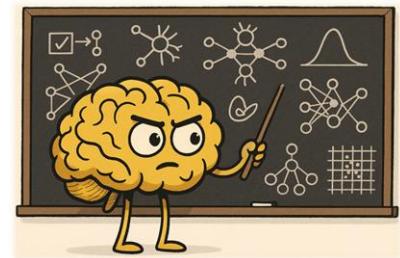




# Aula Anterior

- Perceptron de Uma Única Camada
- Separabilidade Linear
- Perceptron Simples para Classificação de Padrões
- Treinamento
- Perceptron de Múltiplas Saídas para Classificação de Padrões
- Um-versus-Resto
- Função Softmax
- Exemplo de Aplicação
- Saída Desejada
- Ciclos (Épocas)
- Pesos Finais
- Exercício
- Generalização

- Adaline
- Perceptron de Múltiplas Camadas
- Algoritmo de Retropulação de Erro
- Por que Múltiplas Camadas?
- Dificuldades de Aprendizado
- Atualização de Pesos
- Redes de Função de Base Radial
- Mapas Auto-Organizáveis
- Mapa de Kohonen
- Redes Neurais Profundas
- Outras Redes Neurais
- Aplicações de Redes Neurais Artificiais
- Empresas pioneiras no uso de RNAs
- Conclusão



# Agenda

- Agentes
- Princípios Básicos
- Enxames
- Colônia de Formigas
- Bando de Pássaros
- Rebanho de Animais
- Enxame de Abelhas
- Cardume de Peixes
- Tráfego de Veículos
- Multidão de Pessoas
- Partículas Humanas Inteligentes
- Algoritmos Baseados em Enxames



# Inteligência de Enxames

- Do inglês *Swarm Intelligence*.
- Muitas espécies se beneficiam de algum tipo de comportamento social.
- A vida em grupos:
  - Aumenta chances de acasalamento;
  - Facilita encontrar comida;
  - Reduz a probabilidade de ataque por predadores;
  - Permite a divisão do trabalho;
  - Facilita a caça.



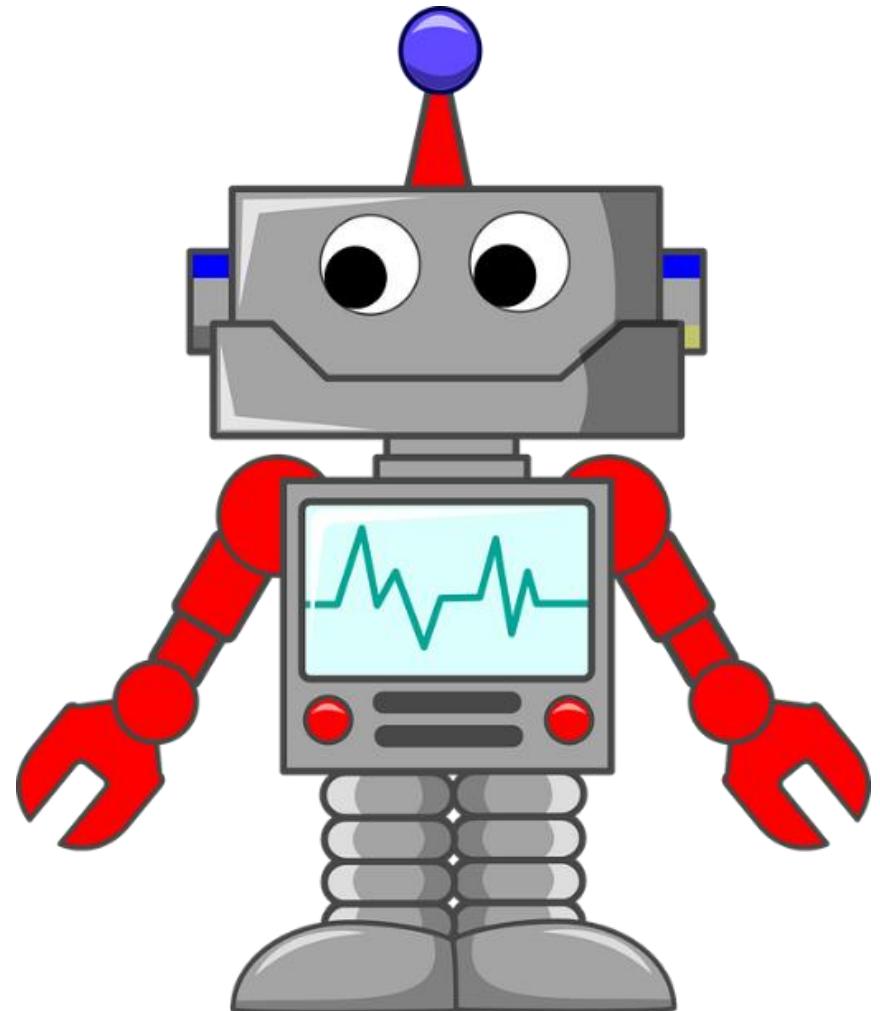
Esta Foto de Autor Desconhecido está licenciado em CC BY-SA



By Warsocket (Own work) [CC BY-SA 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>) or GFDL (<http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>)], via Wikimedia Commons

# Inteligência de Enxames

- Comportamentos sociais inspiraram diversas ferramentas computacionais.
  - Resolução de problemas.
  - Coordenar estratégias para robótica coletiva.



# Inteligência de Enxames

- *Swarm Intelligence*

- Termo usado pela primeira vez no final dos anos 80, para definir sistemas robóticos celulares no qual uma coleção de agentes simples interagem de acordo com regras locais.
- “*In inteligência de enxames é uma propriedade de sistemas de agentes não-inteligentes de capacidade individual limitada exibindo comportamento coletivo inteligente.*”

White, T. and Pagurek, B. (1998), “Towards Multi-Swarm Problem Solving in Networks”, Proc. of the 3rd Int. Conf. On Multi-Agent Systems (ICMAS'98), pp. 333)

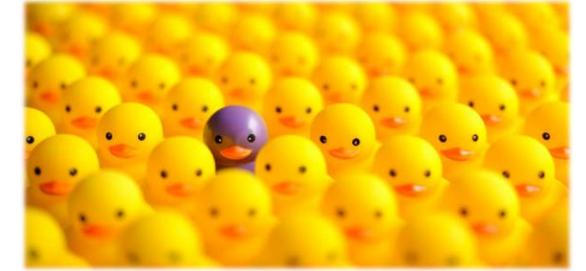
# Inteligência de Enxames

- O termo também é usado para descrever qualquer tentativa de projetar algoritmos ou dispositivos distribuídos para solução de problemas inspirados pelo comportamento coletivo de insetos sociais e outras sociedades de animais.



Bonabeau, E., Dorigo, M. and Théraulaz, G. (1999), "Swarm Intelligence from Natural to Artificial Systems", Oxford University Press.

# Inteligência de Enxames



- **Agente:**
  - Entidade capaz de perceber o ambiente e agir nele.
  - Ações podem ser interações com o ambiente ou com outros agentes.
- Cada agente aparentemente está preocupado com seu próprio papel.
  - Quando os agentes são vistos como um grupo, o grupo parece estar muito bem organizado.

# Agentes

- Aparentemente, organização dos agentes não necessita de uma supervisão.
  - Sistema auto-organizável.
    - Não existe controle central definindo o comportamento dos agentes.
  - Interações locais entre os agentes frequentemente originam um padrão global.



[http://creepyhalloweенimages.com/free\\_halloween\\_photos/bats/slides/flyingbats\\_DSC3050.htm](http://creepyhalloweенimages.com/free_halloween_photos/bats/slides/flyingbats_DSC3050.htm)

# Princípios Básicos

- **Proximidade:** indivíduos devem poder interagir e formar elos sociais.
- **Qualidade:** indivíduos devem poder avaliar suas interações com o ambiente e com os outros indivíduos.
- **Diversidade:** fundamental na maioria das abordagens de computação inspirada na natureza, pois aumenta a capacidade do sistema de reagir à situações inesperadas.
- **Estabilidade:** indivíduos não devem mudar radicalmente o comportamento a cada flutuação no ambiente.
- **Adaptabilidade:** a capacidade de se adaptar ao ambiente e mudanças na população também é fundamental em sistemas de enxames.

# Enxames

- Conjunto de indivíduos capazes de interagir uns com os outros e com o ambiente.
- *Inteligência do enxame* é uma característica emergente do enxame como resultado da aplicação dos princípios de proximidade, qualidade, diversidade, estabilidade e adaptabilidade.



Pombos em Edmonton, Alberta, Canadá  
por Fabricio Breve (2009)

# Enxames

- O termo “enxame” pode se referir a qualquer tipo de coleção de agentes se interagindo:
  - Colônias de formigas
  - Bandos de pássaros
  - Rebanhos de animais
  - Enxames de abelhas
  - Cardumes de peixes
  - Colônias de bactérias
  - Tráfego de veículos
  - Multidão de pessoas
  - Etc...



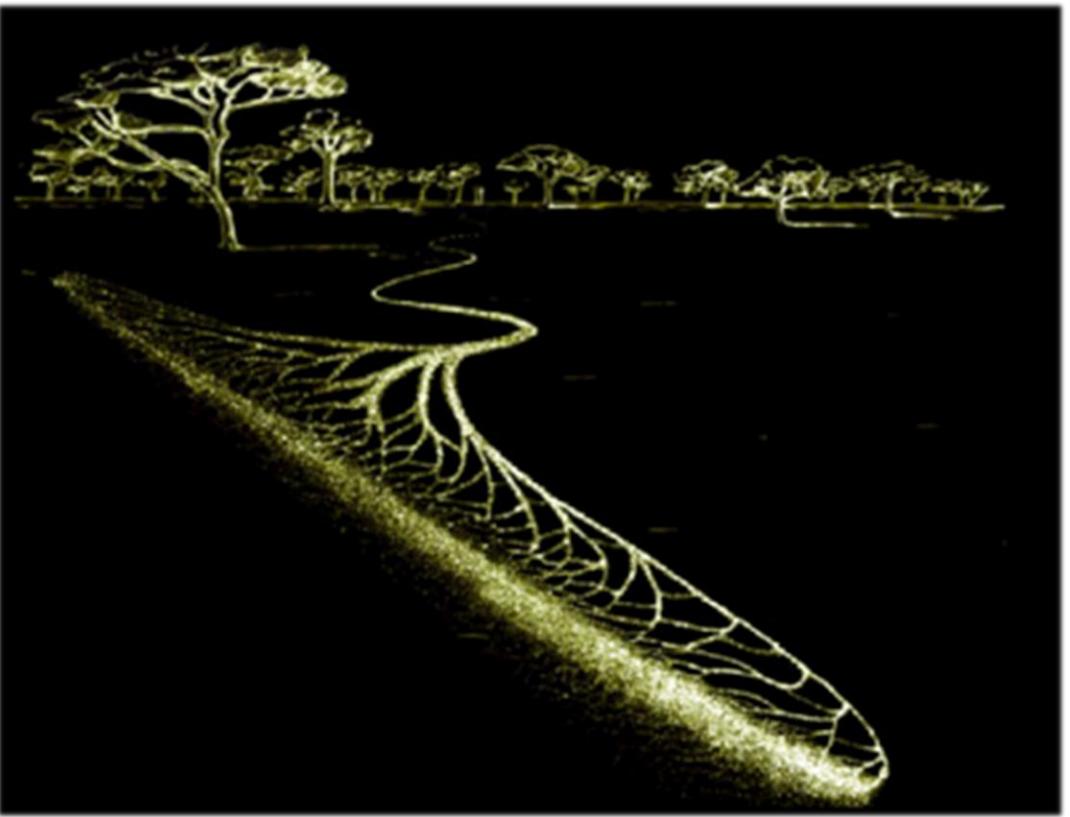
Gaivotas no Jardin des Tuileries, Paris, França – por Fabricio Breve (2016)

# Colônia de Formigas



Dorigo, M., Birattari, M., & Stutzle, T. (2006). **Ant colony optimization**. *IEEE computational intelligence magazine*, 1(4), 28-39.

Breve, F., Zhao, L., Quiles, M., Pedrycz, W., & Liu, J. (2011). **Particle competition and cooperation in networks for semi-supervised learning**. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 24(9), 1686-1698.



Formiga Argentina, por Fabricio Breve (2008)



Formigas, por Fabricio Breve (2007)



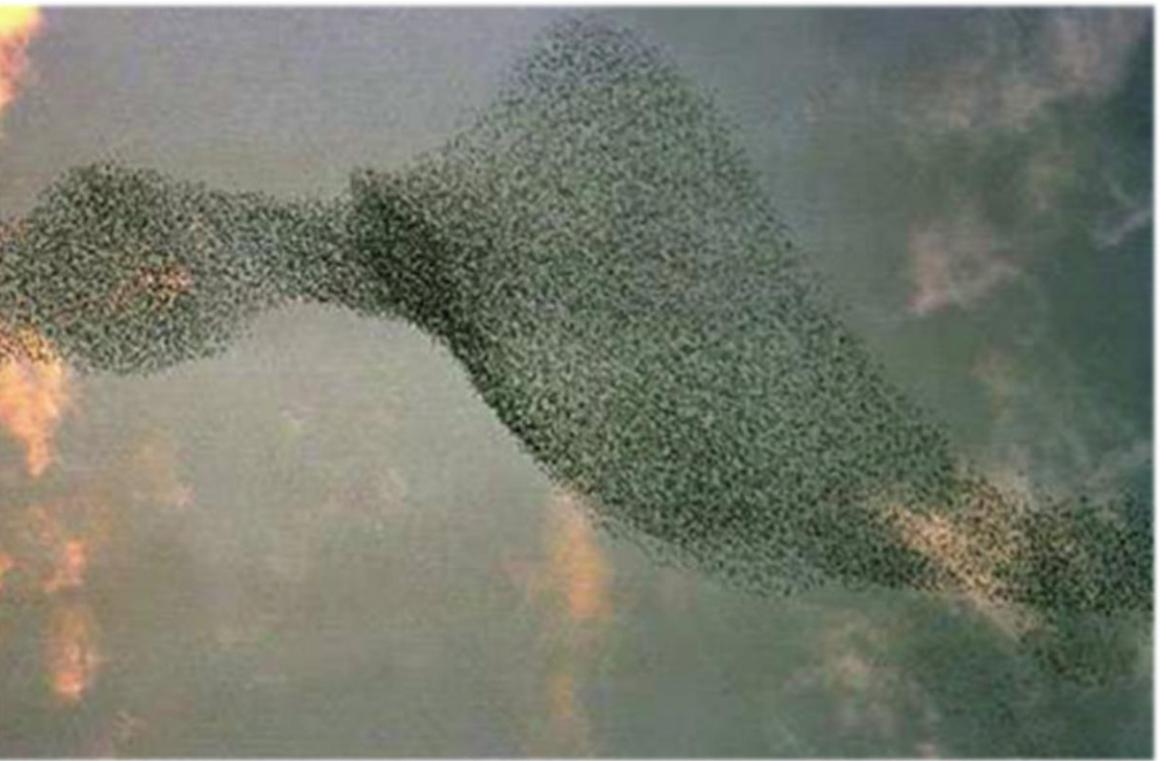
08/05/2025

Fabricio Breve

# Bando de Pássaros



Poli, R., Kennedy, J., & Blackwell, T. (2007). Particle swarm optimization. *Swarm intelligence*, 1(1), 33-57.



Maritacas em Rio Claro – por Fábio Breve (2007)

Fab



Maritacas em Rio Claro – por Fábio Breve (2007)



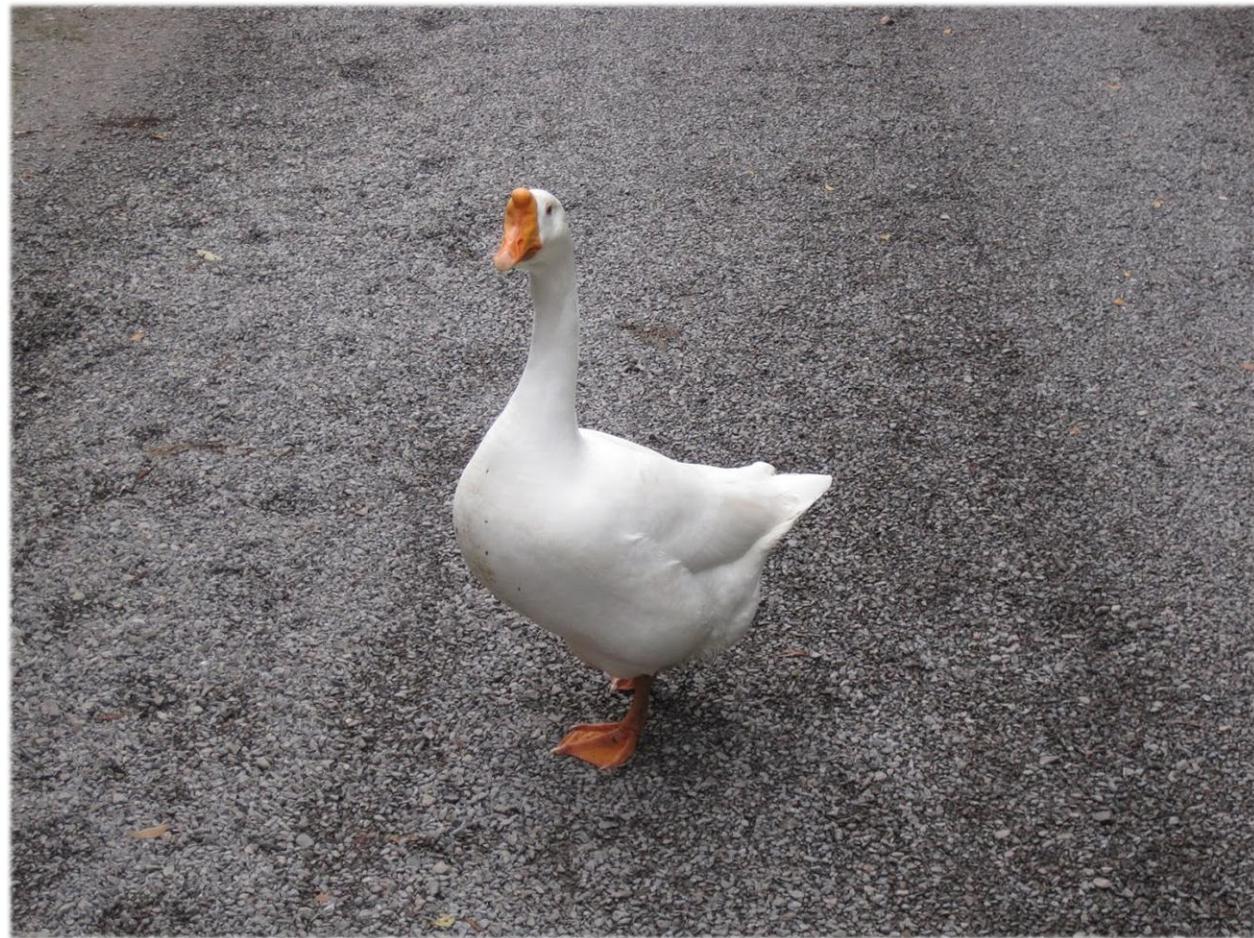
Gansos-do-canadá no William Hawrelak Park - Edmonton - Alberta - Canadá – por Fabricio Breve (2009)



Gaivotas-prata em Brisbane, Queensland, Austrália – por Fabricio Breve (2012)



Ganso no St. James Park – Londres, Reino Unido – por Fabricio Breve (2015)



Ganso no Lago Negro, Tres Pinheiros, Gramado – Rio Grande do Sul – por Fabricio Breve (2013)

Mojtaba Ghasemi, Abolfazl Rahimnejad, Rasul Hemmati, Ebrahim Akbari, S. Andrew Gadsden, **Wild Geese Algorithm: A novel algorithm for large scale optimization based on the natural life and death of wild geese**, *Array*, Volume 11, 2021, 100074, ISSN 2590-0056, <https://doi.org/10.1016/j.array.2021.100074>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590005621000229>)

Junwei Wang, Dingwei Wang, **Particle swarm optimization with a leader and followers**, *Progress in Natural Science*, Volume 18, Issue 11, 2008, Pages 1437-1443, ISSN 1002-0071, <https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2008.03.029>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1002007108002712>)

# Rebanho de Animais



Rebanho de bovinos em Minas Gerais - por Fabricio Breve (2007)

Odili, J. B., Kahar, M. N. M., & Anwar, S. (2015). **African buffalo optimization**: a swarm-intelligence technique. *Procedia Computer Science*, 76, 443-448.

Al-Obaidi, A. T. S., & Abdullah, H. S. (2017). **Camel herds algorithm: A new swarm intelligent algorithm to solve optimization problems**. *International Journal on Perceptive and Cognitive Computing*, 3(1).



Ovelha no Lone Pine Koala Sanctuary – Brisbane, Queensland, Austrália – por Fabricio Breve (2012)

Lai, X., Li, C., Zhang, N., & Zhou, J. (2019). **A multi-objective artificial sheep algorithm**. *Neural Computing and Applications*, 31, 4049-4083.

Shefaei, A., & Mohammadi-Ivatloo, B. (2017). **Wild goats algorithm: An evolutionary algorithm to solve the real-world optimization problems**. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(7), 2951-2961.



Cabritinho em Rio Claro, por Fabricio Breve (2004)



Rebanho de bovinos no Killarney National Park, Killarney, County Kerry, Irlanda – por Fabricio Breve (2015)



Rebanho de bovinos no Killarney National Park, Killarney, County Kerry, Irlanda – por Fabricio Breve (2015)



Canguru no Lone Pine Koala Sanctuary – Brisbane, Queensland, Austrália – por Fabricio Breve (2012)



Moldovan, D., Anghel, I., Cioara, T., Salomie, I., Chifu, V., & Pop, C. (2019, May). **Kangaroo Mob Heuristic for Optimizing Features Selection in Learning the Daily Living Activities of People with Alzheimer's**. In *2019 22nd International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS)* (pp. 236-243). IEEE.

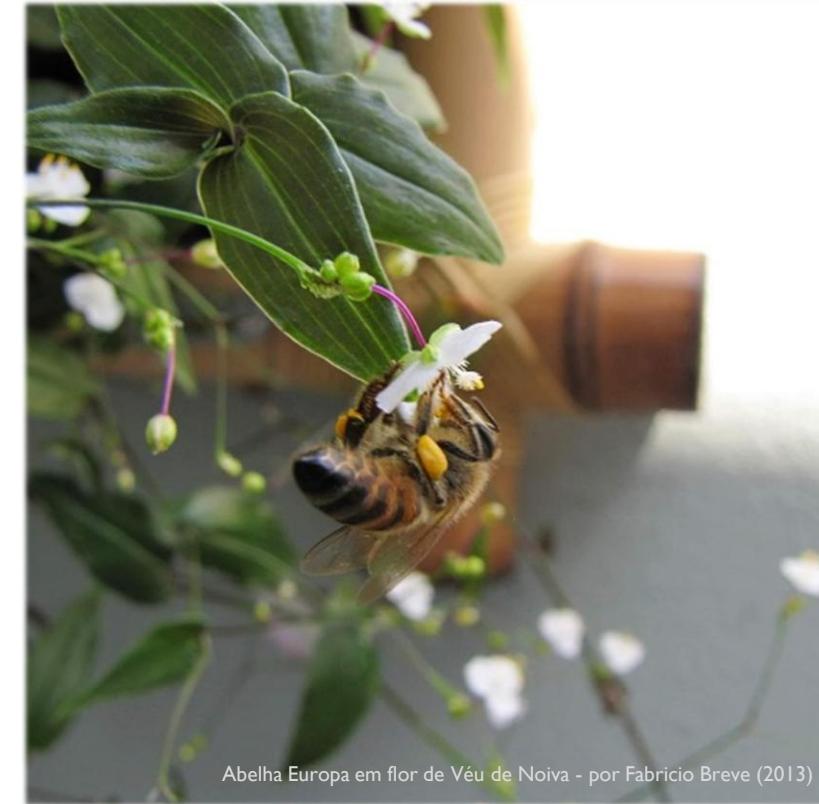
Moldovan, D. (2021, April). **Improved Kangaroo Mob Optimization and Logistic Regression for Smart Grid Stability Classification**. In *Computer Science On-line Conference* (pp. 469-487). Springer, Cham.

Cangurus no Lone Pine Koala Sanctuary – Brisbane, Queensland, Austrália – por Fabricio Breve (2012)

# Enxame de Abelhas



Vespa em flor de Dionella - por Fabricio Breve (2023)



Abelha Europa em flor de Véu de Noiva - por Fabricio Breve (2013)

Teodorovic, D., Lucic, P., Markovic, G., & Dell'Orco, M. (2006, September). **Bee colony optimization: principles and applications**. In *2006 8th Seminar on Neural Network Applications in Electrical Engineering* (pp. 151-156). IEEE.

TSai, P. W., Pan, J. S., Liao, B. Y., & Chu, S. C. (2009). **Enhanced artificial bee colony optimization**. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, 5(12), 5081-5092.

Teodorovic, D., & Dell'Orco, M. (2005). **Bee colony optimization—a cooperative learning approach to complex transportation problems**. *Advanced OR and AI methods in transportation*, 51, 60.

# Cardume de Peixes



Georgia Aquarium – Atlanta, Georgia, EUA – por Fabricio Breve (2009)



Georgia Aquarium – Atlanta, Georgia, EUA – por Fabricio Breve (2009)



Georgia Aquarium – Atlanta, Georgia, EUA – por Fabricio Breve (2009)



Georgia Aquarium – Atlanta, Georgia, EUA – por Fabricio Breve (2009)



Georgia Aquarium – Atlanta, Georgia, EUA – por Fabricio Breve (2009)



08/05/2023 Georgia Aquarium – Atlanta, Georgia, EUA – por Fabricio Breve (2009)



Georgia Aquarium – Atlanta, Georgia, EUA – por Fabricio Breve (2009)



Georgia Aquarium – Atlanta, Georgia, EUA – por Fabricio Breve (2009)

Neshat, M., Adeli, A., Sepidnam, G., Sargolzaei, M., & Toosi, A. N. (2012). **A review of artificial fish swarm optimization methods and applications**. *International Journal on Smart Sensing & Intelligent Systems*, 5(1).

Zhang, C., Zhang, F. M., Li, F., & Wu, H. S. (2014, June). **Improved artificial fish swarm algorithm**. In *2014 9th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications* (pp. 748-753). IEEE.

# Tráfego de Veículos

García-Nieto, J., Alba, E., & Olivera, A. C. (2012). **Swarm intelligence for traffic light scheduling: Application to real urban areas.** *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25(2), 274-283.

Shaikh, P. W., El-Abd, M., Khanafer, M., & Gao, K. (2020). **A review on swarm intelligence and evolutionary algorithms for solving the traffic signal control problem.** *IEEE transactions on intelligent transportation systems*, 23(1), 48-63.

Tatomir, B., & Rothkrantz, L. (2006, September). **Hierarchical routing in traffic using swarm-intelligence.** In *2006 IEEE intelligent transportation systems conference* (pp. 230-235). IEEE.

Manvi, S. S., Kakkasageri, M. S., & Mahapurush, C. V. (2009, April). **Performance analysis of AODV, DSR, and swarm intelligence routing protocols in vehicular ad hoc network environment.** In *2009 International Conference on Future Computer and Communication* (pp. 21-25). IEEE.

Teodorovic, D. (2003). **Transport modeling by multi-agent systems: a swarm intelligence approach.** *Transportation planning and Technology*, 26(4), 289-312.





Edmonton, Alberta, Canada – por Fabricio Breve (2009)



Edmonton, Alberta, Canadá – por Fabricio Breve (2009)



Brisbane, Queensland, Austrália – por Fabricio Breve (2012)



Brisbane, Queensland, Austrália – por Fabricio Breve (2012)



Edmonton, Alberta, Canadá – por Fabricio Breve (2009)



# Multidão de Pessoas





Oficina G3, Teatro São José, Piracicaba, SP – por Fábio Breve (2007)

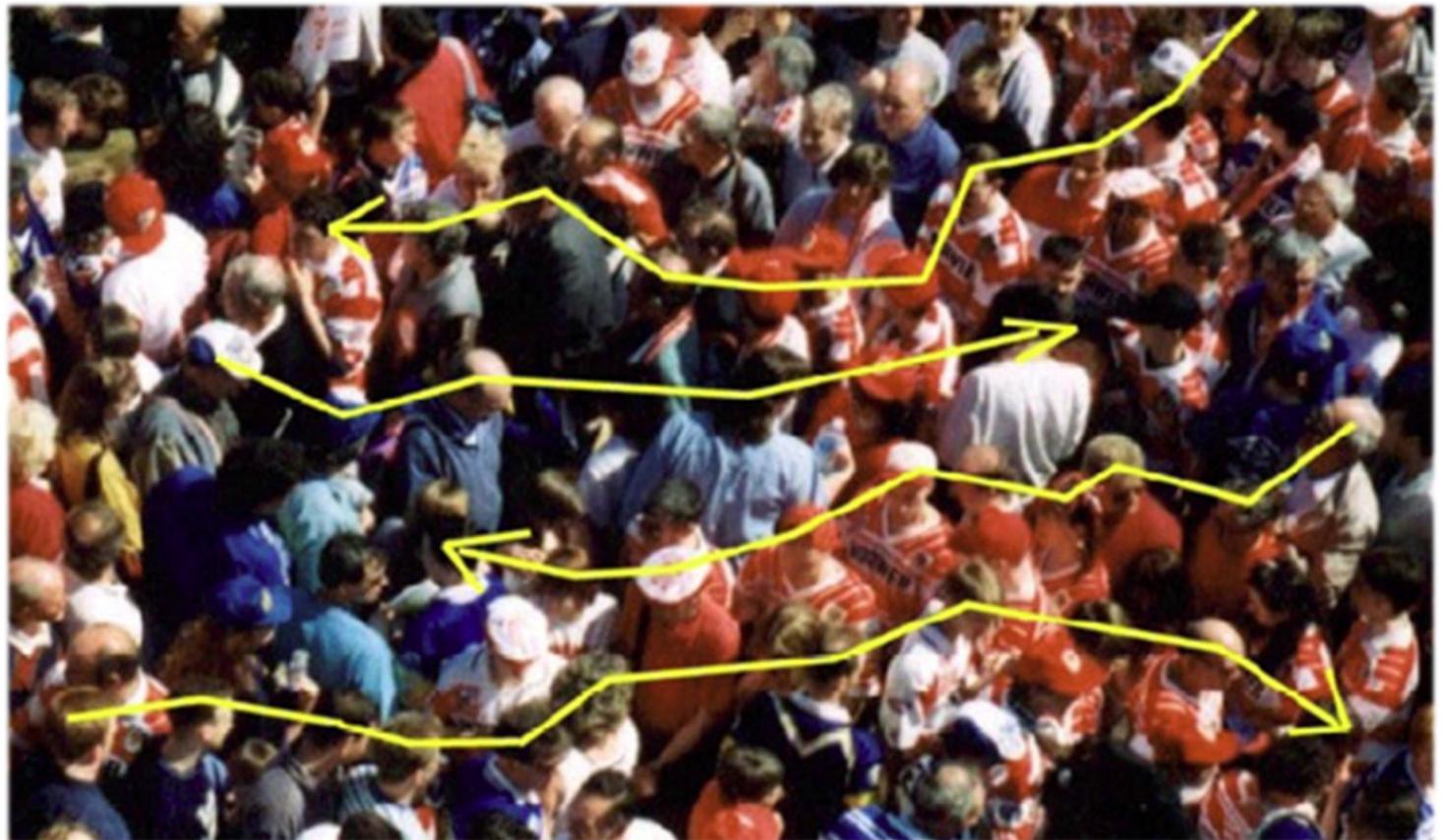


# Partículas humanas inteligentes

Moussaïd, M., Helbing, D., Garnier, S., Johansson, A., Combe, M., & Theraulaz, G. (2009). **Experimental study of the behavioural mechanisms underlying self-organization in human crowds.** *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 276(1668), 2755-2762.

Kok, V. J., Lim, M. K., & Chan, C. S. (2016). **Crowd behavior analysis: A review where physics meets biology.** *Neurocomputing*, 177, 342-362.

Lamarche, F., & Donikian, S. (2004, September). **Crowd of virtual humans: a new approach for real time navigation in complex and structured environments.** In *Computer graphics forum* (Vol. 23, No. 3, pp. 509-518). Oxford, UK and Boston, USA: Blackwell Publishing, Inc.



# Influência de Enxames

- Interações podem ser muito simples.
  - Ex.: uma formiga seguindo a trilha deixada por uma outra.
- Combinação de várias interações pode levar a comportamentos sofisticados.
  - Ex.: Encontrar o menor entre vários caminhos do formigueiro até uma fonte de alimentos.



Esta Foto de Autor Desconhecido está licenciado em CC BY



Esta Foto de Autor Desconhecido está licenciado em CC BY-SA

# Inteligência de Enxames

- Resultados alcançados por interações simples inspiram soluções computacionais.
  - Algoritmos para definição da melhor trajetória de robôs.
  - Algoritmos para definição de redes de telecomunicações e de distribuição de energia.

Sierakowski, C. A., & Coelho, L. D. S. (2005, July). **Study of two swarm intelligence techniques for path planning of mobile robots**. In *16th IFAC world congress, Prague*.

Ali, S. S., & Choi, B. J. (2020). **State-of-the-art artificial intelligence techniques for distributed smart grids: A review**. *Electronics*, 9(6), 1030.



Dibyajyoti Koch  
Photography 2012

<https://djkochphotography.wordpress.com/2012/11/01/power-grid-an-art-of-construction/>



Esta Foto de Autor Desconhecido está licenciado em [CC BY-SA-NC](#)

# Inteligência de Enxames

- Outras inspirações:
  - Forma como os insetos agrupam seus mortos e ordenam suas larvas pode ajudar a analisar dados bancários.
    - Agrupamento
    - Ordenação
  - Divisão de trabalho entre abelhas pode ajudar a definir linhas de montagens em fábricas.



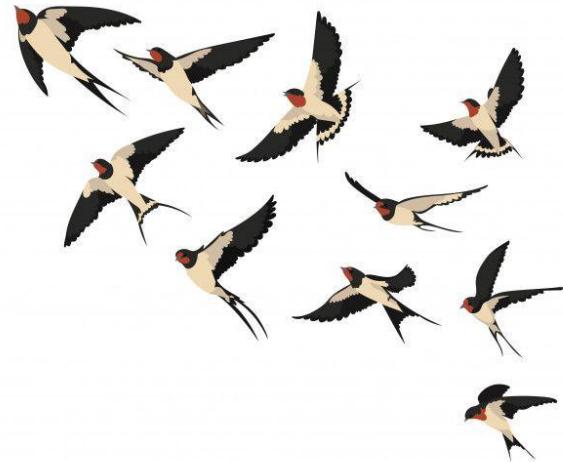
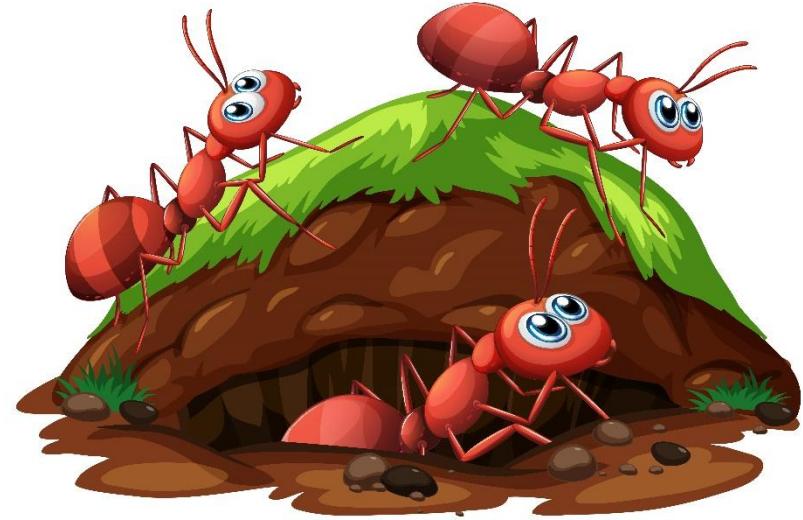
Esta Foto de Autor Desconhecido está licenciado em CC BY-SA



Esta Foto de Autor Desconhecido está licenciado em CC BY-SA

# Inteligência de Enxames

- Algoritmos baseados em enxames.
  - Existem muitos.
    - Baseados em diferentes organismos.
- Exemplos:
  - Otimização por Enxames de Partículas
    - *Particle Swarm Optimization* (PSO)
  - Otimização por Colônias de Formigas
    - *Ant Colony Optimization* (ACO)
  - Competição e Cooperação entre Partículas
    - *Particle Competition and Cooperation* (PCC)



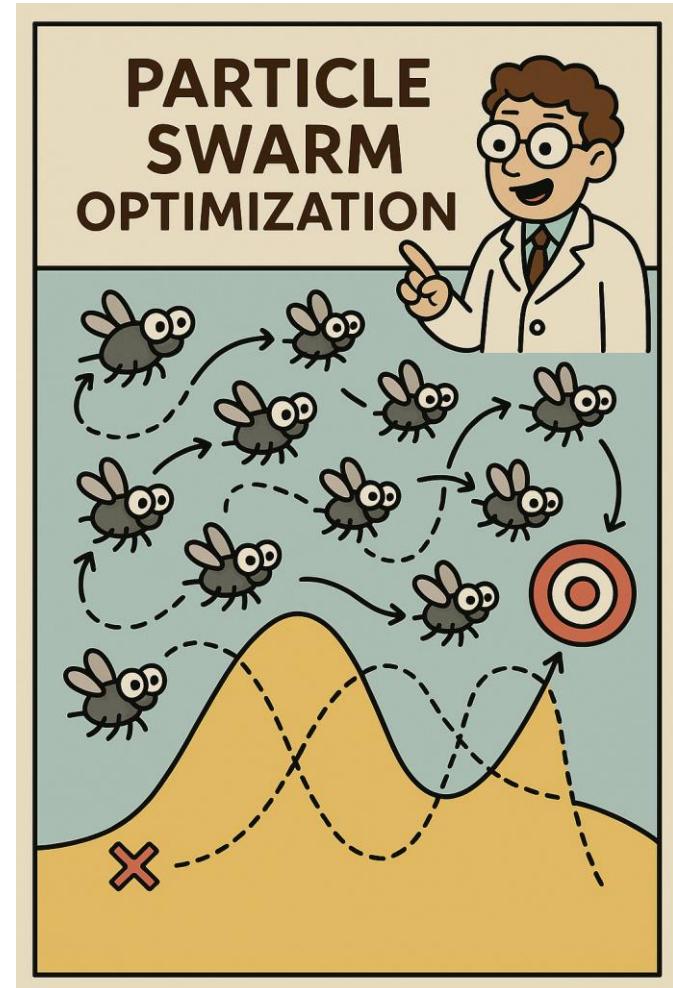
# Mais alguns exemplos:

- Algoritmo de Vagalumes
  - *Firefly Algorithm* (FA)
- Otimizador de Lobos Cinzas
  - *Grey Wolf Optimizer* (GWO)
- Otimização de forrageamento bacteriano
  - *Bacterial Foraging Optimization* (BFO)
- Algoritmo de Morcegos
  - *Bat Algorithm* (BA)
- Otimização por enxame de gatos
  - *Cat Swarm Optimization* (CSO)
- Algoritmo de Busca de Cucos
  - *Cuckoo Search Algorithm* (CSA)
- Colônia de Abelhas Artificiais
  - *Artificial Bee Colony* (ABC)



# Próxima Aula: *Particle Swarm Optimization (PSO)*

- Modelagem do Comportamento de Enxames
- Bandos de Pássaros
- A Lição dos Gansos
- Cardumes de Peixes
- Particle Swarm Optimization
- Princípios de Adaptação Cultural
- Partículas
- Vizinhanças Global e Local
- Algoritmo PSO
- Exercício
- Exploração versus Exploração
- Sociabilidade versus Individualidade
- Modificações do PSO
- Peso da Inércia
- Coeficiente de Restrição
- Enxame de Partículas Totalmente Informado
- PSO versus Algoritmos Genéticos (AGs)
- PSO: Resumo
- PSO: Aplicações



# Bibliografia

- CASTRO, Leandro Nunes. *Fundamentals of Natural Computing: Basic Concepts, Algorithms, And Applications*. CRC Press, 2006.
- CARVALHO, André Ponce de Leon F. de. *Notas de Aula*, 2007.
- BROWNLEE, Jason. *Clever Algorithms: Nature-Inspired Programming Recipes*. Jason Brownlee, 2011.
- BONABEAU, Eric; DORIGO, Marco; THERAULAZ, Guy. *Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems*. Oxford University Press, 1999.
- DORIGO, Marco; STÜTZLE, Thomas. *Ant Colony Optimization*. Bradford Books, 2004.
- BREVE, Fabricio; ZHAO, Liang; QUILES, Marcos G.; PEDRYCZ, Witold; LIU, Jimming. "Particle competition and cooperation in networks for semi-supervised learning". *Knowledge and Data Engineering, IEEE Transactions on*, 2012.
- BREVE, Fabricio Aparecido. *Aprendizado de Máquina em Redes Complexas*. 165 páginas. Tese. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2010.

