

OTIMIZAÇÃO DE TRELIÇAS METÁLICAS: IMPLEMENTAÇÃO E RESULTADOS COM VNS

Victor Alonso Gomes¹, Filipe Macedo Moreira², Thalita Monteiro Obal³

RESUMO: Esta pesquisa foca na otimização de treliças metálicas na construção civil, usando a Busca em Vizinhança Variável (VNS) para reduzir a área das barras e, assim, diminuir o peso da estrutura sem ultrapassar os limites de tensão e deslocamento permitidos, calculados pelo método dos elementos finitos. O desempenho do VNS foi comparado com outras técnicas, como o Algoritmo Genético (GA) e o PSO. Embora os resultados do VNS tenham sido próximos, ele não conseguiu superar essas metodologias. No entanto, com algumas melhorias previstas, o VNS tem potencial para gerar estruturas ainda mais leves e eficientes.

Palavras-chave: otimização, treliça metálica, metaheurística

1 INTRODUÇÃO

As treliças metálicas desempenham um papel crucial na construção civil, especialmente em estruturas como pontes, barracões e diversos tipos de coberturas. No Brasil, onde o aço é um material relativamente caro, a otimização dessas estruturas torna-se essencial para garantir eficácia e economia. Diversos estudos focados em técnicas de otimização, com destaque para metaheurísticas como o *Genetic Algorithm* desenvolvido por Akbari & Henteh (2019), o *Improved Black Hole* e *Multiverse Algorithms*, ambos desenvolvidos por Gholizadeh, Razavi & Shojaei (2019).

O objetivo principal deste estudo é aplicar e avaliar o desempenho do *Variable Neighborhood Search* (VNS), desenvolvido por Brimberg & Mladenovic (1996), na otimização de treliças metálicas de diferentes formatos. A novidade deste trabalho reside na utilização do VNS, uma metaheurística ainda não aplicada a esse problema específico, permitindo comparações com abordagens previamente estudadas, como o *Genetic Algorithm* (GA) e o *Particle Swarm Optimization* (PSO).

¹ Graduando em Engenharia Civil; Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Guarapuava; victor.2001@alunos.utfpr.edu.br.

² Mestrando em Inovações Tecnológicas; Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Campo Mourão; fil1p3972@gmail.com.

³ Doutora em Métodos Numéricos em Engenharia; Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Guarapuava; thalitaobal@utfpr.edu.br.

2 METODOLOGIA

A metodologia adotada no presente trabalho busca reduzir custos e o uso de materiais, aplicando o algoritmo VNS para encontrar a solução otimizada. Como referência para a análise, foram utilizados os estudos de Akbari & Henteh (2019) e Coelho, Rudnick & Christiansen (1994)

2.1 Função objetivo

A função objetivo considera a área da seção transversal dos elementos da treliça. O objetivo é dimensionar cada componente com a menor área possível, reduzindo o peso total da estrutura. A função objetivo é definida como:

$$W = \sum_{j=1}^n \rho * L_j * A_j$$

Sendo:

- W – Peso total da estrutura;
- j – Numeração da barra;
- ρ – Densidade do material;
- L_j – Comprimento da barra j ;
- A_j – Área da seção transversal j .

2.2 Cálculo dos esforços

Para o dimensionamento adequado, foram calculados os esforços solicitantes, as reações de apoio e os deslocamentos, focando nos esforços de tração e compressão, uma vez que os momentos fletores e esforços cortantes são desprezíveis em treliças. A análise foi realizada pelo método dos elementos finitos, usando *Python* para a implementação dos cálculos. No exemplo considerado, o comportamento estrutural foi simulado apenas com os carregamentos especificados.

2.3 Restrições

As restrições de projeto seguiram os limites de esforço axial e deslocamento, conforme Coelho, Rudnick & Christiansen (1994). Os critérios adotados foram:

- O esforço axial (N_{sd}) solicitante deve ser menor ou igual ao admitido ($N_{sd,máx}$);
- O deslocamento em x (d_x) deve ser menor que o admitido (D_x);

- O deslocamento em y (d_y) deve ser menor que o admitido (D_y).

2.4 VNS

Com a geometria da treliça, forças aplicadas, esforços axiais e possíveis áreas das seções definidos, o algoritmo VNS foi implementado para otimizar a estrutura. O algoritmo realizou 5000 iterações com 5 vizinhanças. O processo de perturbação no VNS envolveu a substituição de uma área aleatoriamente escolhida na solução atual por outra área ainda não utilizada. Inicialmente, a maior área possível foi utilizada, devido à dificuldade do algoritmo em otimizar áreas menores nas versões anteriores.

3 EXEMPLO

A Figura 1 apresenta o modelo de treliça para a qual será aplicado o algoritmo VNS.

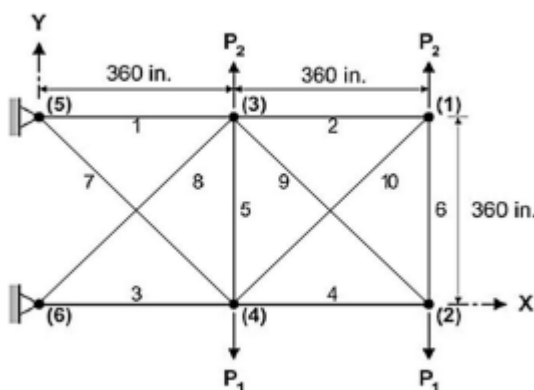


Figura 1: Exemplo de treliça para ser otimizada pelo VNS.
Fonte: Akbari & Henteh (2019)

Dados:

- P_1 e P_2 são 100000 lb e 0 lb respectivamente;
- $A = \{1.62, 1.80, 1.99, 2.13, 2.38, 2.62, 2.63, 2.88, 2.93, 3.09, 3.13, 3.38, 4.47, 3.55, 3.63, 3.84, 3.87, 3.88, 4.18, 4.22, 4.49, 4.59, 4.80, 4.97, 5.12, 5.74, 7.22, 7.97, 11.50, 13.50, 13.90, 14.20, 15.50, 16.00, 16.90, 18.80, 19.90, 22.00, 22.90, 26.50, 30, 33.50\} \text{ (in}^2 \text{)}$;
- $\rho = 0,10 \text{ lb/in}^3$;
- Módulo de elasticidade (E) = $1 \times 10^4 \text{ ksi}$;
- $D_x = D_y = 2 \text{ inches}$;
- $N_{sd,m\acute{a}x} = 25 \text{ ksi}$;

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para alcançar um resultado otimizado, foram realizadas 10 execuções do algoritmo VNS. Sendo uma metaheurística, cada execução pode gerar resultados distintos. Com base nos parâmetros utilizados, o peso total otimizado da estrutura foi de 5854,72 lb, enquanto o pior resultado obtido nessas iterações foi de 7630,18 lb, conforme ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados das execuções do VNS.

Execuções	Conjunto de áreas (in ²)	Peso (lb)
1	[33.5, 3.47, 3.55, 13.5, 2.13, 3.47, 2.13, 33.5, 16.9, 4.18]	5989.26
2	[3.88, 4.22, 11.5, 33.5, 26.5, 1.62, 3.13, 4.59, 14.2, 3.88]	7630.18
3	[33.5, 5.12, 2.93, 7.22, 2.38, 14.2, 22.9, 3.87, 16.9, 3.84]	6489.49
4	[26.5, 13.5, 33.5, 13.9, 3.38, 3.09, 2.13, 14.2, 4.59, 4.97]	5988
5	[26.5, 11.5, 2.63, 7.22, 33.5, 11.5, 33.5, 11.5, 7.97, 13.9]	6530.99
6	[3.55, 2.62, 30.0, 22.0, 3.88, 3.63, 16.0, 14.2, 22.9, 3.38]	5858.81
7	[1.62, 2.38, 3.47, 16.9, 2.38, 2.62, 11.5, 3.87, 3.84, 1.62]	6034.95
8	[26.5, 2.62, 30.0, 4.59, 1.62, 2.63, 2.13, 26.5, 15.5, 4.49]	5857.15
9	[33.5, 26.5, 3.84, 13.9, 1.62, 2.38, 22.0, 4.18, 22.9, 1.62]	5816.98
10	[16.9, 1.62, 26.5, 22.0, 2.63, 2.63, 5.12, 22.9, 22.0, 4.18]	5854.72

Pior caso = 7630.18 lb
 Melhor caso = 5854.72 lb

Fonte: Autoria Própria.

No estudo de Akbari & Henteh (2019), o Algoritmo Genético (GA) se destacou ao apresentar a melhor solução, alcançando um peso de 5490,74 lb, o que representa uma diferença de 6,2%. O Algoritmo de Otimização por Enxame de Partículas (PSO), por sua vez, obteve um resultado ligeiramente superior, com um peso de 5499,3 lb e uma diferença de 6,07%. Esses resultados sugerem que, neste contexto, o VNS não se mostrou tão eficiente quanto o GA e o PSO na minimização do peso da estrutura.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo demonstrou a aplicação do algoritmo VNS na otimização de treliças metálicas, evidenciando sua capacidade de reduzir o peso da estrutura, embora não tenha superado os resultados de outras metaheurísticas, como o GA e o PSO. O VNS gerou uma estrutura com peso total otimizado de 5854,72 lb, valor superior aos resultados obtidos pelo GA e pelo PSO no estudo de Akbari & Henteh (2019),

indicando que o desempenho do VNS não foi o mais eficiente em termos de otimização do peso da estrutura.

Para trabalhos futuros, propõe-se modificar o VNS, incorporando novas estratégias de busca local e ajustando seus parâmetros de controle, com o objetivo de melhorar sua eficiência na busca por soluções mais leves e competitivas em comparação com as outras metaheurísticas analisadas.

REFERÊNCIAS

AKBARI, M.; MOJTABA H. Comparison of Genetic Algorithm (GA) and Particle Swarm Optimization Algorithm (PSO) for Discrete and Continuous Size Optimization of 2D Truss Structures. *Soft Computing*, v. 3, n. 2, p. 76–97, abr. 2019.

BRIMBERG, J.; MLADENOVIC, N. A variable neighbourhood algorithm for solving the continuous location-allocation problem. *Studies of Locational Analysis*, v. 10, p. 1-12, 1996.

COELLO, C. A. C.; RUDNICK, M.; CHRISTIANSEN, A. D. Using genetic algorithms for optimal design of trusses. In: *International Conference On Tools With Artificial Intelligence*, 6, 1994, New Orleans. *Anais...* New Orleans: IEEE Computer Society Press, 1994. p. 88–94.

GHOLIZADEH, S.; RAZAVI, N.; SHOJAEI, E. Improved black hole and multiverse algorithms for discrete sizing optimization of planar structures. *Engineering Optimization*, Informa UK Limited, v. 51, n. 10, p. 1645–1667, nov. 2018.

GOMES, V. A.; MOREIRA, F. M.; OBAL, T. M. Otimização do dimensionamento de treliças metálicas na construção civil: uma análise bibliométrica e perspectivas avançadas. *Contribuciones a Las Ciencias Sociales*, São José dos Pinhais, v. 17, n. 5, p. 1-11, mai. 2024.