



Computação Natural

UNIDADE 06

Introdução à otimização da colônia de formigas, um algoritmo bioinspirado em formigas

Otimização da colônia de formigas

As sociedades de insetos representam exemplos notáveis de sistemas distribuídos, com uma organização social impressionante. Apesar de serem compostas por membros individualmente simples, elas são capazes de executar tarefas altamente complexas coletivamente. Esta semana, nosso foco recai sobre as formigas, conhecidas por sua notável organização social. Tal característica permite que elas realizem tarefas que vão muito além das capacidades de um indivíduo isolado (DORIGO; STUTZLE, 2004).

O campo de pesquisa sobre algoritmos de formigas concentra-se no exame de modelos baseados no comportamento desses insetos, utilizando tais modelos como inspiração para o desenvolvimento de novos algoritmos (DORIGO; STUTZLE, 2004). A otimização da colônia de formigas foi desenvolvida por Dorigo (1992) na sua tese de doutorado.



Figura 1: Formigas em busca de alimento. Fonte: ©Africa Studio/Adobe Stock.

Os comportamentos das formigas, como a exploração em busca de alimentos, a especialização de tarefas e o transporte coletivo, são fonte de inspiração para uma variedade de algoritmos. Esses insetos coordenam suas ações por meio de um processo conhecido como estigmergia, uma forma de comunicação indireta que ocorre por meio de alterações no ambiente. Especificamente, as formigas liberam feromônios em determinado espaço, que servem para aumentar a probabilidade de outras formigas seguirem a mesma trilha. Inspirados nessa estratégia natural, os algoritmos de otimização baseados no comportamento das formigas aplicam um tipo de estigmergia artificial para dirigir o comportamento de agentes artificiais (DORIGO; STUTZLE, 2004).

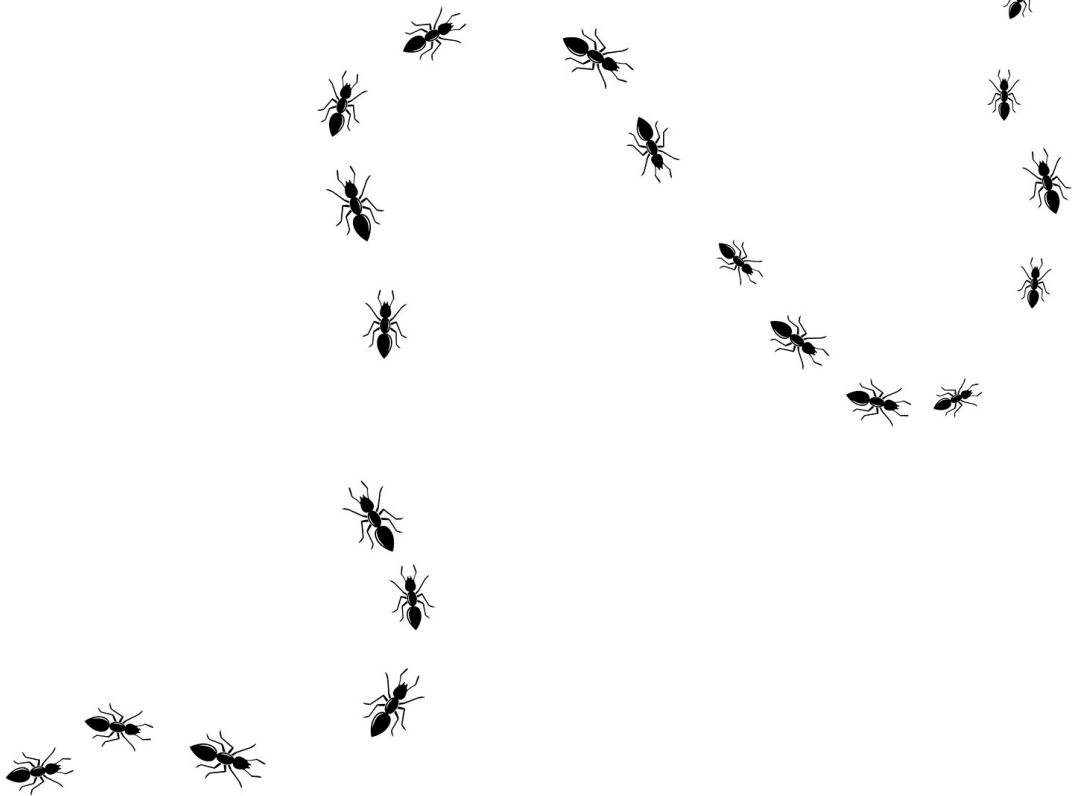


Figura 2: Trilha de formigas em busca de alimento. Fonte: ©Africa Studio/Adobe Stock.

A comunicação das formigas por feromônios é a chave para formar aquelas trilhas persistentes que observamos em nossos jardins, conforme ilustrado na figura 2. É comum que as pessoas coloquem obstáculos nessas trilhas para testar a capacidade de adaptação das formigas (DORIGO; STUZLE, 2004). Algumas espécies de formigas possuem a capacidade inata de identificar a rota mais eficiente, um fenômeno verificado por biólogos e atribuído à comunicação baseada em feromônios, que são substâncias químicas com odor. As formigas liberam feromônios para sinalizar as rotas mais eficientes, facilitando que outros membros da colônia as sigam. Essa estratégia de sinalização é simulada em algoritmos de otimização inspirados em formigas para resolver problemas computacionais complexos (DORIGO; BIRATTARI; STUZLE, 2006).

No algoritmo de otimização inspirado na colônia de formigas, cada agente simula o comportamento das formigas ao buscar e transportar recursos para a colônia de maneira eficiente. Assim como as formigas reais, esses agentes deixam um rastro de feromônios durante sua movimentação. Outros agentes percebem essa trilha e são incentivados a seguir o caminho que apresenta maior concentração de feromônios, o que geralmente indica uma rota mais curta ou mais eficaz. Com o tempo, as rotas mais curtas acabam por ser mais frequentadas e, por isso, com maior acúmulo de

feromônios. A evaporação do feromônio também desempenha um papel, pois as trilhas menos utilizadas perdem feromônios mais rapidamente, diminuindo sua atratividade (HARTMANN *et al.*, 2011).

A figura 3 ilustra o impacto da concentração de feromônios no caminho escolhido pelas formigas ao longo do tempo. Inicialmente, observamos que a quantidade de feromônios é distribuída de maneira uniforme entre os diferentes trajetos, resultando em um número igual de formigas explorando todas as direções possíveis. No entanto, com a passagem do tempo, torna-se evidente que a trilha com maior concentração de feromônios, que corresponde ao caminho mais curto à esquerda, atrai um número maior de formigas. No último quadro à direita, verificamos ainda mais acentuadamente que o trajeto mais longo é bem menos frequentado, destacando ainda mais a preferência das formigas pelo caminho que se tornou mais marcado pela maior quantidade de feromônios. Esse fenômeno reflete a eficiência do sistema de comunicação química das formigas em identificar e seguir a rota mais eficiente.

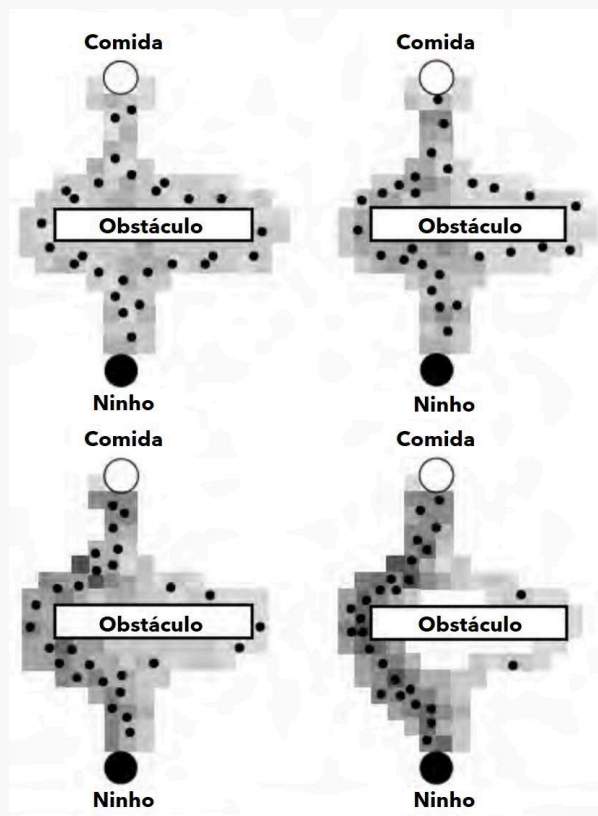


Figura 3: Mudança na concentração de feromônios. Fonte: Hartmann *et al.* (2011).

A otimização baseada em colônia de formigas é um método que aprimora soluções de problemas por meio da atualização constante de um caminho virtual marcado por equivalentes a feromônios dentro de um espaço de busca. Este processo é guiado por uma equação matemática que calcula a probabilidade de transição, dependendo da densidade de feromônio presente. A cada ciclo do algoritmo, são criadas novas

formigas globais, e seu desempenho ou adequação (*fitness*) é avaliado. Com base nesse desempenho, os níveis de feromônio são ajustados, fortalecendo as áreas com soluções promissoras e enfraquecendo aquelas menos eficazes. Se uma melhoria é detectada, as formigas são encaminhadas para essa área de solução superior. Se não, uma nova direção é escolhida aleatoriamente. Após isso, o algoritmo procede à atualização dos feromônios e sua subsequente evaporação, simulando o processo natural. O mecanismo de otimização do algoritmo leva em consideração tanto as condições locais quanto as globais, permitindo que as formigas se direcionem para as regiões mais promissoras baseadas na probabilidade calculada (AHMED *et al.*, 2020). Esse método é detalhadamente ilustrado na figura 4.

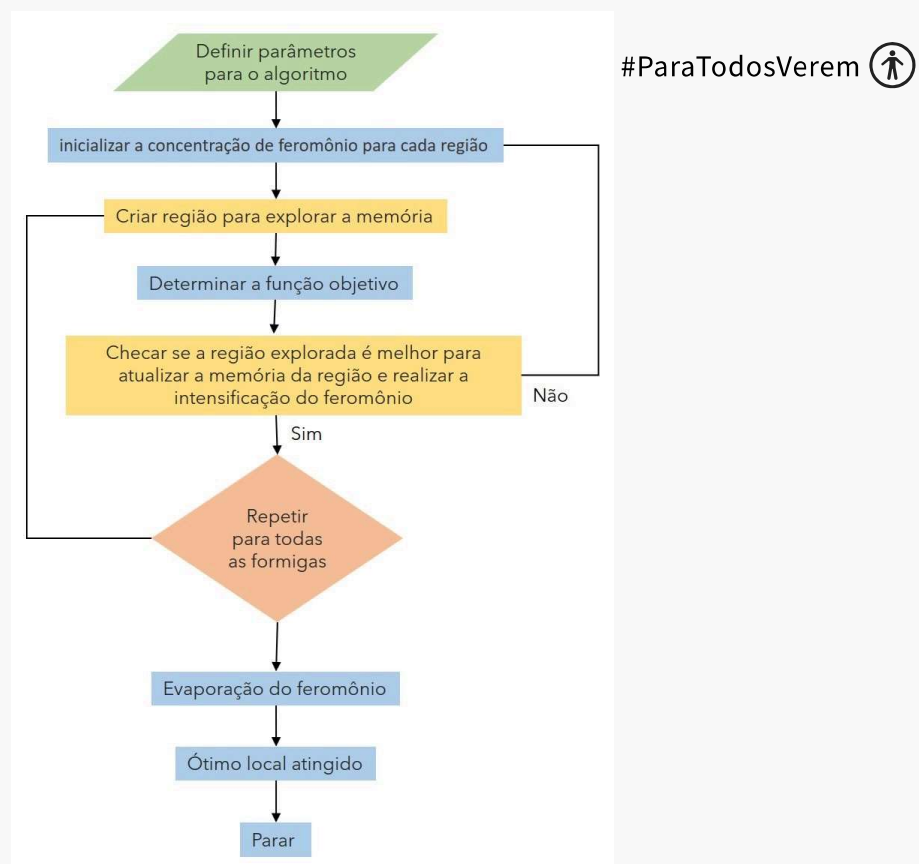


Figura 4: Fluxograma da otimização da colônia de formigas. Fonte: Ahmed *et al.* (2020).

Agora vamos mergulhar na aventura do aprendizado com uma videoaula empolgante! Esta semana, vamos dar vida aos conceitos teóricos, aplicando a fascinante estratégia de otimização da colônia de formigas a um desafio real de otimização. O código utilizado está disponível [aqui](#).

| Conclusão da Unidade e Referências

E assim concluímos a sexta semana do nosso curso, na qual investigamos o intrigante mundo da otimização da colônia de formigas.

Exploramos como as formigas, na busca incansável por alimento, distribuição eficaz de tarefas e impressionante capacidade de transporte cooperativo, comunicam-se de maneira singular: por meio da estigmergia. Esse método de comunicação envolve deixar um rastro químico no solo — conhecido como feromônio — que guia outras formigas pela mesma rota, intensificando o uso do caminho mais eficiente, geralmente o mais curto, devido ao acúmulo de feromônios (DORIGO; STUTZLE, 2004). Este fascinante mecanismo biológico inspira a criação de algoritmos robustos de otimização (HARTMANN *et al.*, 2011).

No vídeo desta semana, vivenciamos essa inspiração em ação: aplicamos diretamente a otimização da colônia de formigas em um exercício prático.

AHMED, Z. E. *et al.* Energy optimization in low-power wide area networks by using heuristic techniques. *In*: CHAUDHARI, B. S.; ZENNARO, M. (Ed.). **PWAN technologies for IoT and M2M applications**. [S.l.: s.n.], 2020. p. 199-223.

DORIGO, M. **Optimization, learning and natural algorithms**. 1992. Tese (Doutorado) - Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Milano, Milano, 1992.

DORIGO, M.; BIRATTARI, M.; STUTZLE, T. **Ant colony optimization**. IEEE Computational Intelligence Magazine, [s.l.], v. 1, n. 4, p. 28-39, 2006.

DORIGO, M.; STUTZLE, T. **Ant colony optimization**. Cambridge: Bradford Book, 2004.

HARTMANN, S. A. *et al.* Social insect societies for the optimization of dynamic np-hard problems. *In*: XIAO, Y. (Ed.). **Bio-inspired computing and networking**. [S.l.: s.n.], 2011. p. 43-68.

