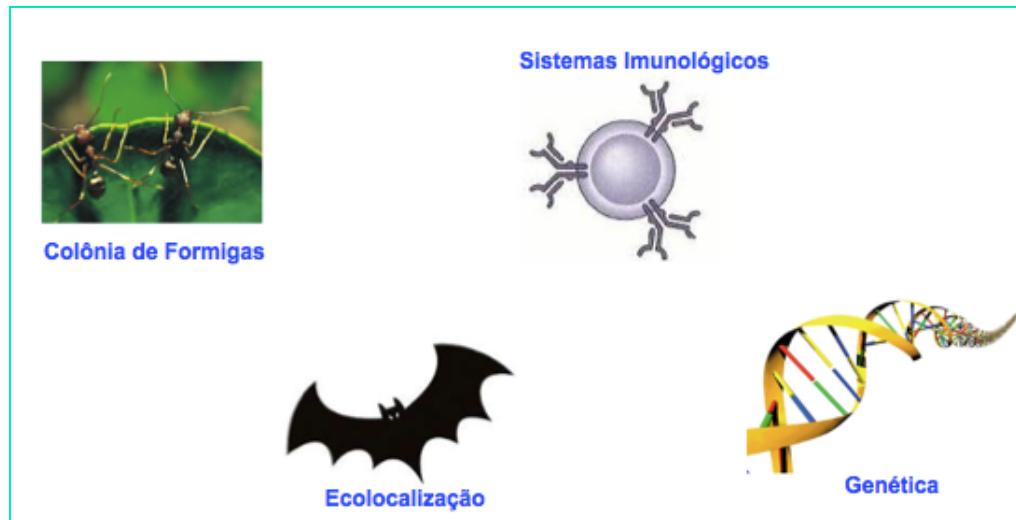
Métodos Bioinspirados •  
Métodos Clássicos •

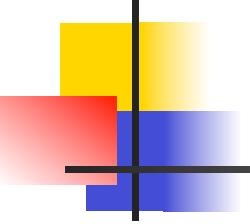


# *Introdução*

## **CONCLUSÃO:**

**Ao encontrar problemas intratáveis você deve optar uma técnica de busca por aproximação (Heurísticas/Metaheurística), tal como os processos de otimização baseados em inteligência computacional.**





# *Introdução*

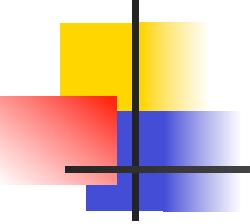
**Relembrando Definição:**

## **INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL:**

É a ciência que procura desenvolver sistemas que tenham comportamento similares a certos aspectos do comportamento inteligente.

**INTELIGÊNCIA  
COLETIVA**

# *Motivação: Inteligência Coletiva*



**INTELIGÊNCIA  
COLETIVA**

**DEFINIÇÕES:**

- A inteligência coletiva é um conceito que descreve um tipo de **inteligência compartilhada** que surge da **colaboração** de muitos indivíduos em suas diversidades.
- É uma **inteligência distribuída** por toda parte, na qual todo o saber está no coletivo, já que, ninguém sabe tudo, porém todos sabem alguma coisa.

# *Exemplos de Inteligência Coletiva*

Organismo único (Defesa)



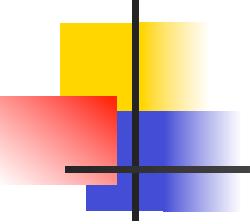
Cooperação (Objetivo comum)



**INTELIGÊNCIA  
COLETIVA**

# *Inteligência Coletiva*





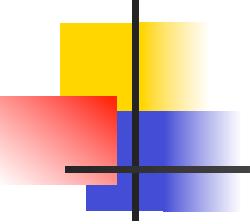
# *Inteligência Coletiva*

## DESAFIO 1:



$$\begin{aligned} F(X) &= 0 \\ -20 < X &< 20 \end{aligned}$$

$$X = ?$$



# *Inteligência Coletiva*

## DESAFIO 2:



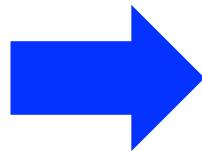
$$\begin{aligned} F(X) &= 0 \\ -20 < X &< 20 \\ X &=? \end{aligned}$$

Dicas das soluções :



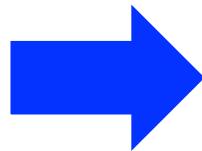
# *Inteligência Coletiva*

## DESAFIO 1:



- **Sem informações;**
- **Busca completamente aleatória;**
- **Otimalidade comprometida.**

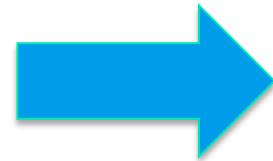
## DESAFIO 2:



- **Informação do coletivo;**
- **Busca Direcionada;**
- **Otimalidade possível.**

# *Colônia de Formigas*

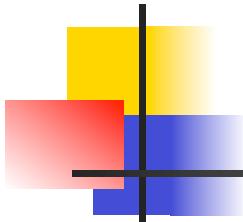
## **DESAFIO 2**



### **Busca por alimento**



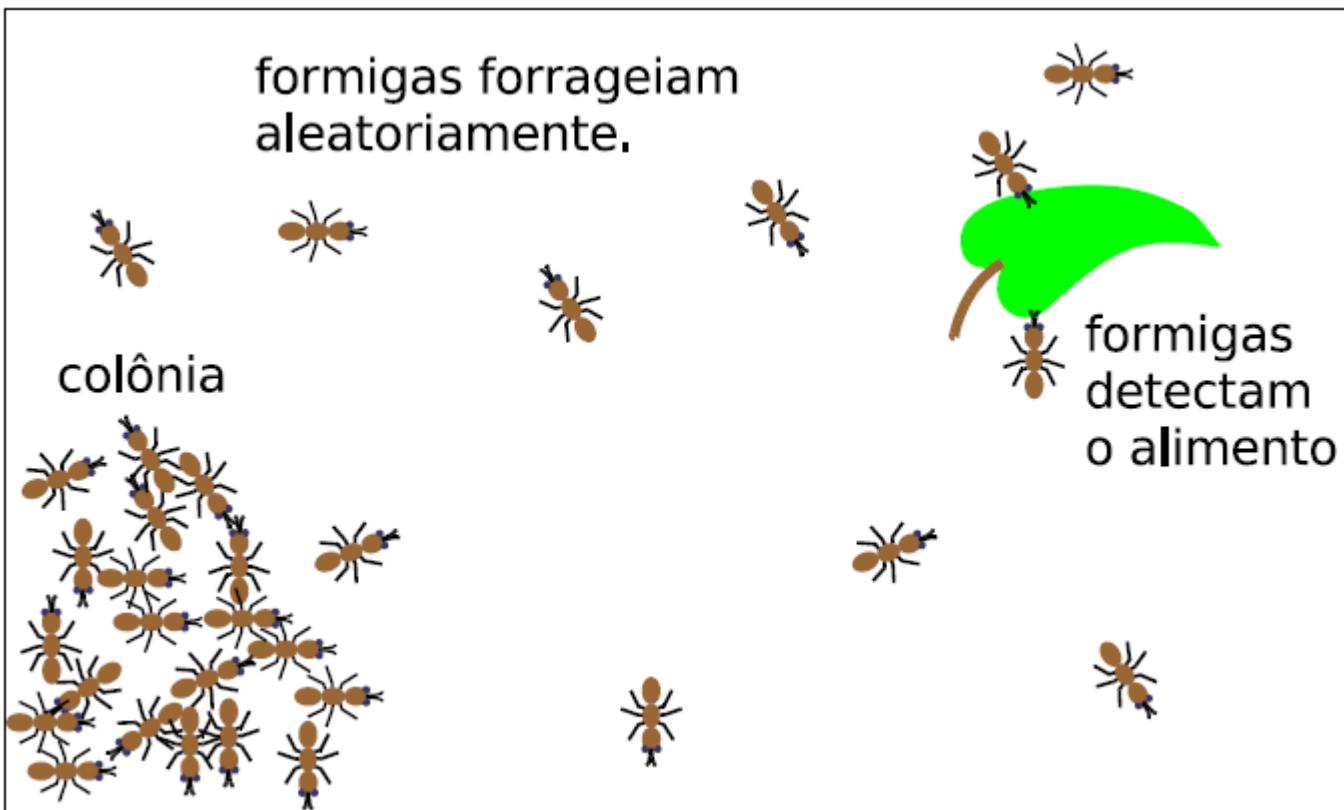
**INTELIGÊNCIA  
COLETIVA**



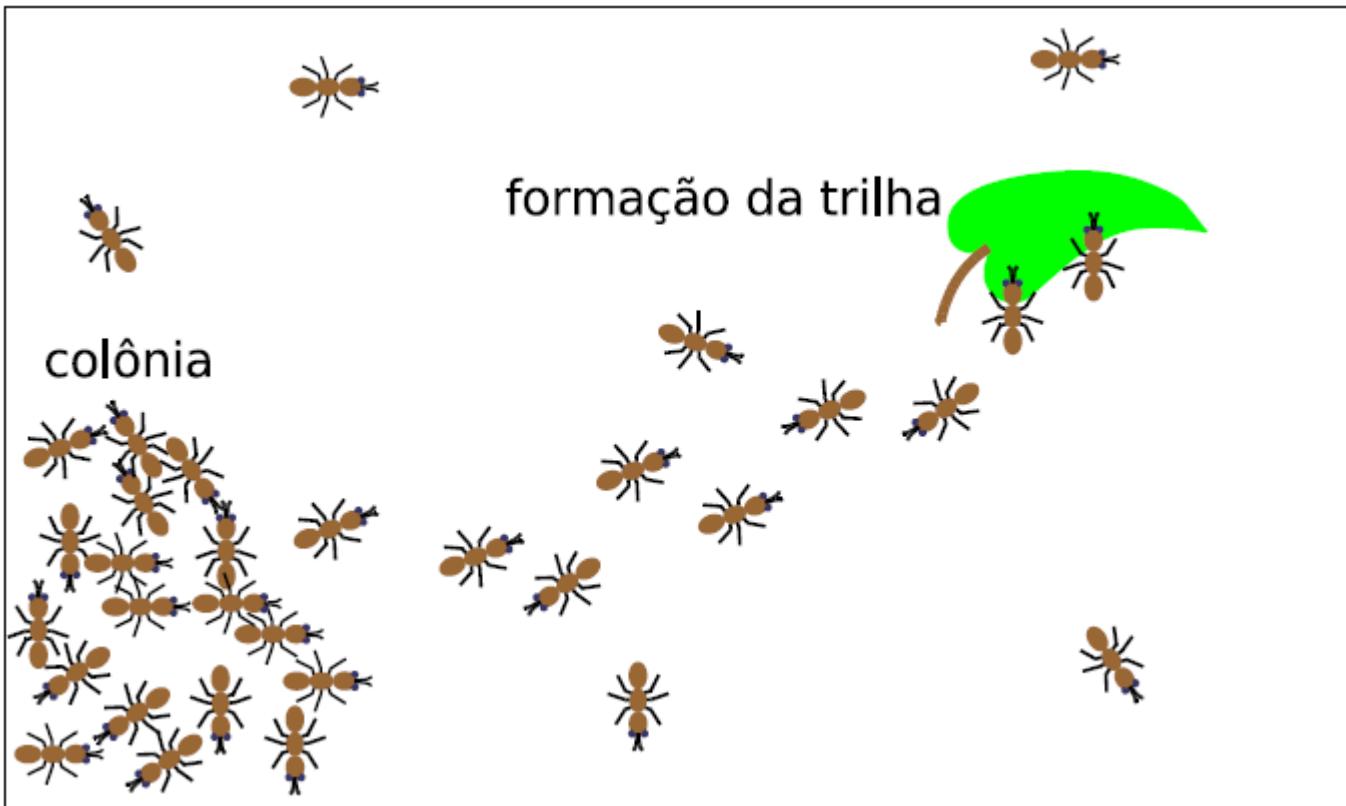
# *Colônia de Formigas*



# Colônia de Formigas

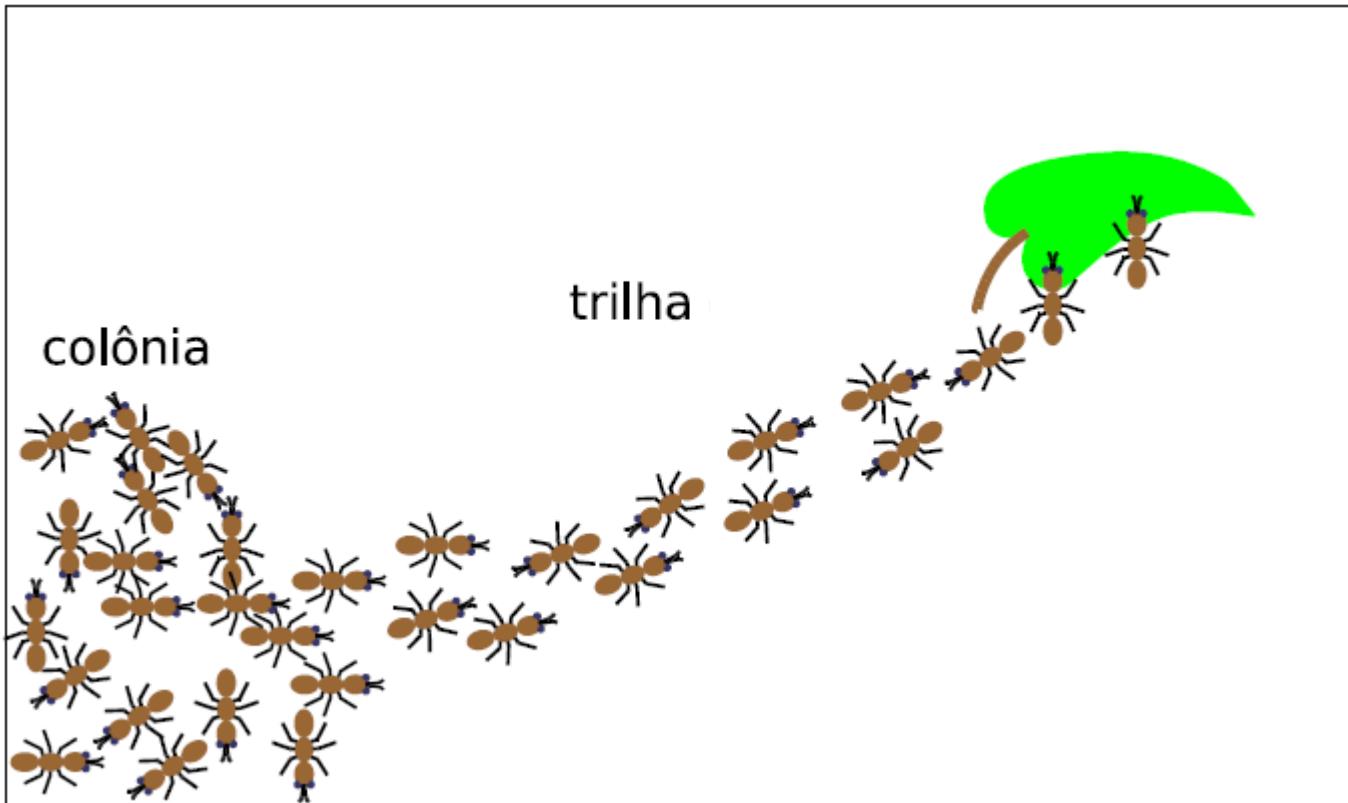


# Colônia de Formigas





# Colônia de Formigas

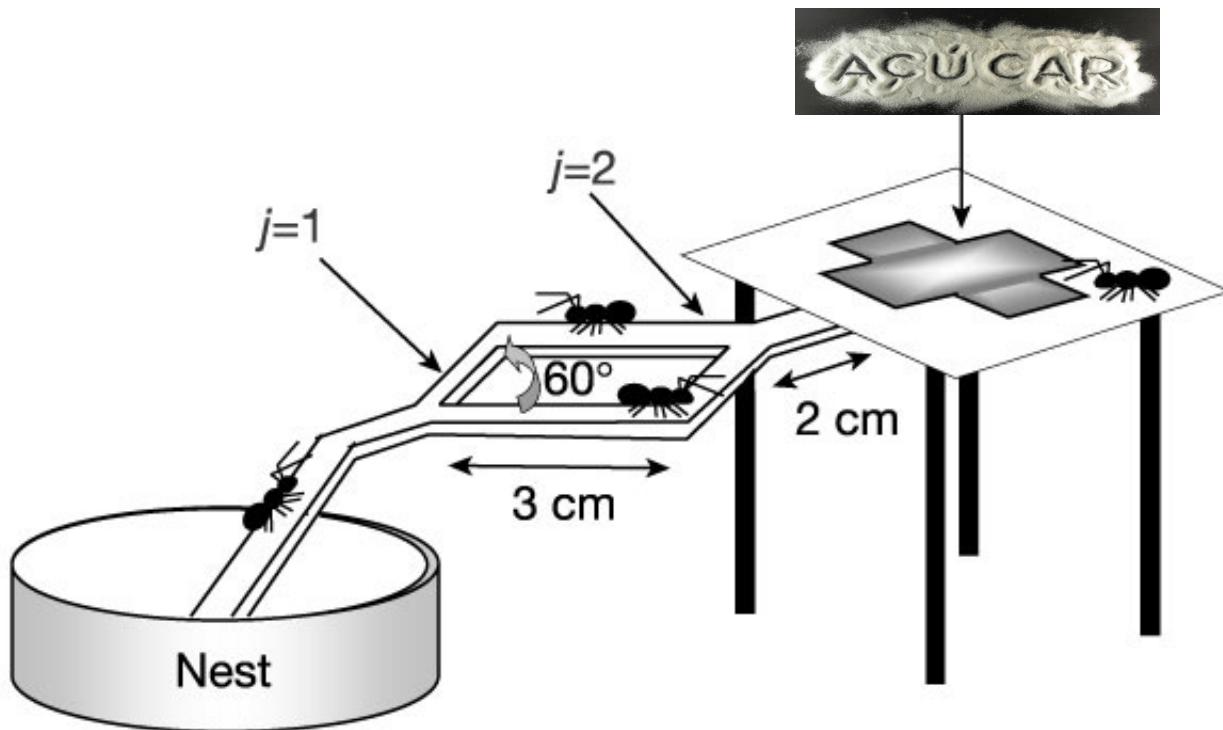




# Colônia de Formigas

## PRIMEIRO EXPERIMENTO DA PONTE BINÁRIA

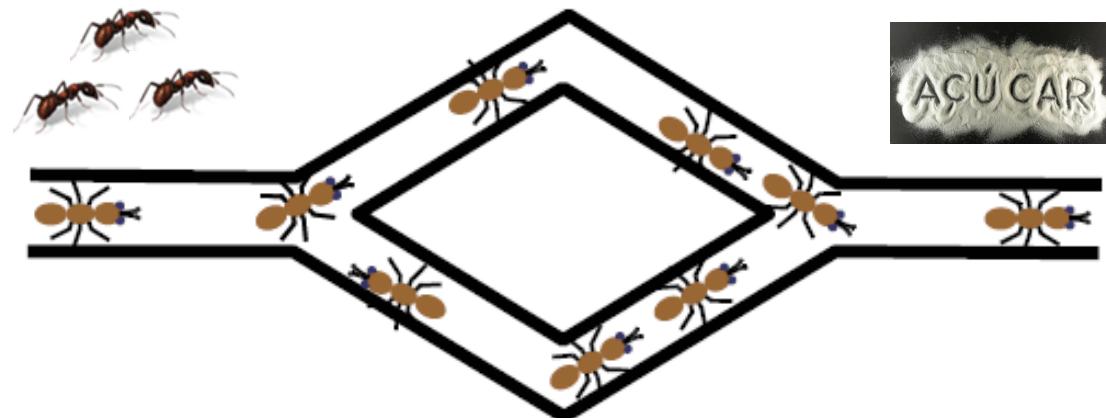
Objetivo: Estudar o comportamento das formigas



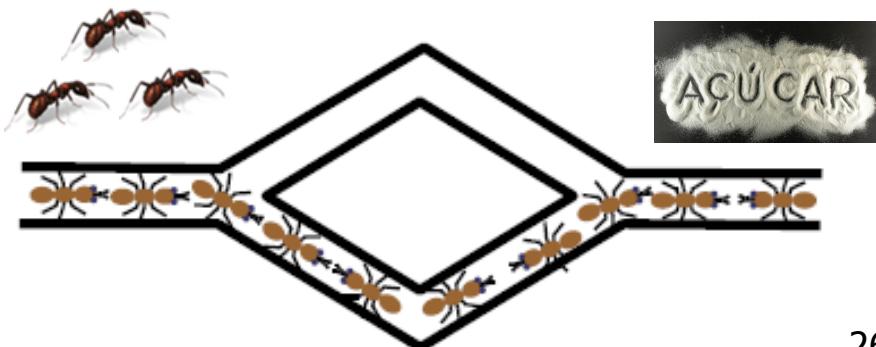
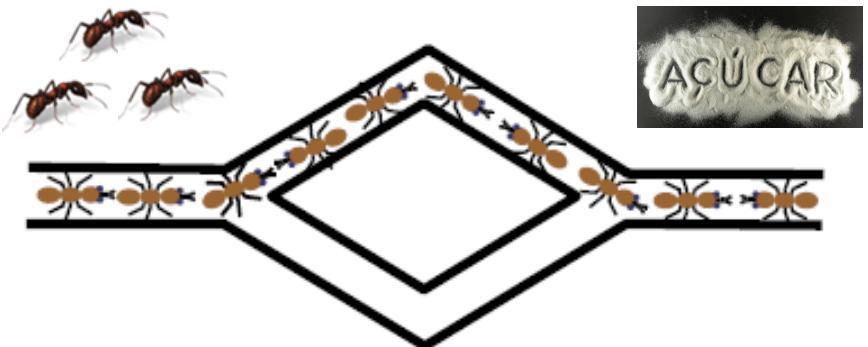


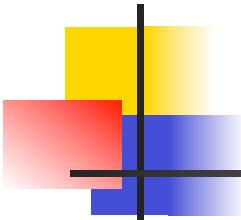
# Colônia de Formigas

Inicialmente:



Resultado Final:



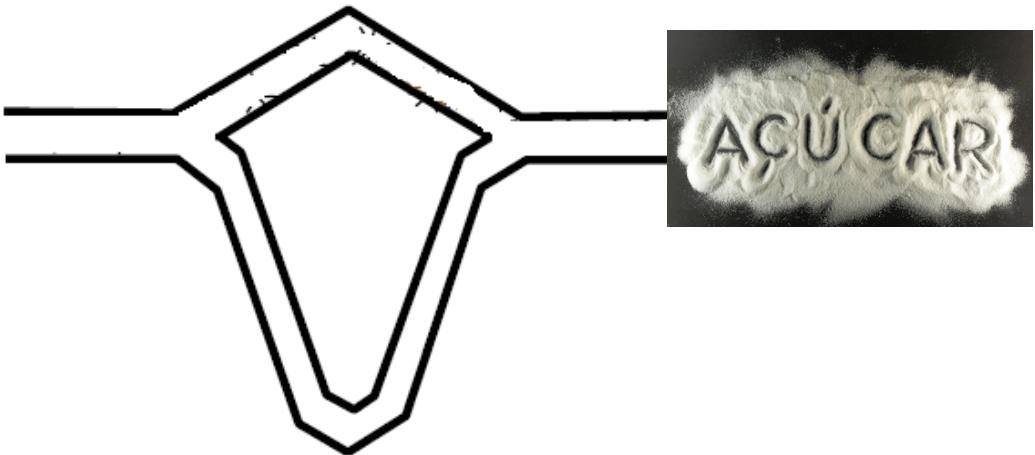


# *Colônia de Formigas*

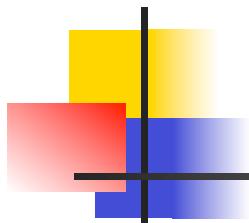


## SEGUNDO EXPERIMENTO DA PONTE BINÁRIA

E para pontes com tamanhos diferentes ???



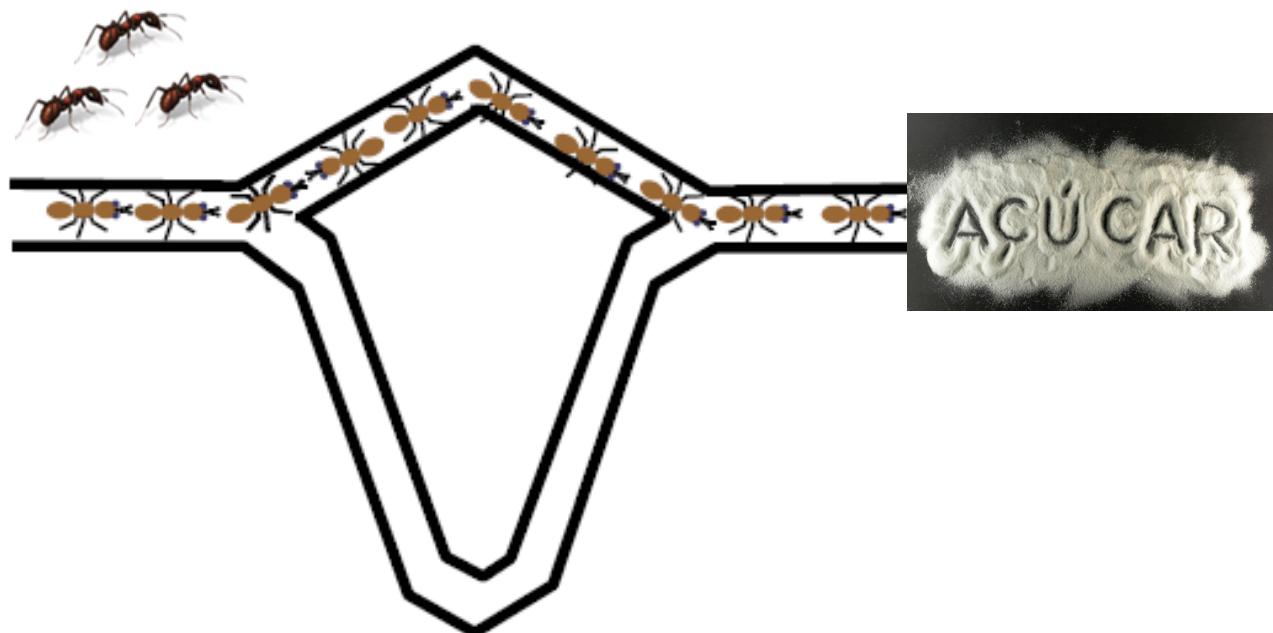
**Como a colônia irá se comportar ?**



# Colônia de Formigas



Resultado Final:

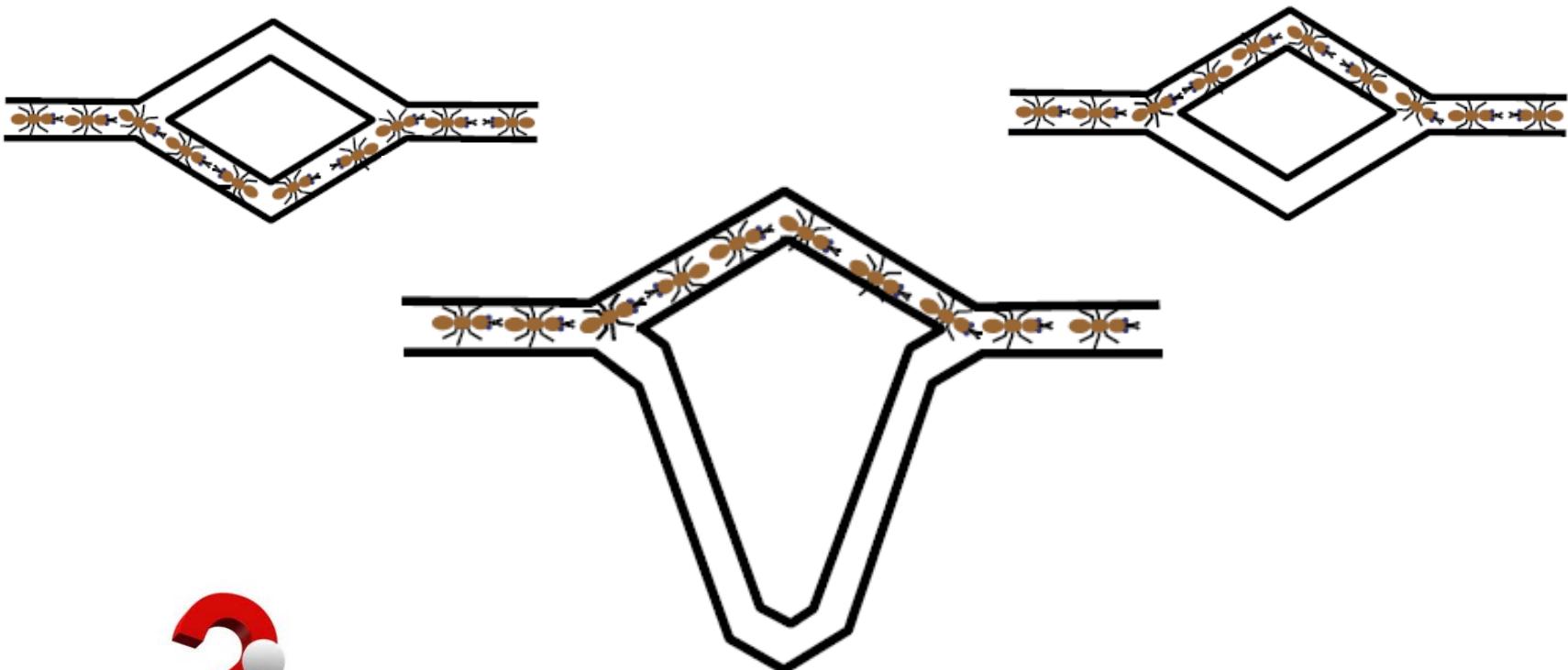


**Caminho de menor distância**

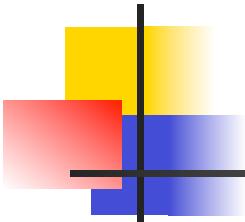
# Colônia de Formigas



Resultados dos testes: Otimização do caminho



Como as formigas se orientam?

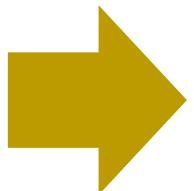


# *Colônia de Formigas*



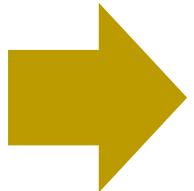
**Comunicação entre as formigas é feita por um processo chamado de ESTIGMERGIA.**

## **ESTIGMERGIA?**



Interações indiretas entre os indivíduos da colônia. Um indivíduo altera o ambiente e outro indivíduo responde a essa alteração um tempo depois.

## **Como é feita esta alteração?**



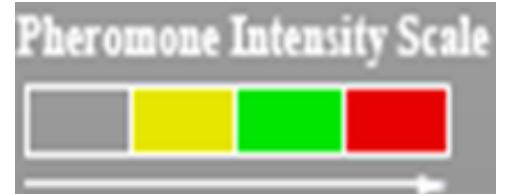
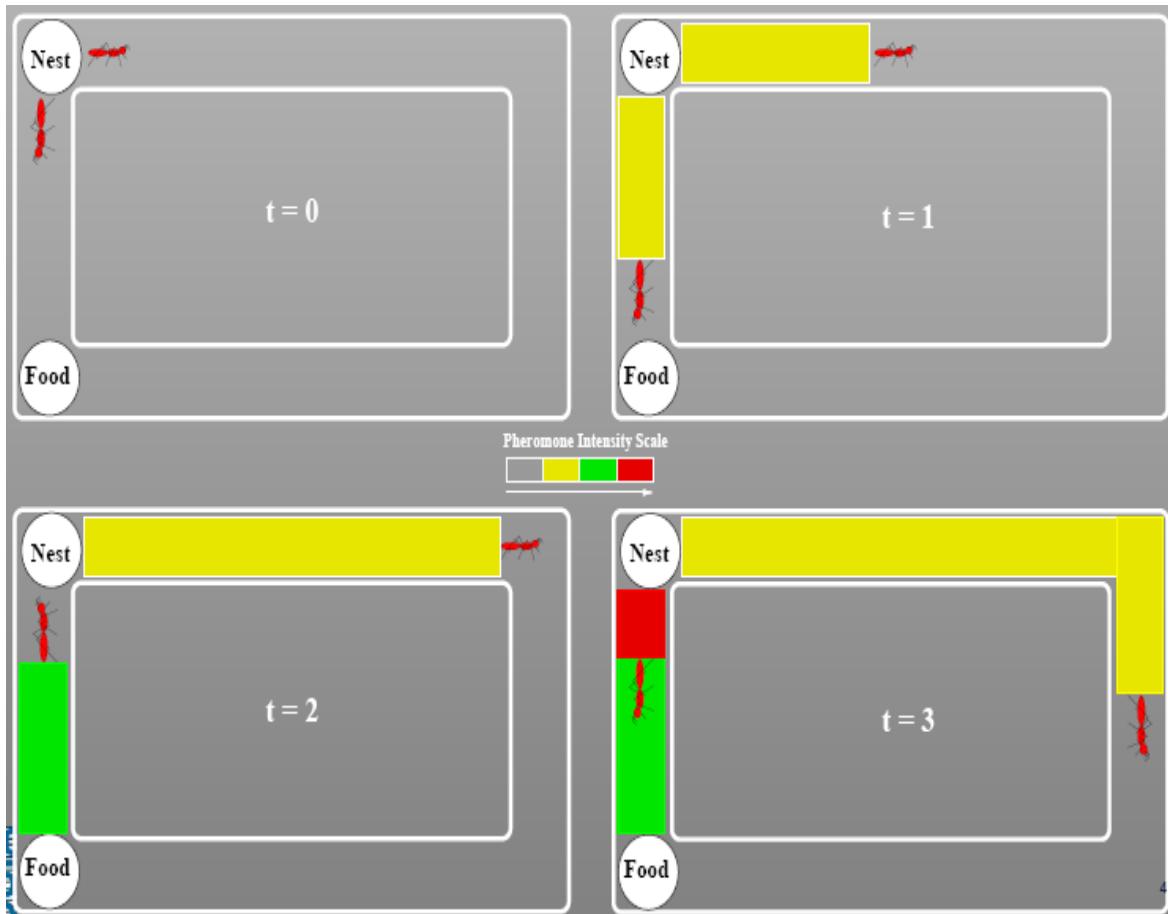
Alteração do ambiente via **FEROMÔNIO**



# Colônia de Formigas



## Comportamento Real de Busca por Alimento



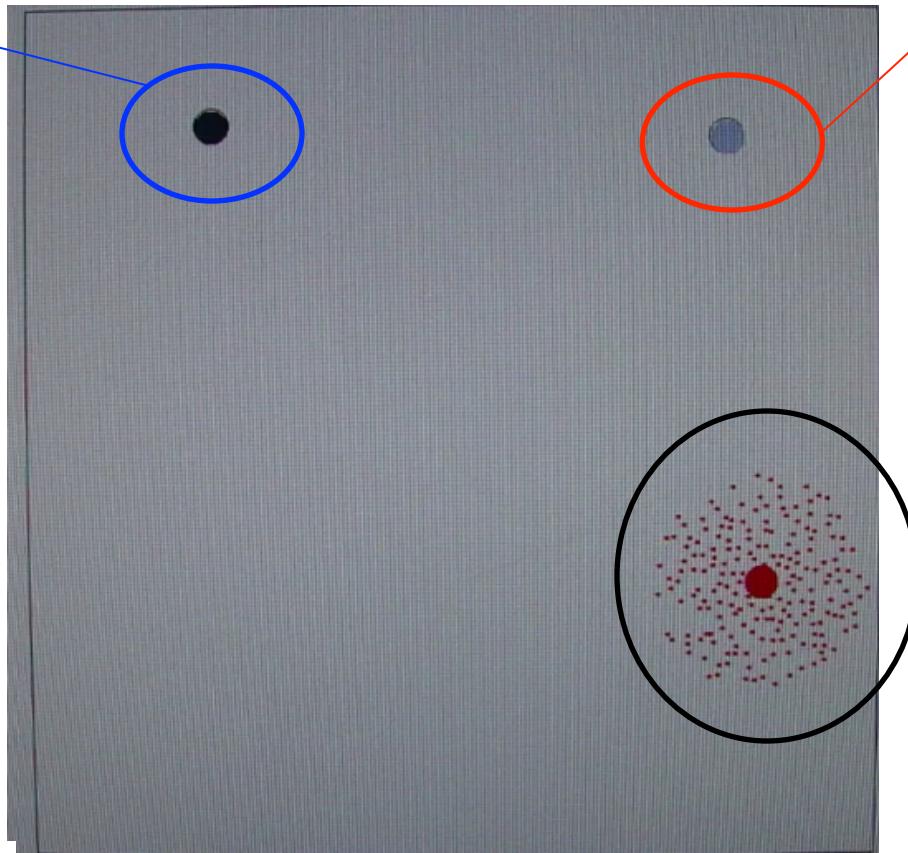


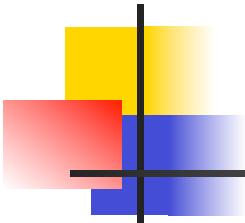
# Colônia de Formigas

Fonte de  
Alimento

EXEMPLO (Vídeo)

Fonte de  
Alimento





# Colônia de Formigas



Maior quantidade  
de alimento

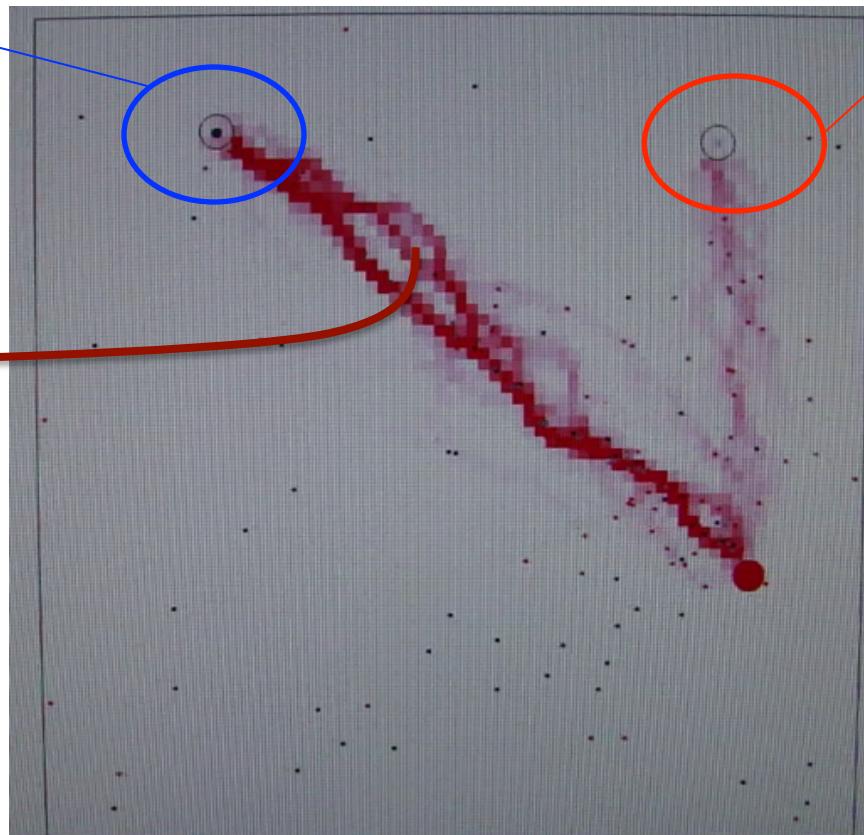
Rastro de  
Feromônio (RF)



Evaporação

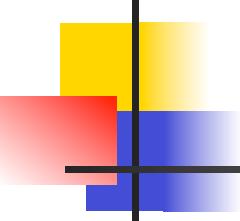


RF → 0  
IMPORTANTE



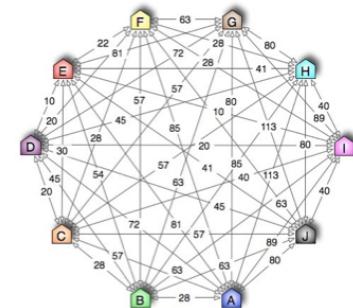
Menor Quantidade  
de alimento

# Otimização por Colônia de Formigas



**Marco Dorigo**

The first ACO system was introduced by **Marco Dorigo** in his Ph.D. thesis (**1992**), and was called Ant System (AS). AS is the result of a research on computational intelligence approaches to combinatorial optimization that Dorigo conducted at Politecnico di Milano. AS was initially applied to the travelling salesman problem.



<http://iridia.ulb.ac.be/~mdorigo/HomePageDorigo/>



# Marco Dorigo

Home    Research group    Publications    Research    Editorial activities    In the media    Honors



IRIDIA  
Université Libre de Bruxelles  
Avenue Franklin Roosevelt 50  
CP 194/6  
B-1050 Brussels - Belgium  
Phone: + 32 2 - 6503169  
Fax: + 32 2 - 6502715  
email: mdorigo@ulb.ac.be

Marco Dorigo's publications have been cited more than **62,000 times**; his **h-index** is 77 (computed on [Google Scholar](#), 14.02.2014).

## ResearcherID

Click here to see my profile

## What's new?

2014: General Chair for [ANTS 2014](#) - Ninth International Conference on Swarm Intelligence

2012: [Botsker Award for Innovative Technology](#) at the 2012 Robot Film Festival, New York, July 14, 2012

2012: General Chair for [ANTS 2012](#) - Eighth International Conference on Swarm



Agrégé de l'Enseignement Supérieur, [Université Libre de Bruxelles](#), Belgium, 1995.

Ph.D. in System and Information Engineering, [Politecnico di Milano](#), Italy, 1992.

He is the inventor of the [Ant Colony Optimization](#) metaheuristic for combinatorial optimization problems.

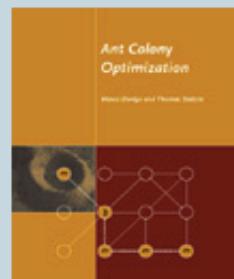
He is research director for the Belgian [Fonds de la Recherche Scientifique](#).

He is co-director of the [IRIDIA](#) lab at the [Université Libre de Bruxelles](#).



Curriculum Vitae  
Last updated October 2012  
[Download PDF file \(386 Kb\)](#)

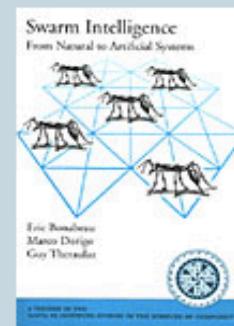
## Authored books



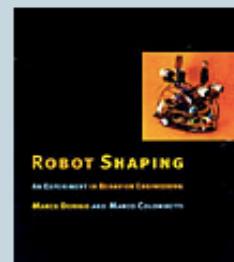
**Ant Colony Optimization**  
MIT Press, 2004



**Ant Colony Optimization (Chinese translation)**  
China-Pub.com, 2006



**Swarm intelligence**  
Oxford University Press, 1999



**Robot Shaping**  
MIT Press, 1998

# Otimização por Colônia de Formigas

**Marco Dorigo:**

Modelou computacionalmente a capacidade de busca das formigas por alimentos e suas estratégias adaptativas para resolução de **problemas de otimização**.



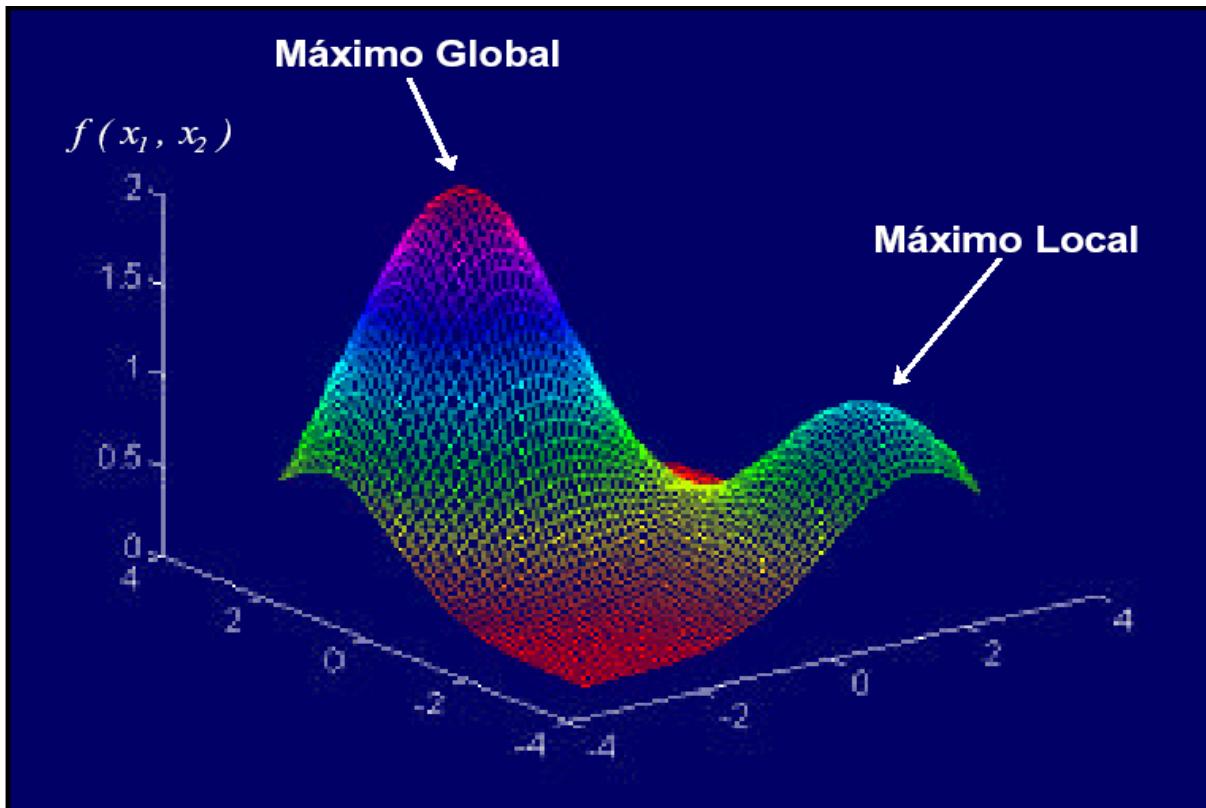
**FORMIGAS ARTIFICIAIS**



# Otimização por Colônia de Formigas



## EXEMPLO: MAXIMIZAÇÃO DE $F(X_1, X_2)$



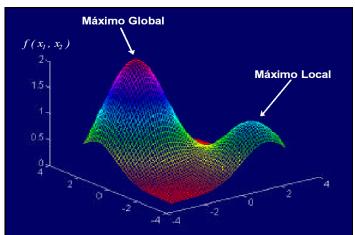
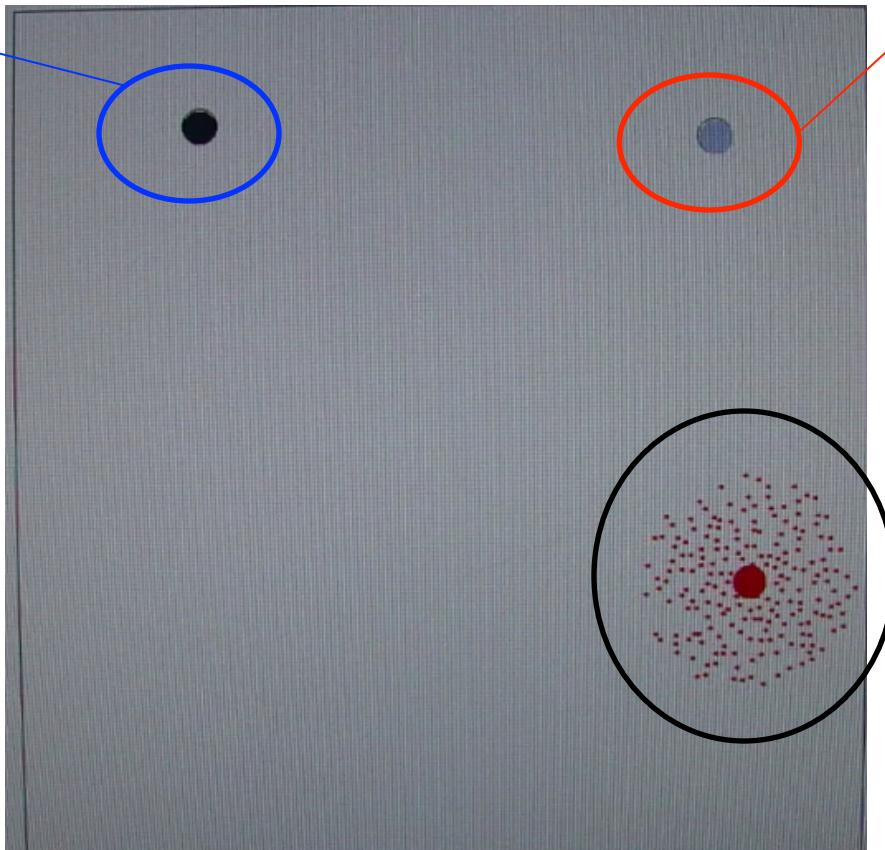
# Otimização por Colônia de Formigas



MÁXIMO  
GLOBAL

ANÁLOGIA

MÁXIMO  
LOCAL



Colônia  
Artificial  
(soluções iniciais)

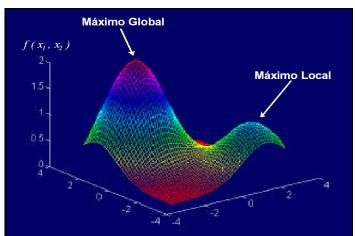
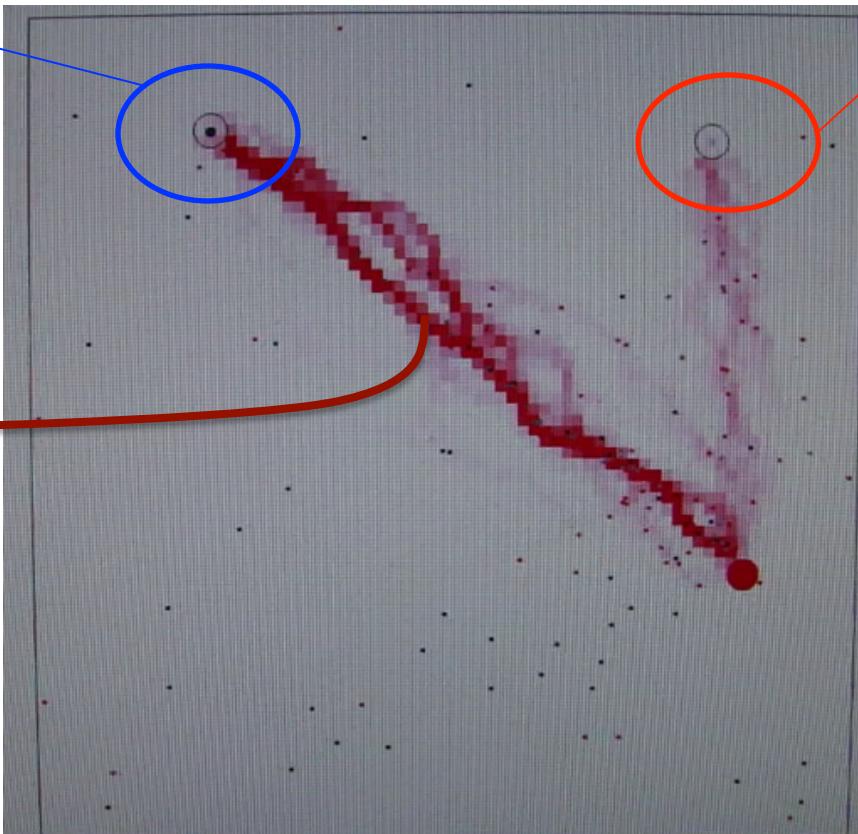
# Otimização por Colônia de Formigas



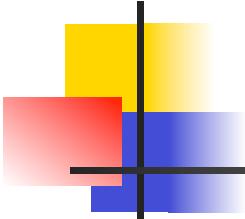
Ótimo Global

Ótimo Local

Rastro Artificial  
de Feromônio



# Otimização por Colônia de Formigas



## FORMIGAS ARTIFICIAIS – Observações:



As formigas artificiais representam possíveis **soluções do problema**.

As formigas artificiais constroem soluções de forma aleatória ou probabilística utilizando duas informações:

- ✓ **Informação heurística** especifica do problema em análise;
- ✓ **Trilha de Feromônio Artificial** que muda dinamicamente durante o processo de busca refletindo as experiências coletivas.

# Otimização por Colônia de Formigas



## FEROMÔNIO ARTIFICIAL

$$\tau_i^{h+1} = \tau_i^h + \left( \sum_{k=1}^m \tau_i^k \right)$$

A yellow arrow points from the term  $\tau_i^h$  to the text "Feromônio já existente referente a Solução i Iteração h". Another yellow arrow points from the term  $\left( \sum_{k=1}^m \tau_i^k \right)$  to the text "Depósito Artificial da Colônia na Solução-i / Iteração h".

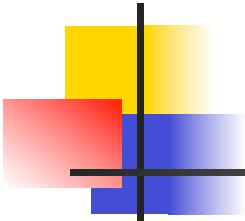
Feromônio atualizado referente a  
Solução i  
Iteração h+1

Feromônio já existente referente a  
Solução i  
Iteração h

Depósito Artificial da Colônia  
na Solução-i / Iteração h



# Otimização por Colônia de Formigas



## FEROMÔNIO ARTIFICIAL



$$\tau_i^{h+1} = (1 - \rho) \cdot \tau_i^{h+1}$$

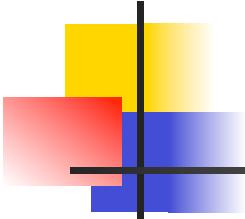
TAXA DE EVAPORAÇÃO

$$0 < \rho \leq 1$$

Evaporação Artificial



# Otimização por Colônia de Formigas



## PROBLEMA DE MINIMIZAÇÃO

Feromônio → Inversamente proporcional ao valor da Função Objetivo Artificial

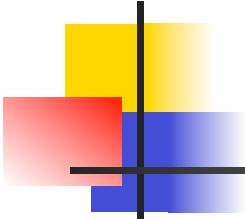
$$\tau \propto \frac{1}{FOB}$$

## PROBLEMA DE MAXIMIZAÇÃO

Feromônio → Diretamente proporcional ao valor da Função Objetivo Artificial

$$\tau \propto FOB$$

# Otimização por Colônia de Formigas



## PENALIZAÇÃO DO RASTRO DE FEROMÔNIO

Deve ocorrer quando soluções inviáveis são geradas/encontradas

## PENALIZAÇÃO EM PROBLEMAS DE MINIMIZAÇÃO

$$\tau \times k \quad k \rightarrow \infty$$

## PENALIZAÇÃO EM PROBLEMAS DE MAXIMIZAÇÃO

$$\tau \times \frac{1}{k} \quad k \rightarrow \infty$$

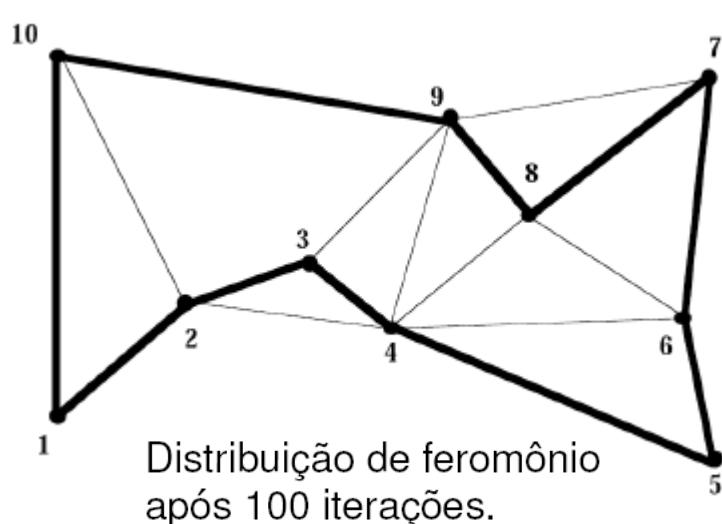
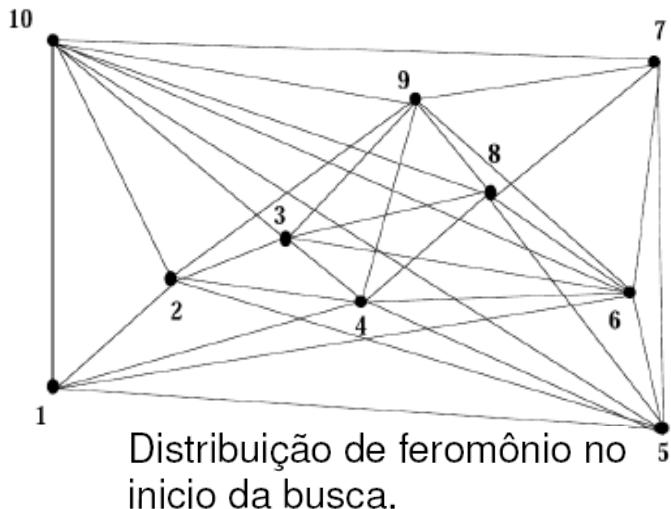
# Otimização por Colônia de Formigas



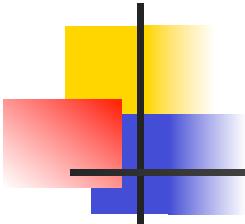
## CRITÉRIO DE PARADA

- ✓ Número máximo de iterações;
- ✓ Tempo computacional;
- ✓ Estagnação

- Situação onde grande parte da colônia segue na mesma direção (forte concentração de FEROMÔNIO)



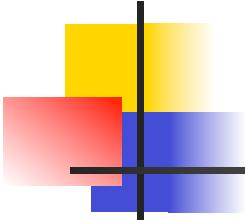
# *Otimização por Colônia de Formigas*



## PARÂMETROS DO PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO

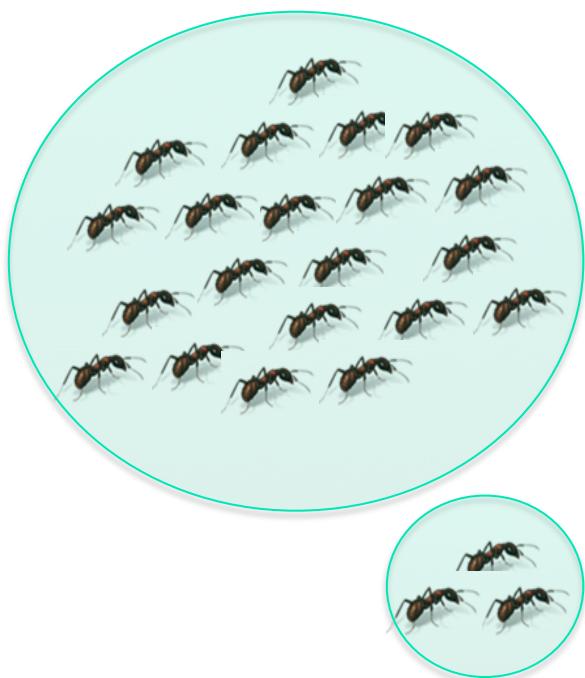
- **TAMANHO DA COLÔNIA**
- **VALOR DA TAXA DE EVAPORAÇÃO**
- **CRITÉRIO DE CONVERGÊNCIA**

# Otimização por Colônia de Formigas



## SENSIBILIDADE DOS PARÂMETROS DO PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO

### TAMANHO DA COLÔNIA



**Qualidade da Solução**  
**&**  
**Tempo Computacional**

**Qualidade da Solução**  
**&**  
**Tempo Computacional**

# Otimização por Colônia de Formigas



## SENSIBILIDADE DOS PARÂMETROS DO PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO

### TAXA DE EVAPORAÇÃO

$$\tau_i^{h+1} = (1 - \rho) \cdot \tau_i^{h+1}$$

**TAXA DE EVAPORAÇÃO**  
 $0 < \rho \leq 1$



$$\rho \rightarrow 0$$



**Permanência do rastro  
de caminhos ruíns**

$$\rho \rightarrow 1$$



**Redução do rastro de  
bons caminhos**

**Uma estratégia é a utilização de taxas de evaporação diferenciadas**

# Otimização por Colônia de Formigas



## SENSIBILIDADE DOS PARÂMETROS DO PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO

### CRITÉRIO DE CONVERGÊNCIA

ITERAÇÕES



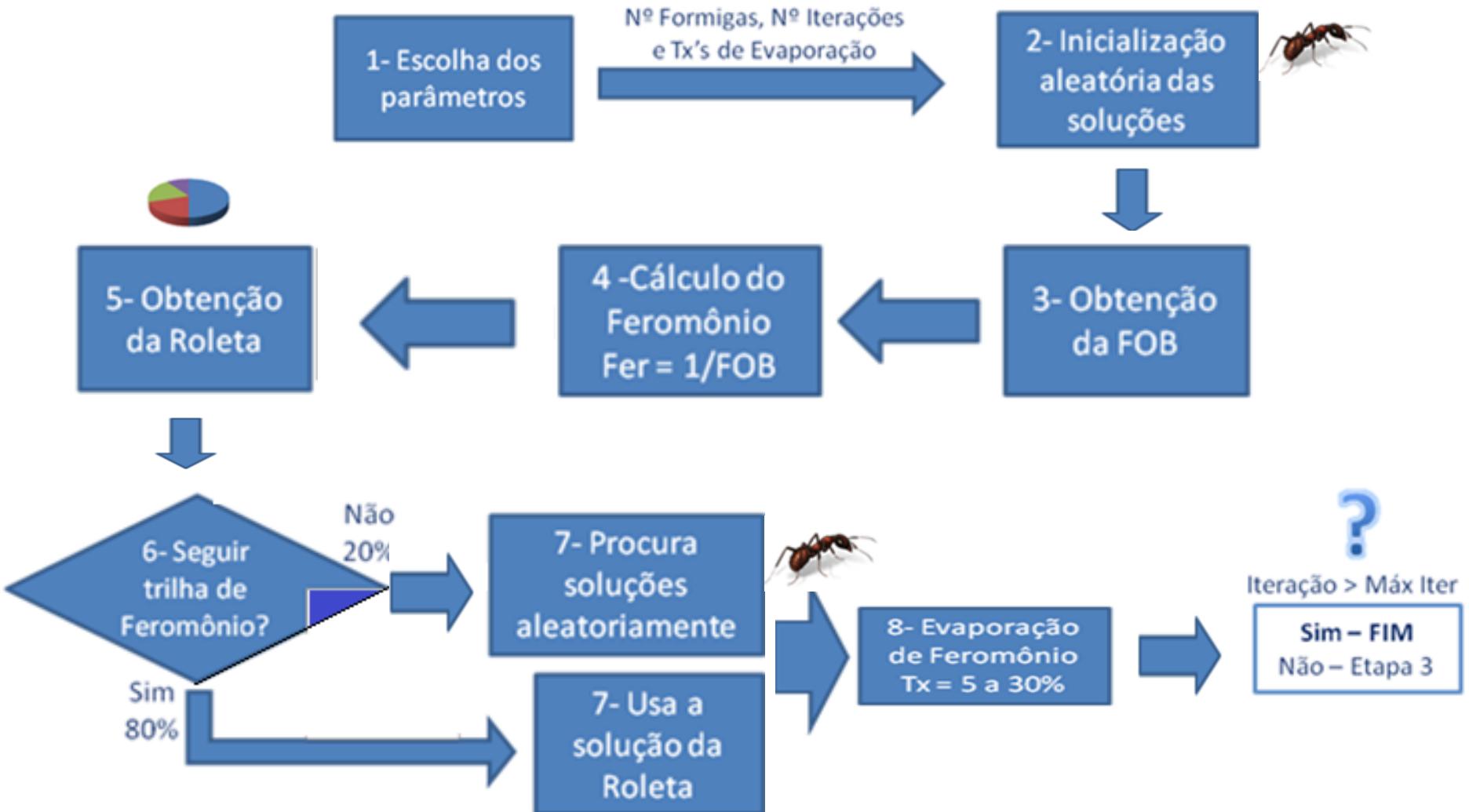
Controle do tempo computacional

ESTAGNAÇÃO



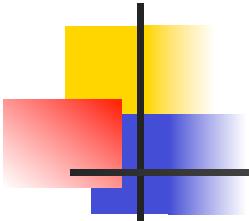
Não há controle do tempo computacional

## FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO: MINIMIZAÇÃO



Ivo Chaves da Silva Junior

# *Otimização por Colônia de Formigas*



## The Ant Experiment



**EXEMPLO NUMÉRICO DO PROCESSO DE BUSCA**

$$\min f(x) = |x - 4,1| \quad x = 0 : 1 : 9$$

## Colônia de Formigas



Fonte de Alimento

Qual fonte contém mais alimento?

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9



Solução

Evaporação desconsiderada

## Solução Inicial Aleatória – Não há depósitos de FEROMÔNIO

---



**0**

**1**

**2**

**3**

**4**

**5**

**6**

**7**

**8**

**9**



**Valor de  $f(x)$**

$$FOB_1(7) = 2,9$$

$$FOB_2(1) = 2,9$$

$$FOB_3(9) = 4,9$$

**Feromônio**

$$\tau(7) = \frac{1}{2,9}$$

$$\tau(1) = \frac{1}{2,9}$$

$$\tau(9) = \frac{1}{4,9}$$

## Depósitos de FEROMÔNIO – ATUALIZAÇÃO



0      1      2      3      4      5      6      7      8      9



$$\tau(1) = \frac{1}{2,9}$$

$$\tau(7) = \frac{1}{2,9}$$

$$\tau(9) = \frac{1}{4,9}$$

## Geração de Soluções – FEROMÔNIO



Onde ir ?



0      1      2      3      4      5      6      7      8      9



**Probabilidade (%) de uma formiga seguir para a solução-j**

$$P_k = \frac{\tau_j}{\sum_{k=1}^3 \tau_k} \times 100$$

→ Feromônio da solução- j

→ Feromônio Total

# Geração de Soluções – FEROMÔNIO



Onde ir



0      1      2      3      4      5      6      7      8      9



## Feromônio Total

$$\tau_T = \frac{1}{2,9} + \frac{1}{2,9} + \frac{1}{4,9} \cong 0,87$$

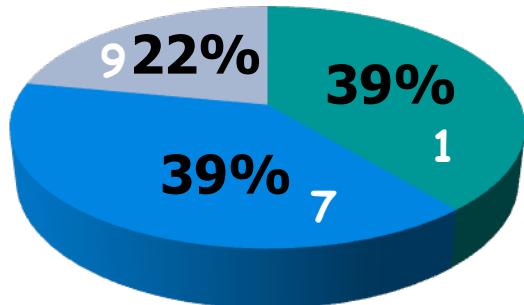
## Probabilidade

$$P_{1,7} = \frac{0,34}{0,87} \times 100 \cong 39\%$$

$$P_9 = \frac{0,20}{0,87} \times 100 \cong 22\%$$

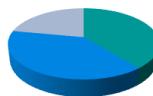
## Escolha do Caminho – Probabilidade (FEROMÔNIO)

---

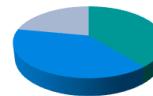


Pergunta !!!!

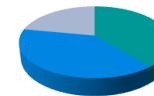
E os demais caminhos ainda não percorridos?  
As soluções ficam amarradas as iniciais?



**Sim ou  
Não?**

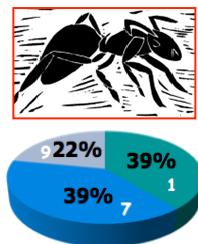
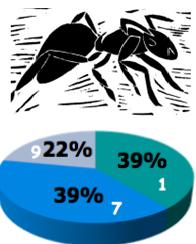


**Sim ou  
Não?**



**Sim ou  
Não?**

## Escolha do Caminho – Probabilidade (%)



**0**

**1**

**2**

**3**

**4**

**5**

**6**

**7**

**8**

**9**



**Valor de f(x)**

$$FOB_1(9) = 4,9$$

$$FOB_2(3) = 0,9$$

$$FOB_3(1) = 2,9$$

**Feromônio**

$$\tau(9) = \frac{1}{4,9}$$

$$\tau(3) = \frac{1}{0,9}$$

$$\tau(1) = \frac{1}{2,9}$$

## Depósitos de FEROMÔNIO – ATUALIZAÇÃO



0      1      2      3      4      5      6      7      8      9



$$\tau(1) = \frac{1}{2,9} + \frac{1}{2,9}$$



$$\tau(3) = +\frac{1}{0,9}$$



$$\tau(7) = \frac{1}{2,9}$$



$$\tau(9) = \frac{1}{4,9} + \frac{1}{4,9}$$

## Geração de Soluções – FEROMÔNIO



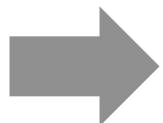
Onde ir ?



0      1      2      3      4      5      6      7      8      9

**Feromônio Total**

$$\tau_T = 2,4$$



$$P_1 = \frac{0,67}{2,4} \times 100 \cong 28\%$$

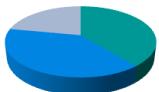
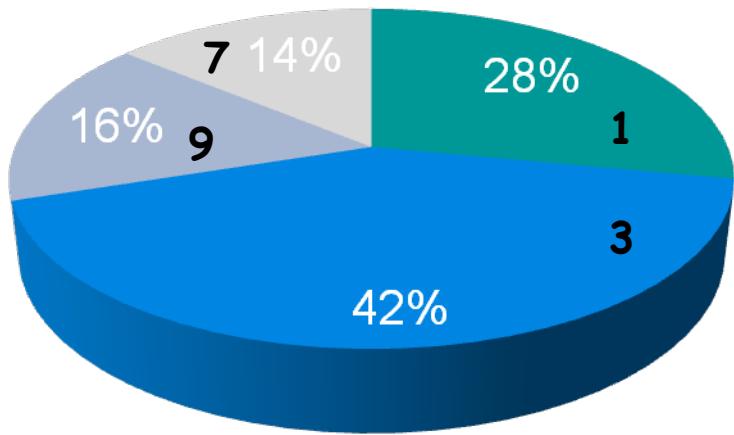
$$P_3 = \frac{1}{2,4} \times 100 \cong 42\%$$

$$P_7 = \frac{0,34}{2,4} \times 100 \cong 14\%$$

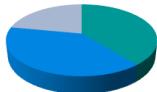
$$P_9 = \frac{0,40}{2,4} \times 100 \cong 16\%$$

## Escolha do Caminho – Probabilidade (FEROMÔNIO)

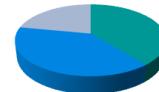
---



**Sim ou  
Não?**



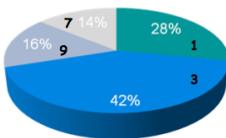
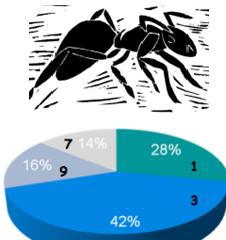
**Sim ou  
Não?**



**Sim ou  
Não?**

**Uma opção: 80% (Sim) / 20% (Não)**

## Escolha do Caminho – Probabilidade (FEROMÔNIO)



0

1

2

3

4

5

6

7

8

9



Valor de  $f(x)$

$$FOB_1(4) = 0,1$$

$$FOB_2(3) = 0,9$$

$$FOB_3(3) = 0,9$$

Feromônio

$$\tau(4) = \frac{1}{0,1}$$

$$\tau(3) = \frac{1}{0,9}$$

$$\tau(3) = \frac{1}{0,9}$$

## Depósitos de FEROMÔNIO – ATUALIZAÇÃO



0      1      2      3      4      5      6      7      8      9



$$F(1) = \frac{1}{2,9} + \frac{1}{2,9}$$

$$F(3) = \frac{1}{0,9} + \frac{2}{0,9}$$

$$F(4) = \frac{1}{0,1}$$

$$F(7) = \frac{1}{2,9}$$

$$F(9) = \frac{1}{4,9} + \frac{1}{4,9}$$

# Geração de Soluções – FEROMÔNIO



?



0      1      2      3      4      5      6      7      8      9

## Probabilidades

$$P_1 \cong 4,6\%$$

$$P_3 \cong 22\%$$

$$P_4 \cong 68\%$$

$$P_7 \cong 2,3\%$$

$$P_9 \cong 2,7\%$$

## Feromônio Total

$$F_T = 14,77$$



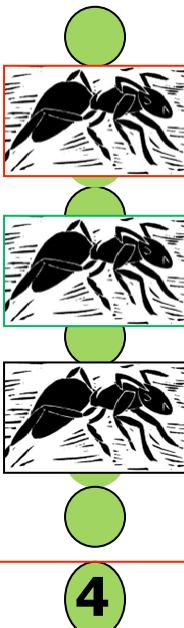
# Otimização por Colônia de Formigas



## Solução Final

### Colônia

Maioria das formigas seguirão esta trilha



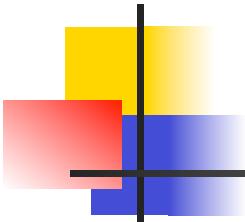
68% Probabilidade Significativa

fontes de alimento

0      1      2      3      4      5      6      7      8      9

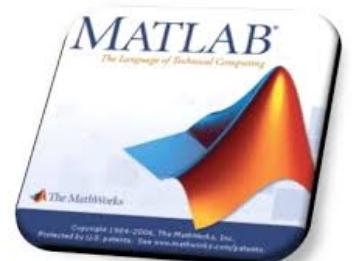
# **Simulação Computacional**

## **EXEMPLOS**



**ANT1.m**

$$\min f(x) = |x - 4,1| \quad x = 0 : 1 : 9$$



**ANTDIN.m**

$$\begin{cases} \min f(x) = |x - 20,1| & x = 0 : 1 : 100 \\ \min f(x) = |x - 40,1| & x = 0 : 1 : 100 \\ \min f(x) = |x - 100,1| & x = 0 : 1 : 100 \end{cases}$$

**1-400**

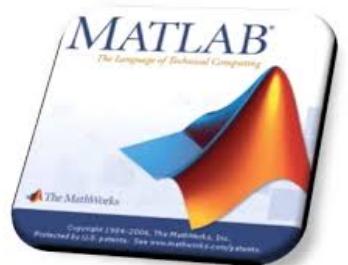
**401-800**

**801-1200**

# *Simulação Computacional*



 **ANT2.m**



**Suponhamos que 8, 12 e 9 são as quantidades de Proteínas(P), Carboidratos (C) e Gorduras (G), respectivamente, sejam as necessidades semanais mínimas para cada pessoa.**

**O alimento tipo-A contém por quilo : 2P, 6C e 1G**

**O alimento tipo-B contém por quilo : 1P, 1C e 3G**

**O alimento tipo-A custa R\$3,00 e o tipo-B R\$2,00**

**Quantos quilos de cada alimento deve-se comprar por semana para ter uma dieta ao menor custo possível?**

**Modele matematicamente esse problema de otimização.**





Generic Monosp

```
[PROBLEMA:=[{2*X+Y>=8, 6*X+Y>=12, X+3*Y>=9} , 3*X+2*Y, NonNegative]:
```

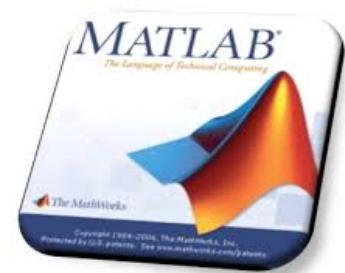
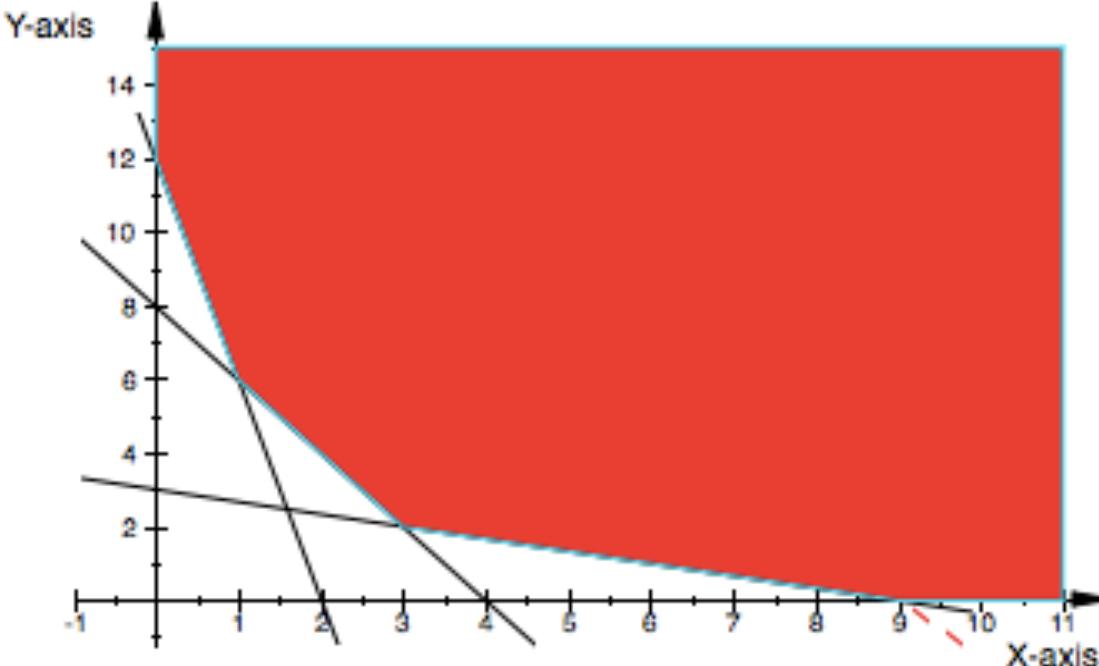
```
linopt::minimize(PROBLEMA)
```

```
[OPTIMAL, {X = 3, Y = 2}, 13]
```

```
GRAFICO:=linopt::plot_data(PROBLEMA,[X,Y]):
```

```
plot(GRAFICO)
```

Maximize  $3 \cdot X + 2 \cdot Y$



$$\text{Min } Z = 3 x_a + 2 x_b$$

s.a :

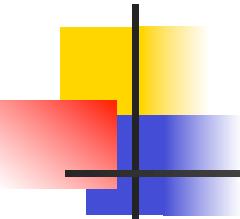
$$R1 : 2x_a + 1x_b \geq 8$$

$$R2 : 6x_a + 1x_b \geq 12$$

$$R3 : 1x_a + 3x_b \geq 9$$

$$x_a, x_b \geq 0$$

# *Otimização por Colônia de Formigas*



## **Observações Importantes:**

**Existência de poucos parâmetros de calibragem;**

**Tempo computacional elevado para problemas de grande porte;**

**Soluções iniciais são importantes no processo de busca;**

**Boa probabilidade de obtenção da solução ótima global;**

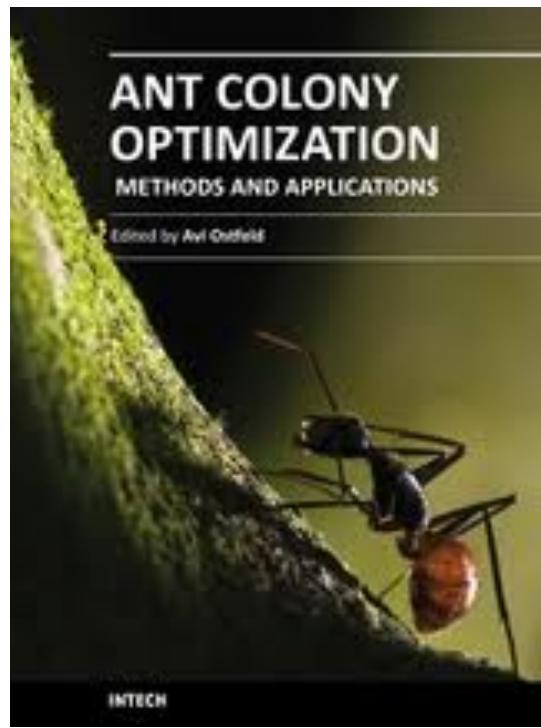
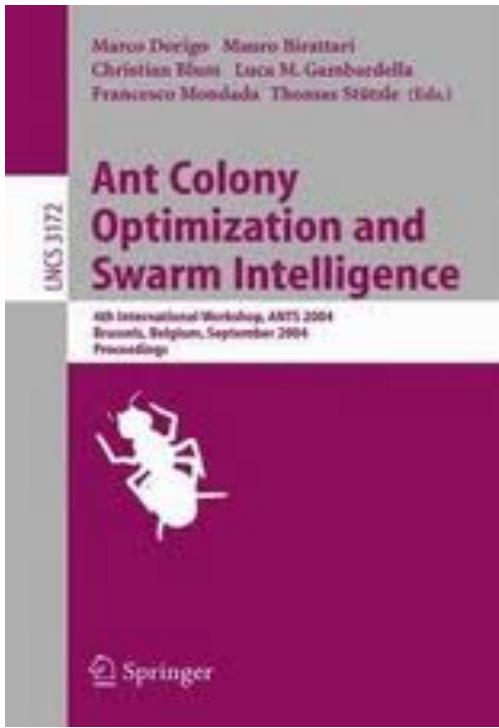
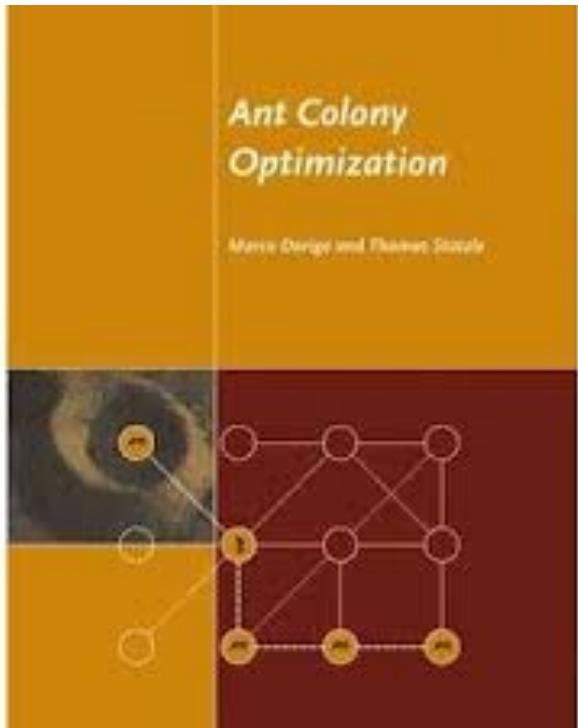
**Modelagem das formigas artificiais (Representação da solução).**



# Otimização por Colônia de Formigas



## Livros: ANT COLONY OPTIMIZATION



# Otimização por Colônia de Formigas



## Aplicações IEEE: ANT COLONY OPTIMIZATION

**Reactive Power Optimization for distribution systems based on Dual Population Ant Colony Optimization**

Lirui, Guo ; Limin, Huo ; Liguo, Zhang ; Weina, Liu ; Jie, Hu  
Control Conference, 2008. CCC 2008. 27th Chinese

Digital Object Identifier: [10.1109/CHICC.2008.4605757](https://doi.org/10.1109/CHICC.2008.4605757)

Publication Year: 2008 , Page(s): 89 - 93

**IEEE CONFERENCE PUBLICATIONS**

**Robot Planning with Ant Colony Optimization Algorithms**

Dongbin, Zhao ; Jianqiang, Yi  
Control Conference, 2006. CCC 2006. Chinese  
Digital Object Identifier: [10.1109/CHICC.2006.280715](https://doi.org/10.1109/CHICC.2006.280715)  
Publication Year: 2006 , Page(s): 1460 - 1465

**IEEE CONFERENCE PUBLICATIONS**

# Otimização por Colônia de Formigas



## Aplicações IEEE: ANT COLONY OPTIMIZATION

**Calculation and analysis of electromagnetic in an induction motor based on continuous quantum ant colony optimization**

Weili, Li ; Qiaoyu, Yin ; Zhang Xiaochen

Electromagnetic Field Computation (CEFC), 2010 14th

Biennial IEEE Conference on

Digital Object Identifier: 10.1109/CEFC.2010.5481292

Publication Year: 2010 , Page(s): 1

**IEEE CONFERENCE PUBLICATIONS**

**Optimal operation of cascade reservoirs based on generalized ant colony optimization method**

Peng Yong ; Wang Guo-li ; He Bin

Natural Computation (ICNC), 2010 Sixth International Conference on

Volume: 5

Digital Object Identifier: 10.1109/ICNC.2010.5582995

Publication Year: 2010 , Page(s): 2647 - 2651

**IEEE CONFERENCE PUBLICATIONS**

# Otimização por Colônia de Formigas



## Aplicações IEEE: ANT COLONY OPTIMIZATION

**Research of path planning for mobile robot based on improved ant colony optimization algorithm**

Zhao, Juan-Ping ; Liu, Jin-Gang ; Gao, Xian-wen ;

Chen, Ying-Qiao

Advanced Computer Control (ICACC), 2010 2nd International Conference on

Volume: 3

Digital Object Identifier: [10.1109/ICACC.2010.5486629](https://doi.org/10.1109/ICACC.2010.5486629)

Publication Year: 2010 , Page(s): 241 - 245

Cited by 2

### IEEE CONFERENCE PUBLICATIONS

**Voltage collapse detection using ant colony optimization for smart grid applications**

Church, C. ; Morsi, Walid G. ; Diduch, Christopher Peter ;

El-Hawary, M. E. ; Chang, L.

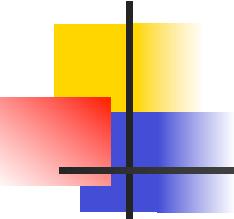
Electric Power and Energy Conference (EPEC), 2010 IEEE

Digital Object Identifier: [10.1109/EPEC.2010.5697185](https://doi.org/10.1109/EPEC.2010.5697185)

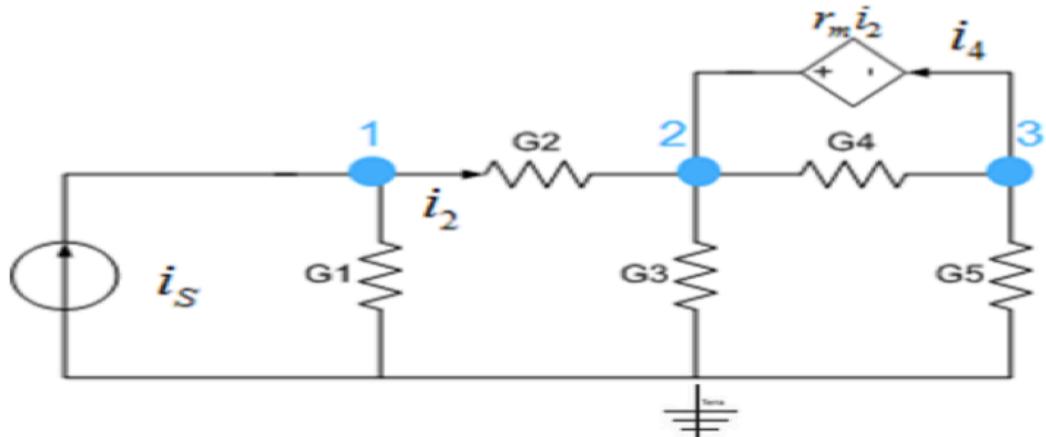
Publication Year: 2010 , Page(s): 1 - 5

### IEEE CONFERENCE PUBLICATIONS

# TRABALHO COMPUTACIONAL



Diante do circuito elétrico abaixo



**Resolva via ANT COLONY**

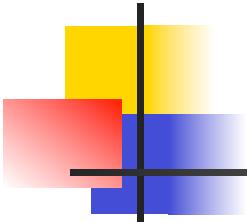


Determine os valores ótimos das condutâncias  $G_3$ ,  $G_4$  e  $G_5$  de modo a maximizar a corrente  $i_4$ . Por questões de projeto têm-se que:

$$V_1=10.6\text{v}; V_2=10.2\text{v}; V_3=-9.8\text{v}; I_s=110\text{A}; G_1=10\text{S}; G_2=10\text{S};$$

As condutâncias  $G_3$ ,  $G_4$  e  $G_5$  são discretas e podem assumir os seguintes valores: 1S, 3S, 5S, 10S, 12S, 15S, 17S, 20S, 22S, 25S, 27S e 30S.

# **TRABALHO COMPUTACIONAL**



## **Observações:**

- **Trabalho deve ser elaborado em dupla**
- **Trabalho entregue na forma de relatório junto com o programa desenvolvido.**
- **Trabalho deve ser genérico. Ou seja, deve funcionar para qualquer alteração prévia dos valores de projeto**
- **Entrega até o dia 17/04/2017 (segunda-feira).**