

Otimização de Sistemas de Ponte através de Métodos Metaheurísticos

Nikolas B. Sanchez¹, Majid Forghani-elahabad²
UFABC, Santo André, SP

Garantir a qualidade de um sistema envolve diversos fatores. Dentre eles podemos ressaltar sua confiabilidade. Em suma, esse conceito se refere à probabilidade de que um maquinário funcione corretamente em função de uma determinada grandeza. Sua aplicabilidade envolve diversas áreas do conhecimento, seja na precisão de informações fornecidas por um sensor, na qualidade de resolução um algoritmo ou até em uma linha de montagem industrial. Assim, quando um sistema se envolve com a confiabilidade, há um risco relativo aos aparelhos danificados. Uma estratégia para aumentar a confiabilidade de um sistema e evitar que ele pare é utilizar redundâncias, de modo que caso ocorra alguma falha, há outros dispositivos para exercer sua função [2]. Com isso, há três diferentes abordagens para a redundância, a ativa, a fria e a mista [1]. A ativa consiste em haver mais de um aparelho funcionando simultaneamente, a fria em manter peças inoperantes para que, no momento da falha, haja a substituição e a mista em ambas abordagens ocorrerem simultaneamente em diferentes subsistemas [2].

Para determinar a melhor configuração de um sistema, seria possível explorar todas as soluções viáveis. No entanto, em problemas complexos, o número de possibilidades pode ser extremamente grande ou até infinito, tornando essa abordagem impraticável. Nesses casos, recorre-se frequentemente a métodos metaheurísticos [2], que utilizam heurísticas para encontrar soluções aproximadas para problemas difíceis de resolver por métodos exatos. Esses métodos são amplamente aplicados em otimização combinatória, aprendizado de máquina, engenharia e outras áreas onde o custo computacional de uma solução ótima é elevado.

Existem vários tipos de sistemas, desde configurações simples, como os sistemas em série, paralelo e série-paralelo, até arranjos mais complexos, como sistemas em ponte e sistemas k -out-of- n [2]. A complexidade do sistema em ponte (Figura 1a) decorre do fato de que sua análise não pode ser feita apenas por meio da divisão em subsistemas. Para calcular sua confiabilidade, utiliza-se uma abordagem inspirada na teoria de conjuntos de Von Neumann, levando à seguinte expressão para a confiabilidade do sistema, onde R_i representa a confiabilidade do subsistema i , para $i = 1, \dots, 5$:

$$R_s = R_1R_2 + R_3R_4 + R_1R_4R_5 + R_2R_3R_4 - R_1R_3R_4R_5 - R_2R_3R_4R_5 - R_1R_2R_4R_5 - R_1R_2R_3R_5 - R_1R_2R_3R_4 + 2R_1R_2R_3R_4R_5 \quad (1)$$

Em sistemas com redundância ativa, cada componente é replicado em paralelo. Assim, ao iniciar o ciclo, todas as unidades estão operacionais, permitindo que o sistema funcione mesmo se uma falhar, pois outra assume sua função. Portanto, cada posição do sistema contém dois ou mais componentes paralelos. Considerando n componentes com confiabilidade R , a confiabilidade do subsistema i , denotada por R_i , é dada por:

$$R_i = 1 - (1 - R)^n \quad (2)$$

Para tornar o problema mais próximo da realidade, impõem-se restrições de peso e custo na otimização da confiabilidade do sistema. Suponha que o subsistema i utilize n_i componentes

¹nikolas.sanchez@aluno.ufabc.edu.br

²m.forghani@ufabc.edu.br

idênticos do tipo t_i , cada um com peso w_{t_i} e custo c_{t_i} , e que os limites superiores para o peso e o custo total do sistema sejam W e C , respectivamente. Considerando que o sistema ponte possui cinco subsistemas, têm-se as seguintes restrições:

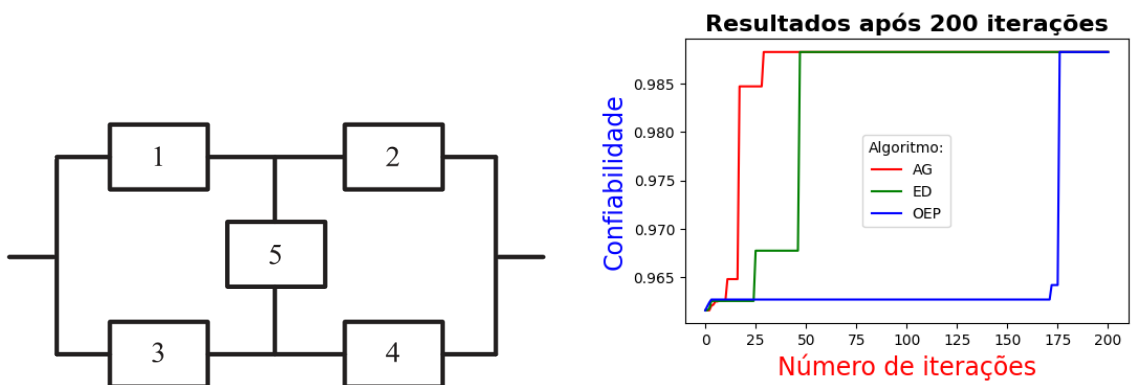
$$\begin{cases} \sum_{i=1}^5 n_i \cdot w_{t_i} \leq W \\ \sum_{i=1}^5 n_i \cdot c_{t_i} \leq C \end{cases} \quad (3)$$

Para otimizar a confiabilidade do sistema ponte, comparamos três métodos metaheurísticos: Algoritmo Genético (AG), Evolução Diferencial (ED) e Otimização por Enxame de Partículas (OEP). Como não se trata de um problema real, a população inicial e os tipos de componentes foram gerados aleatoriamente.

Cada solução da população (com 100 indivíduos) é uma matriz 2×5 , em que a i -ésima coluna representa o tipo e o número de componentes do subsistema i , para $i = 1, \dots, 5$. São considerados seis tipos de componentes (tipo 1 a 6) e quantidades entre 1 e 5. A confiabilidade, o peso e o custo de cada tipo são valores aleatórios entre 0,80 e 0,85, 1 e 5, e 50 e 70, respectivamente.

Com base em amostragens, as médias de peso e custo foram aproximadamente 45 e 900, sendo esses os limites W e C adotados nas restrições. Assim, aplicamos os três métodos para melhorar a confiabilidade, considerando como variáveis tanto a quantidade quanto o tipo de componentes em cada subsistema.

A Figura 1b mostra os resultados das primeiras 200 iterações de cada algoritmo. O AG apresentou o melhor desempenho. A grande variação nas iterações do OEP pode indicar baixa eficácia ou necessidade de ajuste nos parâmetros.



(a) O sistema de ponte. Fonte: Ardakan et al. [1]. (b) Gráfico comparativo. Fonte: autoria própria.

Figura 1: O sistema de ponte o gráfico dos resultados.

Referências

- [1] M.A. Ardakan e M.T. Rezvan. “Multi-objective optimization of reliability–redundancy allocation problem with cold-standby strategy using NSGA-II”. Em: **Reliability Engineering & System Safety** 172 (2018), pp. 225–238.
- [2] B. Guan, Z. Li, D.W. Coit e Y.F. Li. “Review of the redundancy allocation problem to optimize system reliability”. Em: **Engineering Optimization** 57.1 (2025), pp. 44–68.