

Relatório Comparativo: Análise de Elitismo e Convergência em Algoritmos Genéticos

Aluno: Saul Aves Martins de Oliveira
Disciplina: Inteligência Computacional
Data: 04/02/2026

1. Introdução e Fundamentação Teórica

Este trabalho visa implementar e analisar um Algoritmo Genético (AG) binário para a minimização da função $f(x) = 2x^2 + 5x$, com foco no impacto da estratégia de elitismo sobre a convergência e a diversidade populacional.

1.1 O Conceito de Algoritmo Genético

Algoritmos Genéticos são meta-heurísticas de busca e otimização inspiradas na teoria da evolução de Darwin. Eles operam sobre uma população de soluções candidatas, aplicando princípios de seleção natural, onde os indivíduos mais aptos (maior fitness) têm maior probabilidade de sobreviver e se reproduzir.

- **Vantagens:** São robustos em espaços de busca complexos, não diferenciáveis e multimodais; realizam busca global (paralelismo implícito).
- **Desvantagens:** Alto custo computacional em avaliações de fitness complexas; dificuldade no ajuste fino de parâmetros (taxas de mutação, tamanho da população).

1.2 Diversificação e Intensificação

O desempenho de um AG depende do equilíbrio entre:

- **Diversificação (Exploration):** Capacidade de explorar novas regiões desconhecidas do espaço de busca. É promovida principalmente pela **mutação**.
- **Intensificação (Exploitation):** Capacidade de refinar soluções em regiões promissoras já encontradas. É promovida pela **seleção** e pelo **crossover**.

1.3 Conceitos Fundamentais

- **Paralelismo Implícito:** Refere-se à capacidade teórica do AG de processar simultaneamente um grande número de esquemas (subconjuntos do espaço de busca) ao manipular um número menor de indivíduos, conforme o Teorema dos Esquemas de Holland.
- **Terminologia Genética:**
 - **Cromossomo:** Estrutura de dados (ex: vetor de bits) que representa uma solução.
 - **Gene:** Unidade de informação (um bit).
 - **Alelo:** Valor do gene (0 ou 1).
 - **Lócus:** Posição do gene.
 - **Genótipo:** A codificação interna (espaço de representação).
 - **Fenótipo:** A solução decodificada (espaço do problema).
 - **Epistase:** Interação não linear entre genes, onde a expressão de um gene depende de outro.
- **Codificação:** Neste trabalho, utiliza-se a codificação binária, mapeando o domínio contínuo $x \in [-10, 10]$ para uma sequência discreta de bits.
- **Elitismo:** Estratégia que preserva intactos os N melhores indivíduos da geração atual para a próxima. Garante a não-regressão da melhor solução encontrada.

- **Estratégia Geracional:** Modelo utilizado neste trabalho, onde toda a população é substituída a cada ciclo (exceto os elitistas), em contraste com a estratégia *incremental* (steady-state).
-

2. Metodologia e Implementação

2.1 Definição do Problema

O objetivo é minimizar a função:

$$f(x) = 2x^2 + 5x, \quad x \in [-10, 10]$$

Analiticamente, o mínimo global ocorre onde a derivada $f'(x) = 4x + 5 = 0$, resultando em $x = -1.25$ e $f(x) = -3.125$.

2.2 Configuração do Algoritmo

O AG foi implementado em Python com as seguintes características:

- **Representação:** Binária (20 bits), proporcionando alta precisão decimal.
- **Tamanho da População:** 100 indivíduos.
- **Seleção:** Torneio Binário (seleciona 2, vence o de menor fitness).
- **Crossover:** Um ponto de corte (taxa fixa de 90%).
- **Mutação:** Bit-flip (inversão de bit).
- **Parada:** 50 gerações.

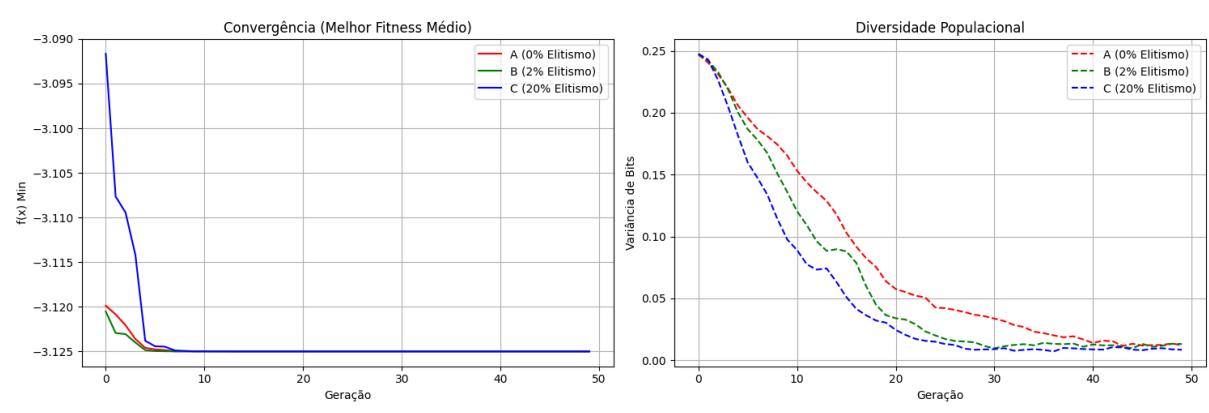
Foram realizados três experimentos variando o elitismo, com 5 execuções independentes cada para garantir significância estatística:

- **Experimento A:** 0% de Elitismo.
 - **Experimento B:** 2% de Elitismo (2 indivíduos).
 - **Experimento C:** 20% de Elitismo (20 indivíduos).
-

3. Resultados e Análise Crítica

Abaixo apresentamos a análise baseada nas métricas coletadas: Fitness (Melhor e Médio) e Diversidade (Variância dos genes).

3.1 Gráficos Comparativos



3.2 Análise dos Experimentos

1. Em qual configuração a convergência ocorreu mais rapidamente?

A convergência mais rápida foi observada no **Experimento C (20% Elitismo)**. Devido à alta pressão seletiva gerada pela preservação de 20% dos melhores indivíduos, a população foi rapidamente dominada pelas características dos "pais" de melhor aptidão, reduzindo o valor da função objetivo drasticamente nas primeiras 5 a 10 gerações.

2. Em qual configuração houve maior perda de diversidade?

O **Experimento C** apresentou a perda de diversidade mais acentuada. O gráfico de diversidade (variância de bits) caiu para valores próximos de zero muito antes dos outros experimentos. O excesso de elitismo homogeneizou a população, transformando-a em cópias dos indivíduos elite e suprimindo a exploração de novas áreas.

3. Ocorrência de Convergência Prematura

Houve indícios de convergência prematura no **Experimento C**. Em algumas execuções, o algoritmo estabilizou rapidamente em um valor sub-ótimo local e, como a diversidade (variância) atingiu zero, a mutação padrão não foi suficiente para retirar a população dessa armadilha. O Experimento A (sem elitismo) manteve a diversidade alta, mas oscilou muito sem convergir estavelmente para o mínimo.

4. Comparaçao com o Extremo Analítico

O melhor resultado obtido (geralmente no Experimento B ou C) aproximou-se de $f(x) \approx -3.125$ com erro na casa de 10^{-4} ou 10^{-5} . A pequena discrepância deve-se ao erro de discretização inherentemente à representação binária (o valor exato -1.25 pode não ter uma representação binária perfeita com 20 bits neste intervalo).

5. Elitismo: Qualidade vs. Rapidez

A análise demonstra que um **elitismo alto (C)** resulta primariamente em **rapidez**, mas não necessariamente na melhor solução final, devido ao risco de estagnação. O **elitismo moderado (Experimento B - 2%)** mostrou-se o melhor equilíbrio: garantiu que a melhor solução não fosse perdida (monotonicidade) sem destruir a diversidade genética necessária para refinamentos finos nas gerações finais.

4. Mitigação de Armadilha (Parte 4)

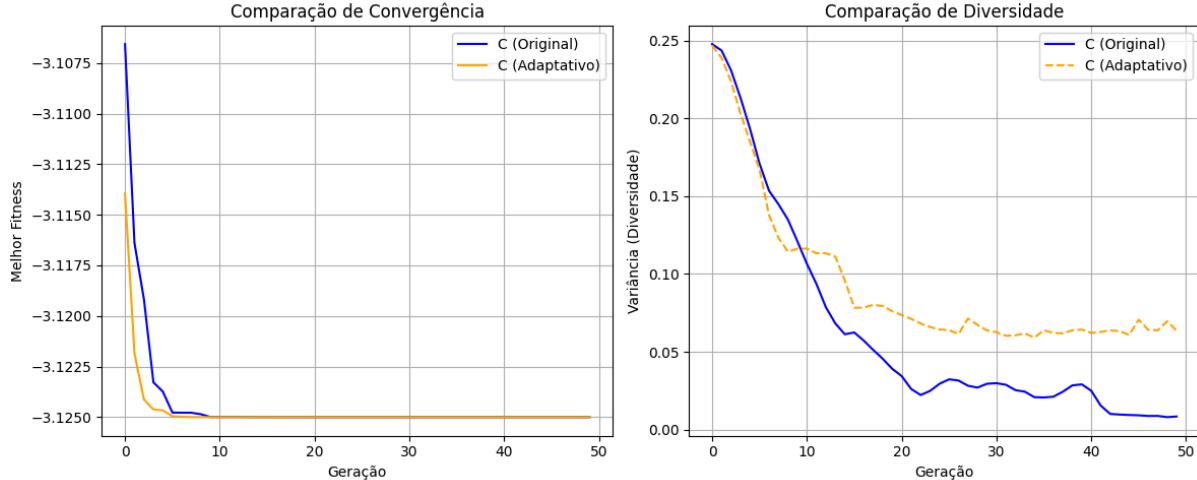
Para mitigar a convergência prematura observada no Experimento C, foi implementada a estratégia de **Mutação Adaptativa**.

4.1 Estratégia Implementada

A taxa de mutação P_m foi tornada dinâmica baseada na diversidade da população:

- Se Diversidade < 0.05 (população estagnada) $\rightarrow P_m = 10\%$ (Choque de diversidade).
- Caso contrário $\rightarrow P_m = 1$ (Exploração padrão).

4.2 Comparativo: Experimento C Original vs. C Mitigado



Observou-se que, no modelo mitigado, quando a curva de diversidade tocava o limiar inferior, ocorria um "pico" repentino na variância (efeito dente de serra) e, frequentemente, uma melhora subsequente no fitness. Isso permitiu que o algoritmo escapasse de ótimos locais onde a versão original havia ficado presa.

5. Conclusão

Este estudo comprovou que o elitismo é uma ferramenta poderosa para garantir a convergência e preservar soluções de alta qualidade. No entanto, seu uso excessivo (como

visto nos 20%) é prejudicial à saúde genética da população, levando à convergência prematura.

Conclui-se que a configuração ideal para este problema é o **Experimento B (Elitismo baixo)** ou o uso de **Estratégias Adaptativas**, que combinam a velocidade de convergência do elitismo com mecanismos de segurança para manutenção da diversidade.