

INTELIGÊNCIA EM ENXAMES

Uma única formiga ou abelha não é inteligente, mas suas colônias são.

O estudo da inteligência de enxames fornece conhecimentos para ajudar os seres humanos em tarefas como gerir sistemas complexos como roteamento de veículos de distribuição de mercadorias ou controle de robôs militares.



• AÇÕES DE ENXAMES COMO ENXAMES DE FORMIGAS.. SÃO REALIZADAS SEGUNDO UM PLANO?

- Formigas e termitas (cupim) organizam caminhos, constroem ninhos elaborados, invadem cozinhas e geladeiras. Elas agem segundo um plano?
- Não, segundo biólogos como Deborah M. Gordon da Universidade de Stanford:
- "Se você assistir uma formiga ou cumpim tentar realizar algo, você vai ficar impressionado com quão inapta ela é"



SERÁ?

- Formiga extraíndo néctar doce dos pulgões

<https://youtu.be/0TJT90MJmQg>

- Formigas criando formigueiro em gel:

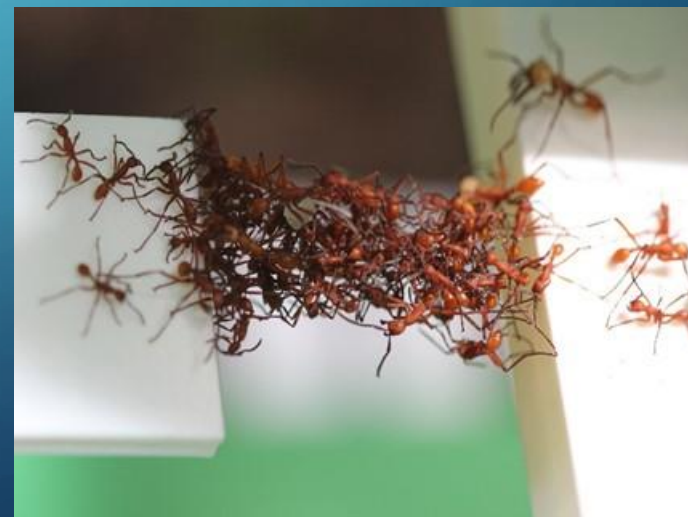
<https://youtu.be/2hg4hqCv0JY>

- Formigas construindo ponte:

<https://youtu.be/A4uv27nSaH4>

INTELIGÊNCIA DE ENXAME

- Se as formigas não são assim tão inteligentes.
- Como explicar, então, o sucesso evolutivo de 12.000 espécies de formigas ao longo de 140 milhões de anos.
- Principalmente por causa da inteligência das colônias de formigas.
- Uma colônia pode resolver problemas, como:
 - ✓ Encontrar o caminho mais curto para a melhor fonte de alimento.
 - ✓ Alocar operarias para tarefas diferentes,
 - ✓ Defender o território das ameaças dos vizinhos



MAS.. COMO?

- Como as ações simples de indivíduos somam o complexo comportamento de um grupo?
- Como centenas de abelhas faz uma decisão crítica sobre sua colmeia se muitos deles discordam?
- O que permite que um bando de arenques coordenem seus movimentos tão precisamente que podem mudar de direção em um flash, como um organismo único, prateado?



... A AUTO-ORGANIZAÇÃO.

- Por exemplo: Numa colônia de centenas à milhões de formigas.
- Não há formigas guerreiras sendo comandadas por outras.
- Não há ninguém gerenciando as formigas operárias.
- A rainha não desempenha nenhuma função exceto a de pôr OVOS.
- Cada formiga segue regras simples e estereotipadas.
- Mas mesmo assim a interação entre elas termina organizando a colônia.
- A colônia de formigas constitui um sistema auto-organizado.

AUTO-ORGANIZAÇÃO.

- O comportamento coletivo emerge do comportamento simples de unidades agindo individualmente.
- A auto-organização ocorre mesmo em animais com habilidades cognitivas limitadas e sem ter acesso a informação global do que está acontecendo em toda a colônia.
- A auto-organização permite que os insetos sociais façam escolhas complexas como alocar trabalhadores para otimizar a busca de fontes de comida e construir estruturas complexas muito maiores que um indivíduo.

JARDIM ZOOOLÓGICO DE INSETOS EM SP

- Planeta inseto
- <https://planetainseto.com.br/>



EXEMPLO: ALOCAÇÃO DE TAREFAS NAS FORMIGAS VERMELHAS (POGONOMYRMEX BARBATUS)

- A colônia calcula todas as manhãs quantos trabalhadores deve enviar fora da colônia para procurar por comida.
- O cálculo depende de múltiplos fatores como por exemplo:
- Ter achado um grande estoque de sementes.
- Ninho foi danificado precisando reencaminhar trabalhadores para concerta-o.
- Algumas devem ser reencaminhadas para coletar lixo.





VEJA:

[HTTPS://WWW.TED.COM/TALKS/DEBORAH_GORDON_D
IGS_ANTS?LANGUAGE=PT-BR](https://www.ted.com/talks/deborah_gordon_digs_ants?language=pt-br)



ALOCAÇÃO DE TAREFAS NAS FORMIGAS MODUS OPERANDI:

- As formigas se comunicam pelo toque e cheiro.
- Além de outros tipos existem formigas patrulheiras e formigas forrageiras.
- Quando uma formiga colide com outra, cheira com suas antenas para descobrir se o outro pertence o mesmo ninho e onde tem trabalhado. (Formigas que trabalham fora do ninho possuem cheiro diferente daqueles que ficam dentro.)
- Antes de deixarem o ninho a cada dia, forrageiras normalmente esperam pelo retorno dos patrulheiros .
- "Quando uma forrageira tem contato com um patrulheiro, é um estímulo para a forrageira sair, diz Gordon.
- "Mas a forrageira precisa vários contatos com intervalos menores de dez segundos antes de sair."

ALOCAÇÃO DE TAREFAS NAS FORMIGAS MODUS OPERANDI:

- Não existe comando central no formigueiro.
- Os comportamentos complexos são construídos de baixo para cima pelas interações entre os membros da colônia, usando regras simples que respondem às informações locais.
- Os padrões resultantes como a construção de ninhos complexos muito maiores que os indivíduos, surgem de múltiplas interações não lineares entre os indivíduos.

ALOCAÇÃO DE TAREFAS NAS FORMIGAS MODUS OPERANDI:

- Gordon capturou as formigas patrulheiras que haviam deixado o ninho cedo.
- Após esperar meia hora, ela simulou o retorno das formigas deixando cair esferas de vidro na entrada do ninho em intervalos regulares — alguns revestido com o cheiro dos patrulheiros, outras com o cheiro das formigas dedicadas a manutenção e outras sem o cheiro.
- Apenas as esferas revestidas com perfume dos patrulheiros estimularam forrageiras para deixar o ninho.
- Sua conclusão: operárias utilizam a taxa de seus encontros com patrulheiros para dizer se é seguro sair. (Se você esbarrar no ritmo certo, é hora de sair para forragear. Se não, é melhor esperar) Uma vez que as formigas começam a trazer comida, outras formigas se juntar o esforço, dependendo da taxa na qual eles encontram retorna operárias.
- "Quando há menos comida, mais tempo demora a forrageira para encontrá-lo e voltar. Se houver mais comida, mais rápido ela volta.
- Então ninguém está decidindo se é um bom dia para forragem. O comportamento é coletivo e não de nenhuma formiga particular."

TRILHAS E FEROMÔNIOS

- Como as formigas conseguem chegar ao alimento pelo caminho melhor caminho (caminho mais curto e seguro).
- Liberam feromônios na ida e na volta.
- Mais na volta.
- Vão atrás do feromônio.
- O feromônio evapora.
- O caminho mais transitado é o melhor e o caminho melhor é o mais transitado.



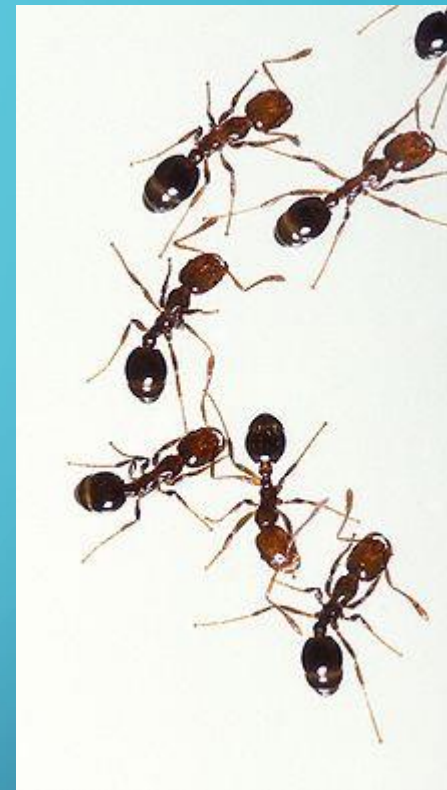
TRILHAS E FEROMÔNIOS

- A trilha das formigas resulta de um feedback positivo.
- Quando uma operária retorna com alimento para o ninho, deixa um caminho de feromônio liberado por uma glândula de odores.
- Outras formigas seguem a trilha atrás da comida, deixando suas trilhas de feromônio em cima da trilha antiga, reforçando a trilha.
- Quando a comida acaba, as formigas deixas de reforçar a trilha que evapora e enfraquece.
- Trilhas mais curtas são mais reforçadas porque existe um fluxo maior de formigas retornando.



TRILHAS E FEROMÔNIOS

- O tráfego de formigas por ser de até 100 formigas por minuto.
- A colisão entre formigas indo e voltando é minimizada pela criação de linhas de tráfego.
- 3 linhas: a linha do meio é para as formigas voltando e as duas laterais são para as formigas partindo.
- Humanos formam duas linhas espontâneas de tráfego de pedestres em sentidos opostos, sem a utilização de feromônios.
- A velocidade e direção em humanos é ajustada inconscientemente com base em informações visuais.



<https://en.wikipedia.org/wiki/Ant>

NINHO DE CUPINS

- Cupins são mestres da construção de ninhos.
- Ninhos podem chegar a 30 metros de diâmetro e são construídos por indivíduos de apenas alguns milímetros.
- Dentro do ninho de algumas espécies (Macrotermes termites) existe um intrincado sistema de ventilação por ductos e cavidades especializadas no cultivo de fungos (alimento) e existe até uma câmara especial para acomodar o rei e a rainha.

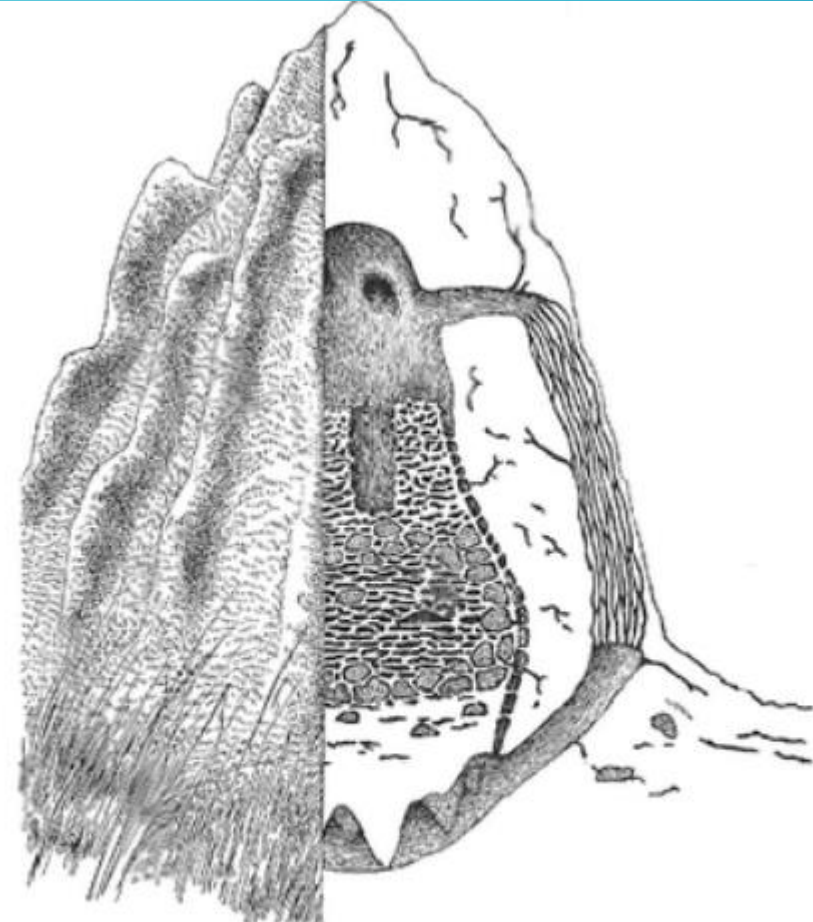


<http://www.cupim.net.br/cupim-ninhos.htm>

NINHO DE CUPINS

- A construção do ninho é um processo de baixo para cima.
- A estrutura complexa emerge de regras simples e interações locais entre cupins operários cegos.
- Um operário cego vai até a câmara real em resposta a uma pluma de feromônio emitido pela rainha.
- Operários a uma certa distância da rainha depositam lama que acaba criando uma parede e o teto da câmara real.
- Quando a rainha cresce, a distância do limiar para construção da parede modifica-se e os operários movem a parede e criam uma câmara maior.

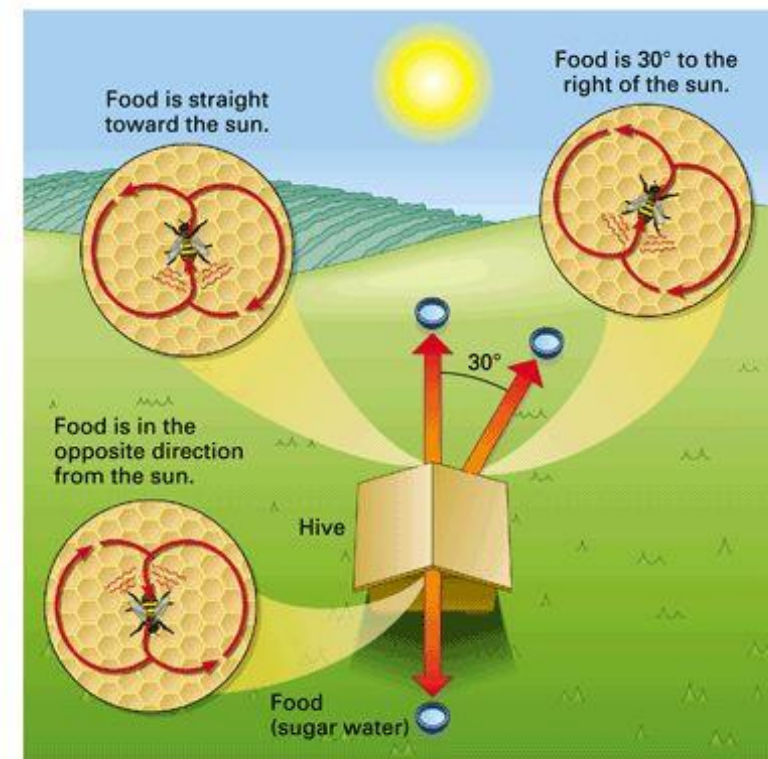
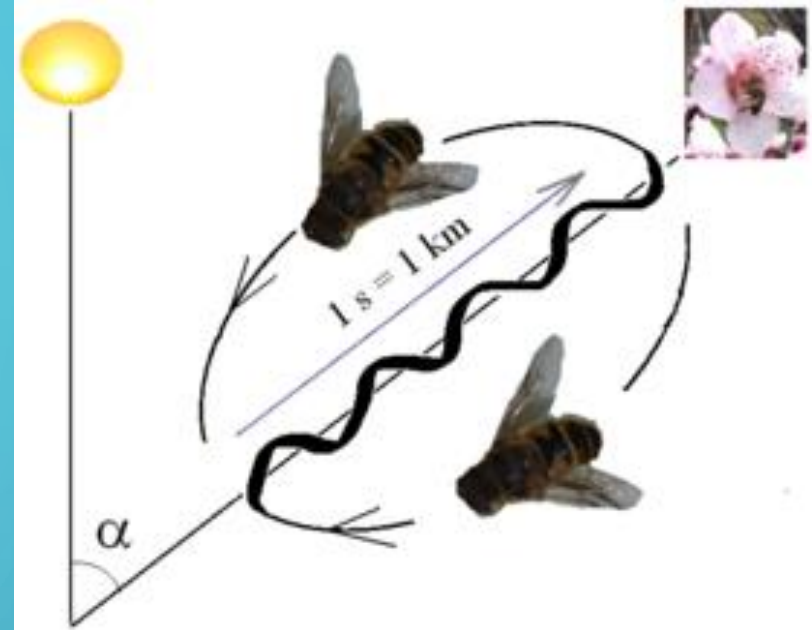
Animal Behaviour



26. A *Macrotermes* termite mound. A vertical section (right) reveals a complex network of ventilation and living chambers for different functions. The 5-metre tall mud structure is constructed by blind workers each only 0.005 metres long.

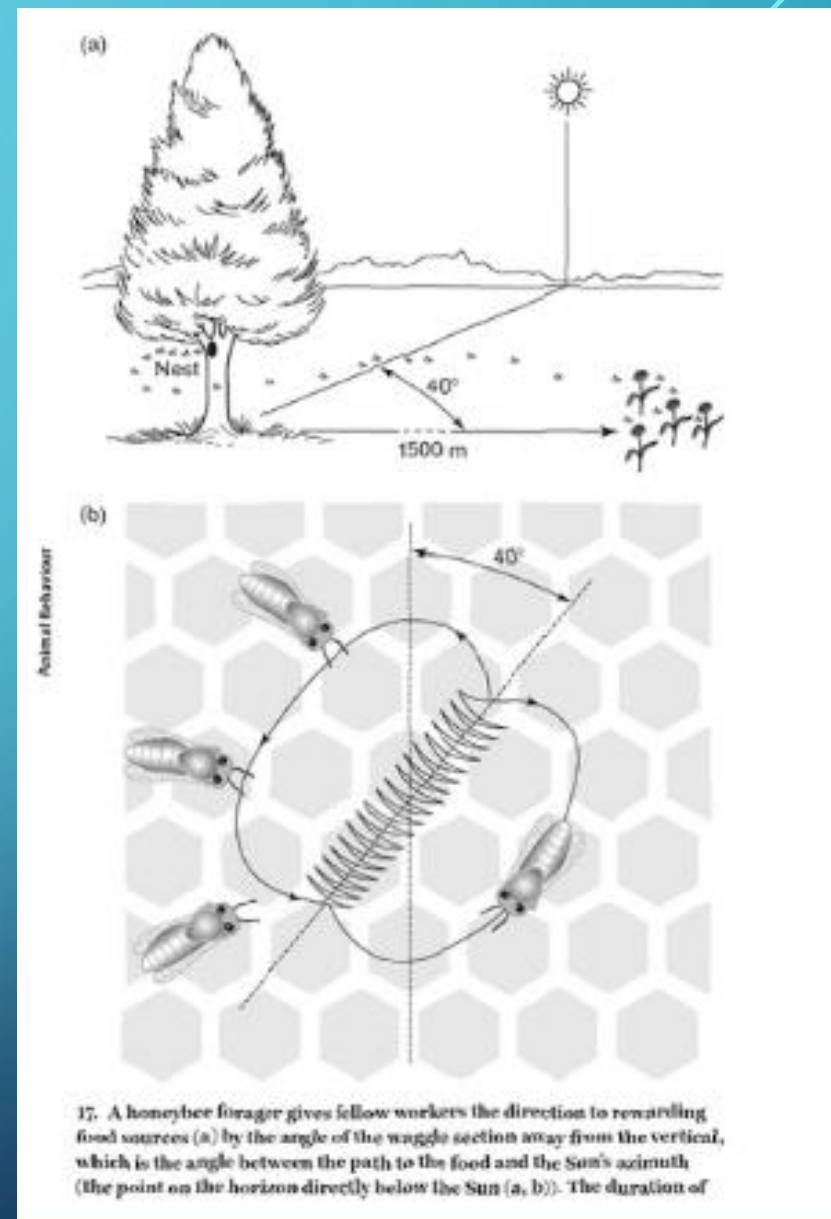
A DANÇA DAS ABELHAS

- As abelhas comunicam-se com outras para indicar a localização das flores ou a localização de locais potenciais para instalar uma nova colmeia. Para se comunicar utilizam uma dança.
- A duração equivale à distância.
- O ângulo α indica o ângulo do alvo em relação ao sol.
- A frequência indica a qualidade do alvo.
- Veja: <https://youtu.be/-7ijl-g4jHg>
- As abelhas vão imitando o movimento da abelha inicial para divulgar a informação.
- Existe concorrência entre as abelhas que trazem as informações.



A DANÇA DAS ABELHAS

- As respostas de abelhas individuais a danças das forrageiras permitem que a colônia como um todo localize as melhores fontes de alimento dentro de uma área de até 500 Km².
- São priorizadas as localizações de acordo com a necessidade da colônia, como obtenção de suprimento de nectar, pólen, água para resfriar o ninho, etc.
- A abelha forrageira conhece a qualidade das flores visitadas, mas não sabe o valor da fonte encontrada em relação as necessidade da colônia naquele momento.
- Se o seu carregamento é retirado rapidamente, ela dança mais intensamente.
- Se ela espera na fila, pode até não dançar mais.



QUANDO A CASA FICA LOTADA..

- No fim da primavera as colmeias a colmeia fica muito lotada.
- Uma nova rainha, vários zangões vão para um galho perto da colmeia enquanto abelhas exploradoras procuram por um local apropriado para uma nova colmeia..
- Após a exploração inicial executam a dança enfatizando com a frequência da cauda a sua preferência.
- Assim mais abelhas vão para os diferentes locais potenciais.
- Quando mais de quinze abelhas pousam no local todas elas voltam para a rainha com a decisão pronta.
- Este estudo foi realizado na ilha de Appledore pelo Dr. Thomas Seeley.

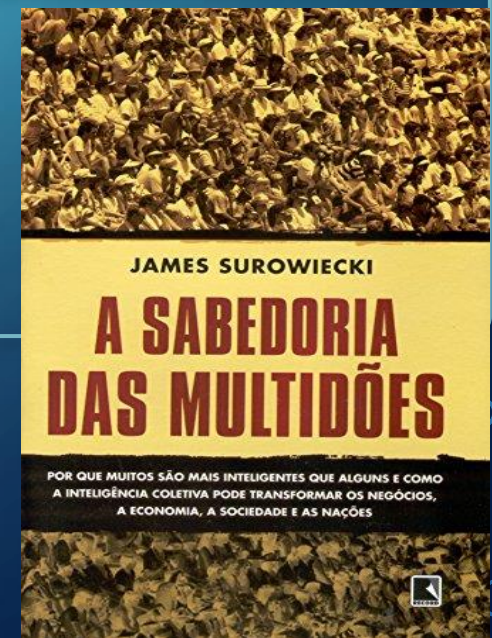
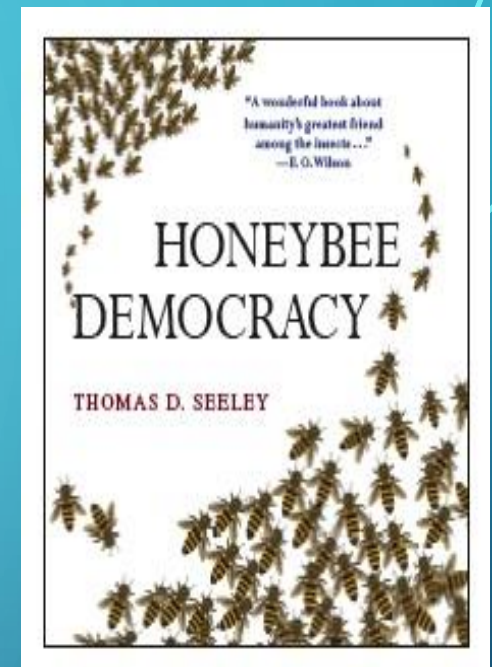


APRENDENDO DAS ABELHAS

Honeybee Democracy: "I've applied what I've learned from the bees to **run faculty meetings,**" he says. To avoid going into a meeting with his mind made up, hearing only what he wants to hear, and pressuring people to conform, Seeley asks his group to identify all the possibilities, kick their ideas around for a while, then vote by secret ballot. **"It's exactly what the swarm bees do, which gives a group time to let the best ideas emerge and win. People are usually quite amenable to that."**

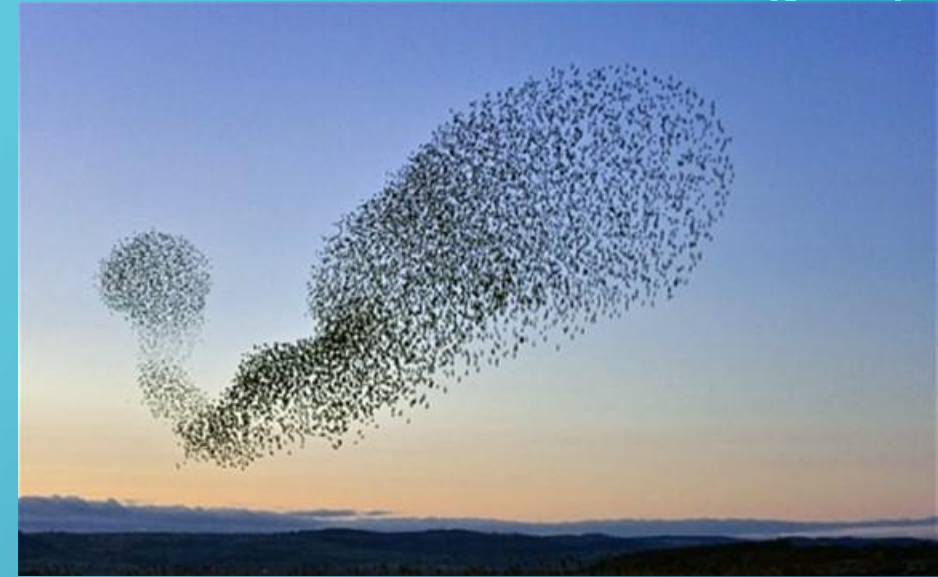
Fonte: <http://ngm.nationalgeographic.com/2007/07/swarms/miller-text/1>

A Sabedoria das Multidões (The Wisdom of Crowds), primeiramente publicado em 2004, é um livro escrito por James Surowiecki sobre a agregação de informação em grupos, resultando em decisões que, como ele argumenta, são quase sempre melhores do que as que poderiam ser feitas por qualquer membro do grupo. **collective judgment when they place their bets.** (fonte wikipédia)



A DANÇA DAS MANADAS

- Enxames e manadas de animais permitem uma melhor sobrevivência de cada indivíduo e a dissuasão de possíveis predadores.
- Nenhum indivíduo está no controle da manada.
- Cada um executa movimentos precisos de acordo aos movimentos dos vizinhos mais próximos
- Exemplo: Numa manada em fuga de um depredador os indivíduos no franco de detrás da manada executam movimentos precisos para criar padrões que induzem o predador a confundir a presa.



COMPORTAMENTO COLETIVO

- Milhares de pássaros (*Sturnus vulgaris*) voam juntos durante o por do sol, formando complexos padrões em espiral, de maneira espontânea e sincronizada.
- O comportamento coletivo pode ser modelado sem a necessidade de um líder.
- Cada agente coordena a sua ação fazendo suas próprias decisões sobre a posição, orientação e movimento em comparação a poucos vizinhos.
- Estudos sugerem que cada pássaro responde à apenas 6 ou 7 vizinhos.



https://www.youtube.com/watch?v=V4f_1_r80RY

COMPORTAMENTO COLETIVO

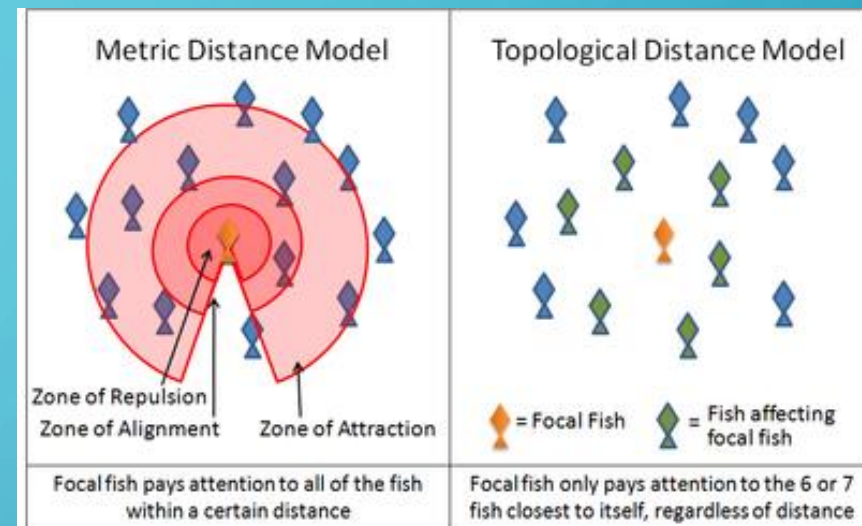
- Usando informação local e regras simples, eles se mantêm próximos, mas não tão próximos, tentando manter a mesma velocidade que os vizinhos.
- A correção das velocidades individuais é independente do tamanho do grupo e cria sincronização.
- Cada agente reage apenas se baseando em seus vizinhos e esses por sua vez fazem os seus próprios ajustes de movimento levando ao comportamento coletivo.
- O resultado é um comportamento sincronizado e organizado, que pode se dividir e se reunir em blocos.



https://en.wikipedia.org/wiki/File:Barracuda_Tornado.jpg

COMPORTAMENTO COLETIVO

- A presença de um predador cria mudanças de direção nos indivíduos que se propagam em ondas de ajuste de posição e velocidade ao longo do grupo.
- O efeito global não é percebido por cada indivíduo, mas cria um efeito global na população.
- Cardumes de peixes tem comportamentos parecidos. Os peixes utilizam suas linhas laterais para detectar o movimento dos vizinhos.
- Os mesmos padrões de comportamentos coletivos podem ser encontrados em peixes, aves e outros animais.



https://en.wikipedia.org/wiki/File:Metric_vs_topological_distance_for_animal_aggregations.png

MODELO DE MOVIMENTO COLETIVO

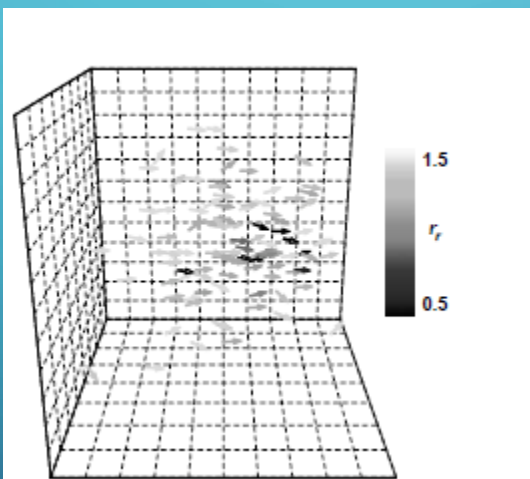
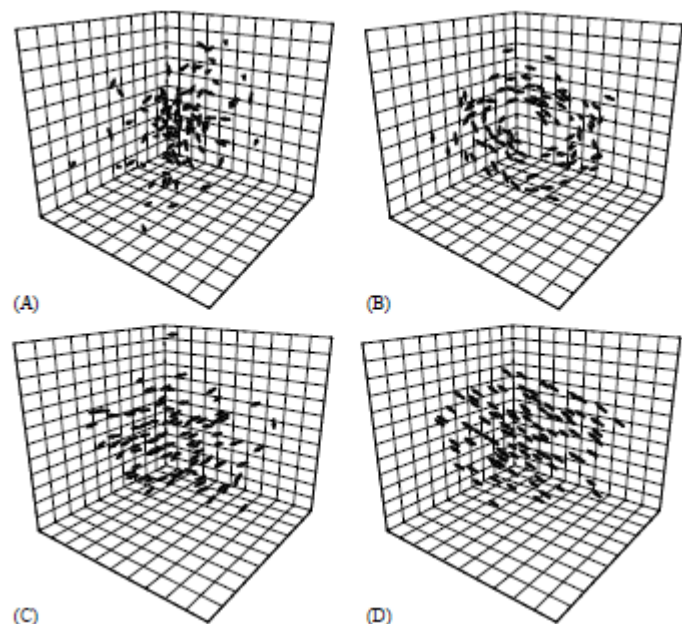
J. theor. Biol. (2002) **218**, 1–11

doi:10.1006/jtbi.3065, available online at <http://www.idealibrary.com> on IDEAL[®]



Collective Memory and Spatial Sorting in Animal Groups

IAIN D. COUZIN^{*†}, JENS KRAUSE[†], RICHARD JAMES[‡], GRAEME D. RUXTON[§]
AND NIGEL R. FRANKS[¶]



Review

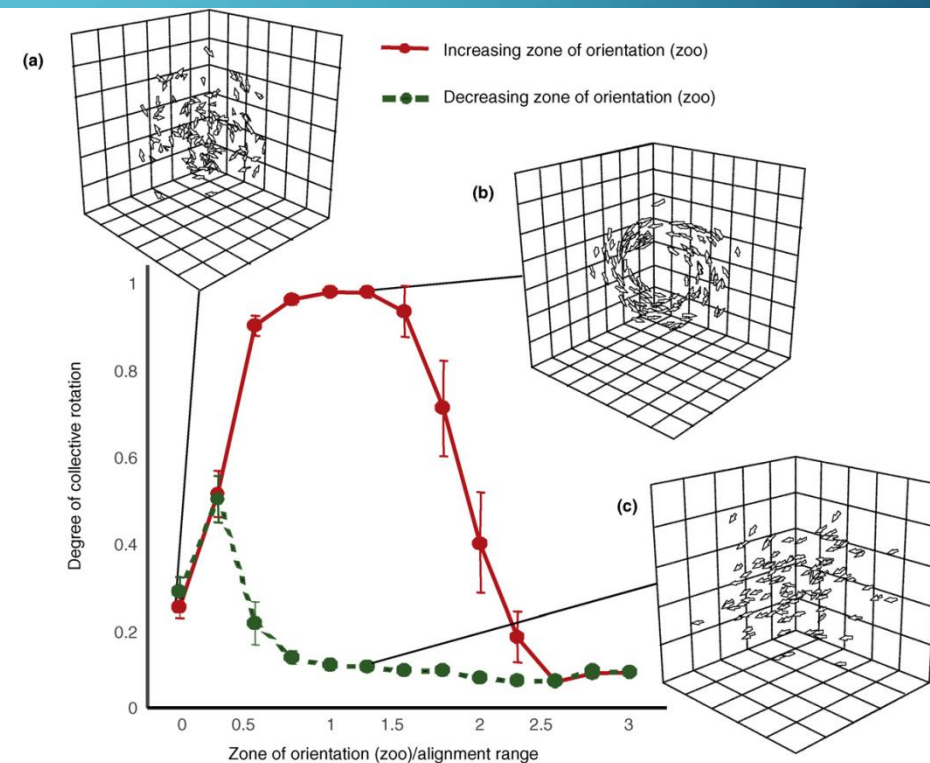
Cell
PRESS

Collective cognition in animal groups

Iain D. Couzin

Department of Ecology and Evolutionary Biology, Princeton University, Princeton, NJ 08544, USA

Trends in Cognitive Sciences Vol.13 No.1



APLICAÇÕES DA INTELIGÊNCIA DE ENXAMES

- Em USA.
- ✓ Companhia American Air Liquide: Otimização de rotas de caminhões de distribuição de produtos. “We developed a program that sends out billions of software ants to find out where the pheromone trails are strongest for our truck routes” (Charles N. Harper. Air Liquide).
- ✓ Companhia Southwest Airlines utiliza algoritmos de formigas para melhoras nos serviços do aeroporto Sky Harbor em Phoenix.
- França e Inglaterra otimizaram as redes de telefonia “depositado feromônios virtuais em postos de comutação (subestações)”. A frequência indica a qualidade do alvo.

MAIS APLICAÇÕES DA INTELIGÊNCIA DE ENXAMES

- Robótica de enxames: Projeto centibots.
- Simulação realista de enxames em filmes (Batman Returns)
- Aplicações militares para achar alvos em prédios com enxames de robôs.
- Swarmanoid de Marco Dorigo. Robots cooperando com habilidades complementares:
 - ✓ foot-bots
 - ✓ Hand-bots
 - ✓ Eye-bots



<https://en.wikipedia.org/wiki/Centibots>

APLICAÇÕES DE AUTO-ORGANIZAÇÃO

- Humanos utilizam a estratégia de muitos cérebros aplicados em um mesmo problema no desenvolvimento de software open-source.
- Inteligência das populações tem aplicações nos negócios e organizações que precisam de grupos capazes de realizar tomada de decisões melhores.
- Estudos sugerem que podem existir vantagens em grupos compostos por indivíduos com opiniões diversas, o que sugere a necessidade de encorajar a diversidade entre os empregados.
- Grupos diversos com opiniões independentes parecem tomar melhores decisões.

APLICAÇÕES DE AUTO-ORGANIZAÇÃO

- Algoritmos inspirados em comportamento social de insetos são eficientes na solução de problemas de comunicação em redes telefônicas e internet.
- Criação de algoritmos flexíveis e robustos como colônias em um ambiente dinâmico.
- Utilização de auto-organização de cardumes e pássaros são utilizados na programação de robôs autônomos com comportamento populacional.
- Insights sobre o comportamento de multidões em humanos são utilizados na construção de prédios públicos mais eficiente, como cinemas que podem ser evacuados rapidamente por saídas de emergência. Portas de emergência sempre devem abrir para fora e nunca ao contrário. Multidão tende a ir para frente nessas situações.