

Brunno Aires Silva - 202014616  
Lucas Hideki Abe - 201900240  
Gianluca do Carmo Leme - 202009490

# **Controle do Agente Formiga por Algoritmo Genético**

Goiânia, GO  
Abril de 2025

# Problema e Restrições

## Descrição do Problema

O problema abordado neste trabalho é o **Controle do Agente Formiga** em um ambiente simulado. O objetivo principal é utilizar um Algoritmo Genético (AG) para otimizar o comportamento de uma formiga artificial de forma que ela consiga **caminhar o mais rápido possível no eixo X** dentro de um ambiente pré-definido, em um tempo limitado ou com recursos limitados.

## Objetivos

- Minimizar o número de passos desnecessários ou movimentos sem coleta.
- Obedecer às restrições de movimentação e energia impostas pelo ambiente.

## Restrições

As principais restrições identificadas no problema são:

- **Limite do ângulo das juntas:** impede que membros dobrem mais do que o permitido anatomicamente.
- **Limites de torque:** cada articulação da formiga só pode aplicar uma força dentro de um intervalo permitido.
- **Queda:** se a formiga cair (por exemplo, o torso toca o chão), o episódio pode ser terminado prematuramente.
- **Tempo máximo por episódio:** há um número fixo de steps por simulação(1000 steps).

- **Contato com o chão:** apenas partes específicas (como os pés) devem tocar o solo para não penalizar.
- **Estabilidade:** movimentos instáveis podem resultar em queda e menor performance.
- **Consumo de energia:** movimentos exagerados ou inefficientes resultam em menor fitness.

## Tratamento das Restrições no Algoritmo Genético

As restrições foram tratadas da seguinte forma:

- As restrições foram tratadas com penalizações no fitness do indivíduo, em que cada restrição possui uma penalidade diferente.

Esse tratamento permite que indivíduos que infringem essas restrições tenham um fitness menor, e, por consequência, podem acabar não indo para a próxima geração, gerando resultados melhores.

## Representação da Solução

Cada indivíduo no Algoritmo Genético é representado por um array com vinte e quatro parâmetros. Os primeiros oito parâmetros representam as frequências de cada uma das oito juntas. Da posição oito até a 15, se encontram as amplitudes, e, para o resto das posições, temos as fases das juntas.

## Significado de Cada Gene

Os genes são inteiros ou símbolos codificados que representam comandos específicos. Um exemplo de codificação usada é:

Tabela 1 – Representação de um indivíduo com genes separados por categoria

<b>Frequências (f):</b>	[1.0, 1.2, 0.9, 1.1, 1.3, 1.0, 0.8, 1.2,
<b>Amplitudes (A):</b>	0.5, 0.6, 0.4, 0.7, 0.5, 0.6, 0.4, 0.7,
<b>Fases (φ):</b>	[0.0, 1.57, 3.14, 0.78, 1.57, 3.14, 0.78, 0.0]

## Operador de Cruzamento

O operador de cruzamento utilizado neste trabalho é do tipo *crossover por combinação linear*, também conhecido como *Blend Crossover* com  $\alpha = 0.5$ . Neste método, cada parâmetro do indivíduo filho é gerado a partir da média ponderada entre os dois pais:

$$\text{filho} = \alpha \cdot \text{pai}_1 + (1 - \alpha) \cdot \text{pai}_2$$

Isso permite que o filho herde características de ambos os pais de forma balanceada, favorecendo uma convergência suave em espaços contínuos de busca, como é o caso dos parâmetros senoidais utilizados para controlar a "formiga".

Na Figura 1, exemplifica-se esse cruzamento utilizando três genes como ilustração:

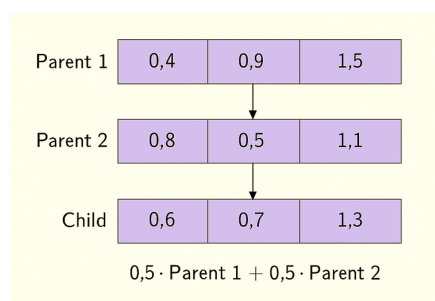


Figura 1 – Exemplo de cruzamento linear com  $\alpha = 0.5$

## Operador de Mutação

A mutação foi aplicada com o objetivo de introduzir variabilidade genética na população e evitar a convergência prematura.

### Método Utilizado

Utilizou-se a **mutação por substituição aleatória** em genes selecionados com uma probabilidade fixa.

- A cada gene de um indivíduo, aplicou-se uma chance de mutação de (30%) a (40%).
- Se ocorrer, doze partes do gene são substituídos por outros valores válidos acrescidos de uma constante(0.5), que não altere bruscamente o valor da variável.
- Exemplo: [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3] → [1, **1.5**, 1, **1.5**, **1.5**, **1.5**, 1, 2, 2, 2, **2.5**, **2.5**, **2.5**, 2, 2, **3.5**, 3, **3.5**, **3.5**, **3.5**, **3.5**, 3, 3]

### Justificativa

Esse tipo de mutação foi escolhido por ser simples, eficaz e suficiente para garantir diversidade na população sem afetar significativamente a estrutura do comportamento.

### Vantagens

- Fácil de implementar.
- Preserva parcialmente o comportamento anterior.

# Experimentos

## Parâmetros Utilizados

Os experimentos foram conduzidos utilizando os seguintes parâmetros, listados na Tabela 2:

Tabela 2 – Configurações do Algoritmo Genético utilizadas na simulação do agente Ant-v5

Parâmetro	Valor
Tamanho da população	200
Número de gerações	80
Taxa de mutação	30% (0.3)
Tamanho do torneio	2
Taxa de elitismo	10% (0.1)
Tipo de cromossomo	24 valores contínuos
Op. de cruzamento	Interp. linear ( $\alpha = 0,5$ )
Mutação aplicada em	12 genes por indivíduo
Critério de parada	número de gerações

## Análise do Melhor Experimento

O melhor indivíduo conseguiu andar predominantemente em um único eixo (para a direita), realizando movimentos que se assemelham aos de formigas ou aranhas, com um padrão rítmico e coordenado.

Este resultado foi obtido com os seguintes parâmetros experimentais: população de **200 indivíduos**, **80 gerações** e **taxa de mutação de 0.3**. A **recompensa final alcançada** por esse indivíduo foi de aproximadamente **1150.65**, indicando um desempenho eficiente na tarefa de locomoção.

- A **curva de fitness** mostrou convergência entre as gerações 20 e 30, atingindo valores em torno de 1000.
- A **média populacional** seguiu tendência de crescimento com altas variâncias no iní-

cio, diminuindo ao chegar na convergência do melhor resultado, atingindo variâncias menores do que 50.

## Visualização da Solução

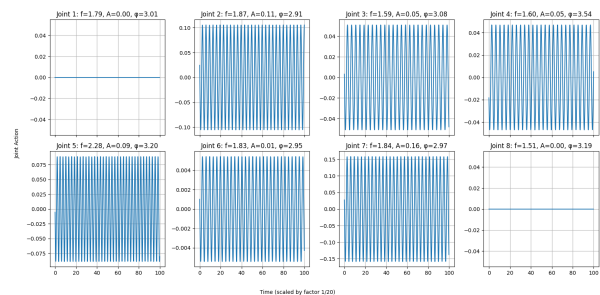


Figura 2 – Gráficos das juntas da melhor solução obtida pelo AG

## Discussão

Os resultados obtidos demonstram que a representação baseada em parâmetros senoidais (frequência, amplitude e fase) foi eficaz para gerar padrões locomotores viáveis e rítmicos, permitindo que a formiga realizasse movimentos coordenados ao longo do eixo X. O operador de cruzamento por combinação linear contribuiu para uma exploração eficiente do espaço de busca, promovendo a herança balanceada de características entre os indivíduos.

A taxa de mutação moderada (0.3) ajudou a manter a diversidade populacional ao longo das gerações, evitando a convergência prematura para soluções subótimas. O uso de elitismo com taxa de 10% também se mostrou importante para garantir a retenção dos melhores indivíduos e acelerar a convergência.

A curva de fitness demonstrou uma estabilização precoce, indicando que os indivíduos começaram a apresentar comportamentos semelhantes

em torno da geração 30. No entanto, ainda foram observadas melhorias graduais no desempenho até o final da simulação, resultando em uma recompensa final satisfatória.

Assim, conclui-se que a combinação dos parâmetros adotados e a estrutura do AG foram adequadas para a solução do problema de con-

trole locomotor, possibilitando o surgimento de movimentos naturais e eficientes na tarefa de caminhar.

Esses resultados sugerem que a representação escolhida, juntamente com os operadores genéticos aplicados, foi adequada para resolver o problema proposto com eficiência.