



# Aplicações de Ant Colony em Estudos de Sensitividade

## Applications of Ant Colony in Sensitivity Studies

Felipe André Wieler<sup>1</sup>,

André Fabiano Steklain Lisbôa<sup>2</sup>

### RESUMO

Neste trabalho, apresentarei uma versão adaptada de um algoritmo fundamentado nas dinâmicas de colônias de formigas, bem como uma adaptação desse algoritmo para execução em múltiplas threads. Este algoritmo foi concebido com o propósito de aprimorar a eficiência na busca das soluções mais ótimas durante a realização de simulações do experimento de física em questão, utilizando estratégias inspiradas no comportamento das formigas ao encontrar o caminho mais eficiente para o alimento, por meio do rastreamento de feromônios. Tais simulações foram conduzidas empregando a plataforma GLoBES (Global Long Baseline Experiment Simulator) e direcionadas para experimentos de neutrinos. Os resultados dessas simulações foram representados por meio de gráficos gerados pela ferramenta GLoBES. Este trabalho tem como objetivo fundamental otimizar o processo de simulação do experimento envolvendo neutrinos, eliminando a necessidade de realizar a totalidade do experimento. Em vez disso, a atenção é concentrada especificamente nas etapas relacionadas às interações das formigas e aos caminhos que elas percorrem, possibilitando uma análise mais eficaz e eficiente dessas partes críticas do experimento. A adaptação para execução em múltiplas threads também visa acelerar o processo, tornando-o ainda mais eficaz em termos de processamento computacional.

**PALAVRAS-CHAVE:** colonia de formigas; física matemática; física de neutrinos;

### ABSTRACT

In this paper, I will present an adapted version of an algorithm based on ant colony dynamics, as well as an adaptation of this algorithm for execution in multiple threads. This algorithm was designed to improve the efficiency in finding the most optimal solutions during the execution of simulations of the physics experiment in question, using strategies inspired by the behavior of ants when finding the most efficient path to food, through the tracking of pheromones. These simulations were conducted using the GLoBES (Global Long Baseline Experiment Simulator) platform and targeted at neutrino experiments. The results of these simulations were represented by means of graphs generated by the GLoBES tool. The fundamental objective of this work is to optimize the simulation process of the neutrino experiment, eliminating the need to perform the entirety of the experiment. Instead, the focus is concentrated specifically on the steps related to the interactions of the ants and the paths they take, enabling a more effective and efficient analysis of these critical parts of the experiment. The adaptation for execution in multiple threads also aims to accelerate the process, making it even more efficient in terms of computational processing.

**KEYWORDS:** ant colony; mathematical physics; neutrinos physics

### ANT COLONY

O algoritmo de otimização por colônia de formigas (*Ant Colony Optimization* - ACO) foi desenvolvido por (DORIGO; MANIEZZO; COLORNI, 1996) com o objetivo de emular o comportamento de busca das formigas ao encontrar o caminho mais eficiente para o alimento. Uma característica

<sup>1</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: felipew@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3516608152501320>.

<sup>2</sup> Docente no Programa De Pós-Graduação Em Física E Astronomia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: steklain@utfpr.edu.br. ID Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6860638134885758>.



fundamental desse algoritmo é a utilização do feromônio, uma substância química liberada pelas formigas para fins de comunicação.

As formigas depositam feromônio em seu caminho enquanto se movem, criando uma trilha de feromônio que outras formigas podem seguir. Essa trilha de feromônio funciona como uma espécie de sinalização, permitindo que as formigas subsequentes identifiquem e escolham o caminho com a maior concentração de feromônio, o que geralmente leva ao alimento. Essencialmente, o feromônio atua como um mecanismo de comunicação indireta entre as formigas, facilitando a descoberta e a seleção de rotas mais eficazes.

O ACO tem sido aplicado na resolução de uma variedade de problemas de otimização, incluindo o famoso "problema do caixeiro viajante", que envolve encontrar a rota mais curta que visita um conjunto de cidades uma única vez e retorna ao ponto de partida. (WANG; GAO; TODO, 2018)

## APLICAÇÃO DO ACO AO EXPERIMENTO DE NEUTRINOS

Neste trabalho, estamos adaptando e aplicando o ACO apresentado no artigo Edge detection in digital images using Ant Colony Optimization (RAFSANJANI; VARZANEH, 2015).

- Inicialmente, introduzimos um conjunto de  $k$  formigas em locais aleatórios em uma grade de dimensões  $W \times H$  e inicializamos a concentração de feromônio em todos os pontos da grade com um valor constante.
- No segundo estágio, realizamos o cálculo de uma heurística para cada posição adjacente em uma grade de dimensões  $3 \times 3$  em torno da posição atual de cada formiga. Essa heurística é determinada com base em informações do experimento de neutrinos do GLoBES (HUBER et al., 2007), juntamente com as concentrações de feromônio já depositadas. A melhor solução é identificada como a posição para a qual a formiga deve se deslocar.
- No terceiro estágio, procedemos à atualização da matriz de feromônio. Essa atualização envolve dois processos principais: a evaporação dos feromônios, que é regulada por uma constante predefinida e é realizada assim que todas as formigas se moveram, e o depósito de novos feromônios, que depende da solução encontrada pela formiga em questão e é realizada por cada formiga assim que esta se move. Esses processos garantem a adaptação contínua das trilhas de feromônio com base nas escolhas feitas pelas formigas, contribuindo para a melhoria progressiva do algoritmo de otimização.

## ALTERAÇÕES NO ALGORITMO ACO

A modificação que realizei neste algoritmo foi concebida com o propósito específico de abordar o problema em foco. Uma das mudanças diz respeito à maneira como ocorre o depósito de feromônios pelas formigas. Ao invés de simplesmente depositarem novos feromônios em sua posição atual, as formigas agora distribuem esses feromônios em uma grade adjacente de dimensões  $3 \times 3$ , considerando sua posição atual como ponto de referência. Vale ressaltar que o efeito desse



depósito é reduzido à medida que a distância entre a posição da formiga e as outras posições na grade aumenta.

Adicionalmente, introduzi uma condição de parada no algoritmo. Esta condição determina o encerramento do processo assim que um número predefinido de pontos no gráfico desejado, de acordo com a configuração, é atingido. Paralelamente, implementei uma condição de "morte" para as formigas. Se uma formiga não consegue encontrar uma solução melhor após um determinado número de iterações  $M$ , ela é removida do processo, sendo substituída por uma nova formiga criada aleatoriamente em um ponto na grade. Este processo de substituição é repetido até que o número máximo de formigas,  $k$ , inicialmente definido, seja atingido.

Uma outra aprimoração significativa foi a introdução de uma matriz de heurística. Essa matriz armazena os valores de heurística calculados para cada ponto da grade assim que são determinados pela primeira vez. Tal medida acelera consideravelmente o algoritmo, evitando cálculos repetitivos e desnecessários.

Por fim, visando a otimização máxima do desempenho do algoritmo, implementei a utilização de múltiplos threads. Isso possibilita a execução simultânea do algoritmo em diversos processadores, impulsionando ainda mais o processamento e tornando-o excepcionalmente eficiente em termos de tempo de execução.

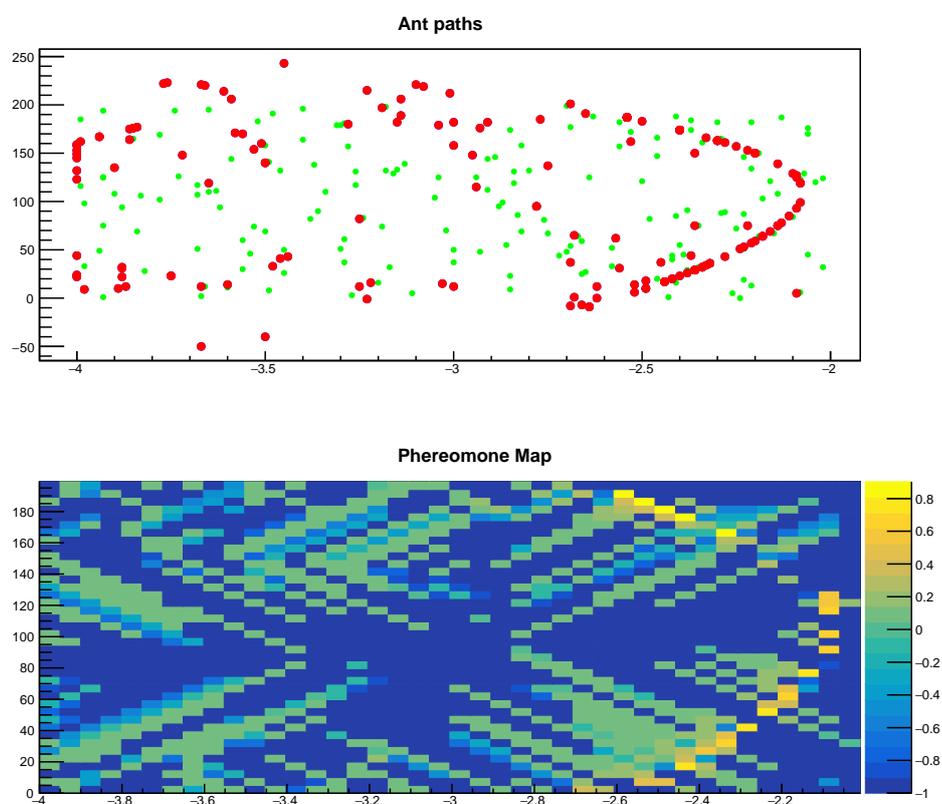


Figura 1 – 100 formigas  
Fonte: Autoria Própria.

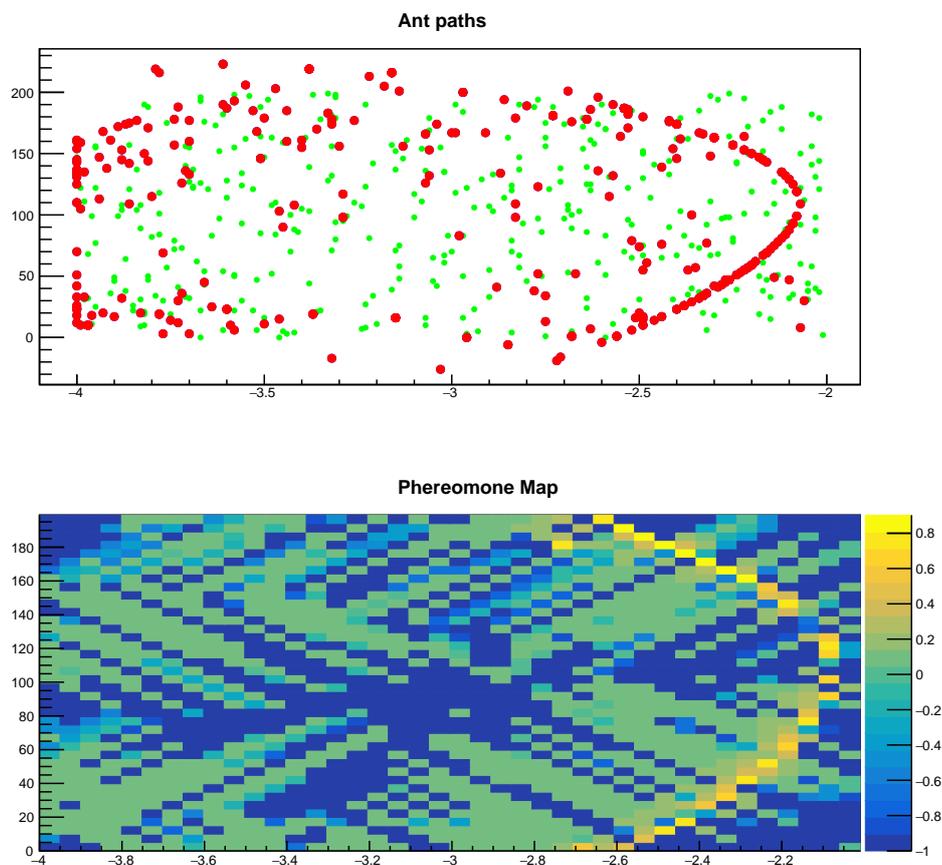


Figura 2 – 200 formigas  
Fonte: Autoria Própria.

## NEUTRINOS

Os léptons possuem uma carga elétrica que é quantizada, ou seja, valores inteiros. O elétron ( $e$ ), com carga negativa, é um exemplo, assim como o múon ( $\mu$ ) e o tau ( $\tau$ ), que são versões mais pesadas do elétron. Por outro lado, os léptons neutros são conhecidos como neutrinos, representados pelo símbolo  $\nu$ . Cada sabor de lépton carregado está associado a um neutrino de sabor correspondente.

No processo de decaimento beta, um elétron é emitido junto com um neutrino do elétron. A postulação da existência dos neutrinos foi feita por Wolfgang Pauli em 1930, como uma explicação para a aparente falta de energia e momento no processo nuclear de decaimento beta. No entanto, a demonstração da existência dos neutrinos como partículas independentes só foi alcançada em 1956. (PERKINS, 2000)

## OSCILAÇÃO DE SABOR

Um ponto sobre neutrinos fora do modelo padrão.



Foi questionado por Pontecorvo a possibilidade da oscilação dos sabores do neutrino. Foi proposto que enquanto os neutrinos são criados e aniquilados como autoestados de sabor eles se propagam pelo espaço como uma superposição de autoestados de massa. As interações fracas dos autoestados  $\nu_e$ ,  $\nu_\mu$ ,  $\nu_\tau$  são então expressas como uma combinação dos autoestados de massa  $\nu_1$ ,  $\nu_2$ ,  $\nu_3$  que se propagam com uma pequena diferença de frequências devido a diferença de massas e entre as quais diferentes fases se desenvolvem com a distância percorrida, correspondendo a uma mudança ou oscilação do sabor do neutrino. (PERKINS, 2000)

O Algoritmo de Otimização de Colônia de Formigas (ACO) desempenhará um papel importante ao explorar o espaço de parâmetros dos modelos de oscilação de neutrinos, incluindo o estudo da quebra da simetria de Lorentz.

## CONCLUSÃO

A utilização do algoritmo de otimização por colônia de formigas (ACO) contribuiu para a melhoria na velocidade de execução do experimento de neutrinos, conforme discutido no texto. As modificações realizadas no ACO, incluindo a alteração na forma como o feromônio é depositado, a adição de condições de parada e a criação de uma matriz de heurística, permitiram que o algoritmo encontre soluções com mais rapidez.

No entanto, ainda existem desafios a serem superados para a melhoria do código. Algumas funções implementadas pelo GLOBES, como o cálculo do *glbChiSys*, não podem ser executadas em paralelo. Isso limita a velocidade de execução do algoritmo, pois o cálculo do *glbChiSys* é um dos passos mais demorados pois se trata da heurística do algoritmo calculada para cada ponto da grade.

## Agradecimentos

Gostaria de expressar minha profunda gratidão ao meu orientador Prof. Dr. André Fabiano Steklain Lisbôa pela orientação valiosa durante minha iniciação científica e à UTFPR por fornecer o suporte e os recursos necessários para meu projeto de pesquisa.

## Disponibilidade de Código

O código para o algoritmo ACO (Ant Colony Optimization) adaptado para o problema discutido neste artigo foi desenvolvido em C++, porém, ainda não está disponível devido ao fato de que o projeto está em andamento. Há desafios a serem superados, como mencionado na seção de conclusão do trabalho. Este código será disponibilizado no github.

## Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.



## REFERÊNCIAS

DORIGO, M.; MANIEZZO, V.; COLORNI, A. Ant system: optimization by a colony of cooperating agents. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)**, v. 26, n. 1, p. 29–41, 1996. DOI: [10.1109/3477.484436](https://doi.org/10.1109/3477.484436).

HUBER, Patrick et al. New features in the simulation of neutrino oscillation experiments with GLoBES 3.0: (General Long Baseline Experiment Simulator). **Computer Physics Communications**, v. 177, n. 5, p. 432–438, 2007. ISSN 0010-4655. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cpc.2007.05.004>.  
Disponível em: [🔗](#).

PERKINS, Donald H. **Introduction to High Energy Physics**. Edição 4, revisada. [S.l.]: Cambridge University Press, 2000.

RAFSANJANI, Marjan Kuchaki; VARZANEH, Zahra Asghari. Edge detection in digital images using Ant Colony Optimization. **Computer Science Journal of Moldova**, v. 23, n. 3, 2015.

WANG, Yirui; GAO, Shangce; TODO, Yuki. Ant colony systems for optimization problems in dynamic environments. In: SWARM Intelligence - Volume 1. [S.l.]: Institution of Engineering e Technology, jan. 2018. P. 85–120. Publisher Copyright: © The Institution of Engineering and Technology 2018. DOI: [10.1049/PBCE119F\\_ch4](https://doi.org/10.1049/PBCE119F_ch4).