

ALGORITMO GENÉTICO APLICADO AO PROBLEMA DE MINIMIZAÇÃO DE CUSTO DE ESTRUTURAS METÁLICAS ESPACIAIS DO TIPO LAMELAR DE EIXO RETO PARA COBERTURAS

Dogmar Antonio de Souza Junior

Doutorando do Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica (UFU) - Av. João Naves de Ávila, 2121
Professor da Universidade de Uberaba (UNIUBE) - R. Coronel Severiano, 251 - Uberlândia - MG - Brasil
Email: dogmar@mecanica.ufu.br ou dogmar.souza@uniube.br

Francisco Antonio Romero Gesualdo

Professor Titular - Faculdade de Engenharia Civil (UFU) - Av. João Naves de Ávila, 2121 - Uberlândia - MG - Brasil
Email: gesualdo@ufu.br

Resumo: O grau de desenvolvimento de um país está ligado diretamente à quantidade de produtos industrializados existentes. Na busca por redução de custos e elevação dos índices de qualidade, a produção industrializada se torna uma saída quase que obrigatória para o desenvolvimento e ingresso num mundo global e competitivo. Dentro deste contexto, a otimização de sistemas estruturais visando economia é um assunto extremamente importante. Para uma real economia na elaboração da estrutura, deve-se buscar a eficiência do conjunto de parâmetros, tais como, a melhor correlação entre as variáveis associadas à geometria, a distribuição uniforme de tensões, o essencial conhecimento das características gerais das ligações. Neste sentido, o uso de perfis tubulares na construção de estruturas metálicas traz diversas vantagens: grande resistência a esforços mecânicos; possibilidade de enchimento com concreto, vantajosa no caso de colunas, o que aumenta a resistência mecânica ao fogo; resistência favorável a correntes de vento e da água; pintura e manutenção simples, porque não há pontos de acúmulo de poeira e água; estética favorável, especialmente nas ligações diretas sem chapas adicionais. Do ponto de vista estrutural, a utilização de arranjos estruturais espaciais melhora a distribuição de esforços entre as barras. O objetivo deste trabalho é apresentar o algoritmo genético proposto para otimização e dimensionamento de estruturas tubulares metálicas espaciais do tipo lamelar de eixo reto para coberturas. O dimensionamento é feito seguindo às recomendações da norma brasileira NBR8800/86 – Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios.

Palavras-chave: otimização, algoritmo genético, estruturas metálicas, perfis tubulares.

1. INTRODUÇÃO

O grau de desenvolvimento de um país está ligado diretamente à quantidade de produtos industrializados existentes. Na busca por redução de custos e elevação dos índices de qualidade, a produção industrializada se torna uma saída quase que obrigatória para o desenvolvimento e ingresso num mundo global e competitivo. Diante deste quadro, a muito por fazer no Brasil para alcançarmos os índices dos países desenvolvidos. Contudo, nota-se uma resposta positiva de diversas empresas instaladas no Brasil que estão investindo em centros de pesquisa, entidades de classe e suas plantas de produção, buscando tecnologia de ponta e processos construtivos modernos e alternativos.

Dentro deste contexto, o uso de perfis metálicos tubulares na construção de estruturas traz diversas vantagens (Meyer, 2002), tais como:

- Grande resistência à torção, flambagem e flexão;
- A possibilidade de enchimento com concreto é vantajosa no caso de pilares em termos de resistência mecânica, bem como do aumento da resistência ao fogo;
- Resistência favorável a correntes de vento e de água, pela ausência de entranhas, quinas e pontos de obstrução;
- Pintura e manutenção simples, porque não há pontos de acúmulo de poeira e água;
- Estética favorável, especialmente nas ligações diretas sem chapas adicionais.

Mesmo com todas estas vantagens, o uso de aço estrutural no Brasil ainda é pequeno se comparado com o volume utilizado em países como os Estados Unidos, Japão e países da Europa. Segundo Huallem (2001), enquanto que no Brasil o consumo *per capita* está em torno de 3 quilos (considerando o Brasil com 169 milhões de habitantes, segundo dados mais recentes do IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), nas nações mais desenvolvidas o consumo é da ordem de 30 quilos *per capita*.

Embora não existam ainda estatísticas confiáveis e sistemáticas sobre o uso no Brasil de aço estrutural na construção civil, os estudos já efetuados, principalmente no exterior, são bastante positivos, demonstrando um consistente crescimento da utilização de estruturas metálicas.

O objetivo deste trabalho é elaborar um programa computacional baseado no método dos algoritmos genéticos capaz de minimizar o custo de produção de estruturas lamelares de eixo reto para coberturas. A Figura (1) ilustra o modelo da estrutura.

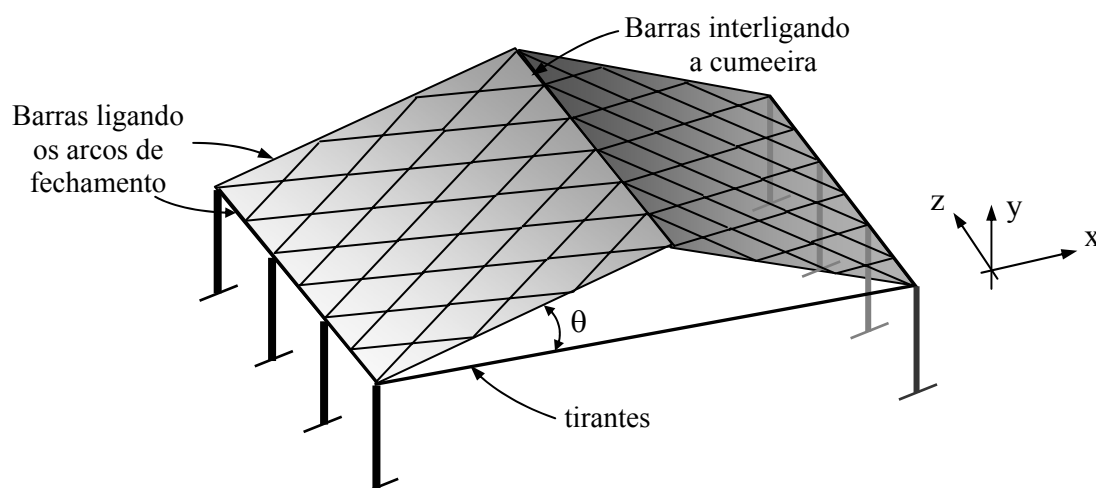


Figura 1: Vista geral do tipo de estrutura a ser estudada.

2. GENERALIDADES SOBRE A OTIMIZAÇÃO

Otimizar é melhorar o que já existe, projetar o novo com mais eficiência e menor custo. Esta busca deve atender uma característica muito importante para qualquer método de otimização: o equilíbrio entre eficiência e eficácia de forma a garantir não só a correta solução do problema, mas também a generalidade do processo (Souza e Mendes Neto, 2001). A otimização visa determinar a melhor configuração de projeto sem testar todas as possibilidades envolvidas.

Foi no século passado que intensificaram o desenvolvimento dos métodos de otimização com o advento do computador e sua rápida evolução. Desde então foram elaborados diversos procedimentos matemáticos e numéricos de otimização. A escolha de um ou outro método de busca deve estar estritamente relacionada com o problema a ser minimizado.

Durante os últimos 30 anos, diferentes técnicas relacionadas aos algoritmos evolucionários surgiram: algoritmos genéticos (AGs). Desenvolvidos principalmente nos Estados Unidos por Holland, estratégias evolutivas, desenvolvidas na Alemanha por Rechenberg e Schwefel e a programação evolucionária (Silva, 1999). Cada uma delas constitui uma aproximação diferente. Entretanto, todas são inspiradas nos mesmos princípios da evolução natural.

Os AGs são métodos de busca estocásticos que imitam a evolução biológica natural. Operam num conjunto de soluções aplicando o princípio da sobrevivência dos mais aptos para produzir uma solução cada vez melhor. A cada geração, um novo conjunto de aproximações é criado pelo processo de seleção dos indivíduos, de acordo com o nível de aptidão associado ao problema, e a procriação é feita entre estes indivíduos através de operadores extraídos da genética natural. Este processo leva à evolução de indivíduos que se adaptam melhor ao seu ambiente que os indivíduos a partir dos quais eles foram criados, tal como na adaptação natural.

Os AGs são muito eficientes para a busca de soluções ótimas ou aproximadamente ótimas em uma grande diversidade de problemas, pois não impõem limitações que são encontradas, na maioria das vezes, nos métodos de busca tradicionais (Goldberg, 1989) (Borges e Barbosa, 2001). Suas principais vantagens são: otimizam um número grande de variáveis, não é necessário conhecimento matemático aprofundado do problema, realizam buscas simultâneas em várias regiões do espaço de busca, são fáceis de serem implementados, disponibilizam várias possíveis soluções e não uma única solução, são flexíveis para trabalhar com restrições e otimizar múltiplas funções com objetivos conflitantes.

Diferentemente dos algoritmos clássicos de otimização, os AGs não trabalham com um único ponto do espaço de busca e sim com um conjunto de pontos simultaneamente. Além disso, eles não se limitam pela existência de derivadas da função objetivo e não se baseiam em hipóteses de continuidade, unimodalidade, etc. Eles requerem apenas os valores da função objetivo associados a diferentes pontos do espaço de busca.

3. OPERADORES GENÉTICOS

Os operadores genéticos aplicados nos indivíduos já existentes têm o objetivo de reproduzir novos indivíduos, mantendo a diversidade da população. Permitindo que o algoritmo explore outras regiões do espaço de busca.

Os operadores são procedimentos computacionais simples que transformam a população ao longo das iterações em busca da solução do problema de otimização. Semelhantemente ao que acontece na evolução natural através dos mecanismos de adaptação e sobrevivência. Nesta seção serão abordados os principais operadores dos AGs.

3.1 Seleção

A seleção determina quais indivíduos serão escolhidos para a recombinação (ou cruzamento). Este operador leva em consideração o grau de adaptação do indivíduo ao problema. Dessa forma, os indivíduos mais aptos permanecem na população, e seus descendentes têm índices de adaptação cada vez maiores, enquanto que os indivíduos menos aptos tendem a desaparecer.

Existem vários métodos de seleção como, por exemplo: método da roleta, seleção por grau, seleção por torneio (Silva, 1999). O método utilizado no problema foi o método da roleta, onde cada indivíduo é associado a um número que representa a sua probabilidade de passar para a próxima geração. Este número depende do índice de aptidão e da função objetivo de todos os indivíduos. Em seguida é feita a escolha aleatória dos novos indivíduos considerando a probabilidade de procriação de cada indivíduo.

3.2 Recombinação

O termo recombinação é utilizado quando os parâmetros não são codificados e o termo cruzamento quando os valores dos parâmetros são trabalhados em codificação binária. Os indivíduos escolhidos para a recombinação são chamados de progenitores, enquanto que os resultantes são denominados de descendência.

Este é o operador responsável pela recombinação de características dos pais durante a reprodução, permitindo que os filhos herdem essas características. A sua ocorrência é controlada

pela taxa de recombinação p_c ($0.6 \leq p_c \leq 1.0$). Uma alta taxa permite uma exploração maior do espaço de busca e reduz as chances de convergência para um ótimo local. Entretanto, se essa taxa for muito alta pode resultar na perda de tempo computacional devido à exploração de regiões não promissoras dentro do espaço de soluções (Castilho et al, 2001).

3.3 Mutação

A mutação é obtida pela alteração aleatória do gen de um locus específico de um cromossomo (também escolhido aleatoriamente da população de filhos formada). Deve-se ressaltar que o locus mutacionado deve receber apenas um dos genes alelos previamente estipulados para sua posição (Castilho et al, 2001) (Souza & Neto, 2001). O objetivo do operador mutação é a manutenção da diversidade genética da população. O operador de mutação é aplicado aos indivíduos com uma probabilidade dada pela taxa de mutação p_m ($0.001 \leq p_m \leq 0.1$).

4. MODELAGEM GENÉTICA DO PROBLEMA

O programa computacional baseado no método dos algoritmos genéticos está sendo desenvolvido na linguagem de programação Delphi. Optou-se por esta linguagem, pois o programa Gestrut que faz a geração da malha estrutural e o cálculo dos esforços e deslocamentos está escrito em Delphi.

A Figura (2) ilustra a vista superior e frontal da estrutura mostrada na Fig. (1).

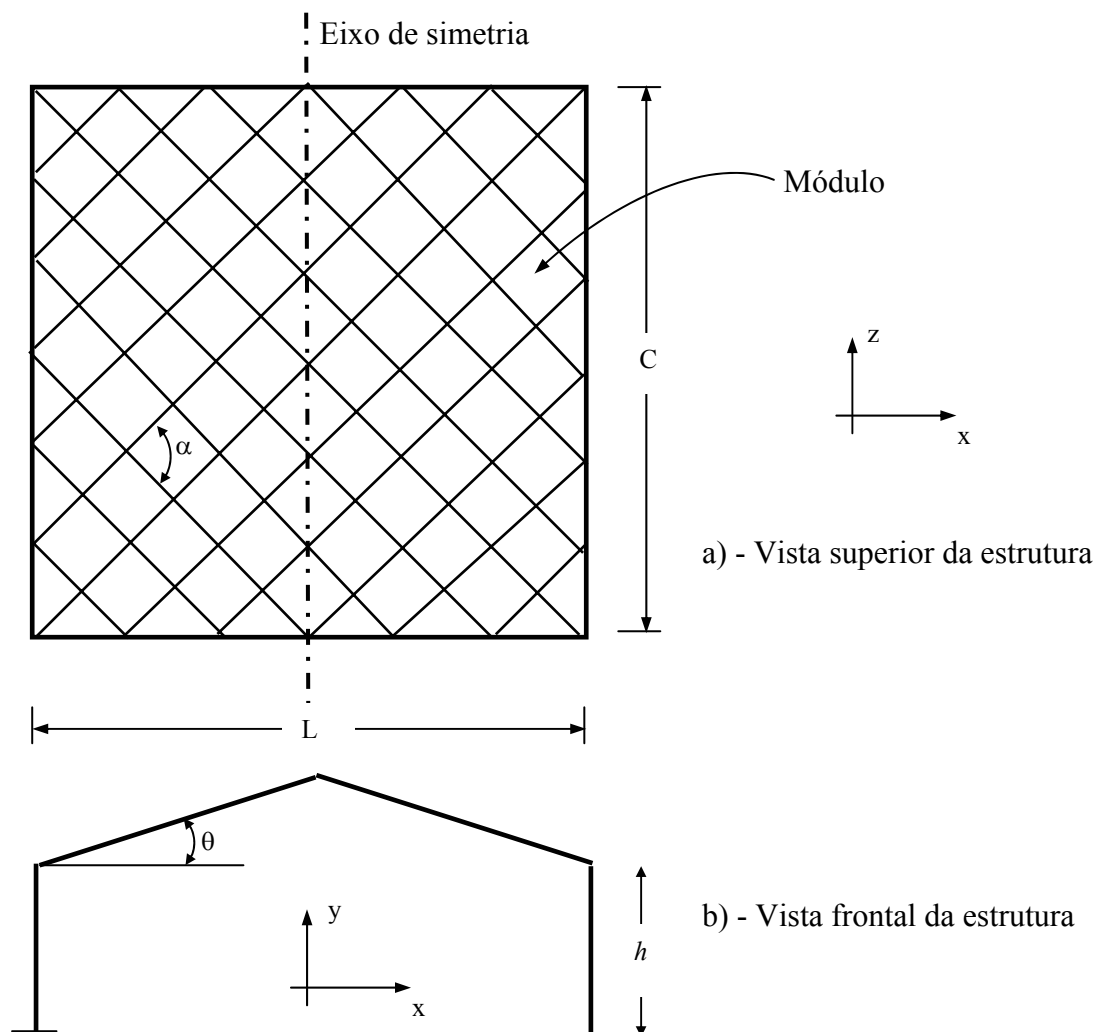


Figura 2: Detalhamento da estrutura lamelar, constantes e variáveis de projeto.

A representação de um problema visando a sua solução via AG consiste, inicialmente, na identificação das variáveis e seus limites, suas constantes e na definição da função objetivo. Em geral a representação de uma variável é feita nas formas binária ou real. Geralmente a representação binária é utilizada para problemas com variáveis discretas e a forma real para problemas com variáveis contínuas (Castilho et al, 2001). Apesar das variáveis do problema em estudo serem discretas foi escolhido a forma real para sua representação.

A função custo que deverá ser minimizada depende das constantes de projeto: C: comprimento da cobertura, L: largura da cobertura. E das seguintes variáveis de projeto: m - número de módulos na direção x (como a estrutura é simétrica, m só pode assumir valor par), n - número de módulos na direção z, θ - ângulo de inclinação da cobertura e A - perfil tubular.

Para se obter o custo de produção de uma estrutura lamelar de eixo reto, deve-se determinar o consumo de tubos (em metros lineares) a ser utilizada para construção dos dois planos da cobertura (incluindo as barras que interligam os nós de cumeeira e as barras que ligam os arcos de fechamento), o custo de soldagem dos nós (material e mão-de-obra), a quantidade de tirantes (em metros lineares). As Equações (1) e (2) definem alguns parâmetros necessários para o cálculo da função objetivo:

♦ Ângulo interlamelar

$$\frac{\alpha}{2} = \arctg\left(\frac{C.m}{L.n}\right) \quad (1)$$

♦ Comprimento da lamela

$$l = \frac{L}{m \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cos \theta} \quad (2)$$

♦ Consumo de tubos

O consumo de tubos envolve três parcelas, como é mostrado na Eq. (3). A primeira refere-se à quantidade de tubos necessária para a execução dos dois planos da cobertura. A segunda parcela é referente à quantidade de tubos usados nos arcos de fechamento, se existirem. Por fim, a última parcela refere-se aos tubos gastos para ligar os nós das cumeeiras, se existirem.

$$Q_1 = 4.m.n.l + (2.L + 2C) + C \quad (3)$$

♦ Consumo de barras nos tirantes

$$Q_2 = (n+1)L \quad (4)$$

♦ Quantidade de nós soldados

$$Q_3 = [m.n + 2(m+1)(n+1)]s \quad (5)$$

onde s é o comprimento de solda utilizado em cada nó.

♦ Função objetivo

$$f = Q_1 P_1 + Q_2 P_2 + Q_3 P_3 \quad (6)$$

sendo:

P_1 : preço do tubo (R\$/m);

P_2 : preço do tirante (R\$/m);

P_3 : preço da solda (incluindo a mão-de-obra, R\$/m).

4.1 Espaço de Busca

A solução de problemas usando AGs exige que as variáveis de projeto sejam representadas de forma aos operadores dos AGs trabalhem adequadamente sobre elas. Neste trabalho, decidiu-se trabalhar com as variáveis de projeto, m , n , θ e A , em representação real (inteira, uma vez que elas assumirão apenas valores inteiros).

Definidas as variáveis de projeto, o segundo passo é criar o espaço de busca, ou seja, os possíveis valores que as variáveis poderão assumir. Por isso, o programa exige que o usuário forneça os seguintes valores: número máximo de módulos na direção x ($m_{\max}$), número máximo de módulos na direção z ($n_{\max}$), ângulos de inclinação mínimo e máximo ($\theta_{\min}$ e $\theta_{\max}$). O número mínimo de módulos na direção x e z dependem do comprimento máximo da lamela fornecido pelo usuário. O programa contém ainda, um banco de dados com as possíveis seções transversais e suas propriedades físicas e geométricas necessárias ao dimensionamento, além do preço do tubo e da solda.

Com estes dados iniciais, além do comprimento e largura da cobertura, o programa cria quatro vetores contendo os possíveis valores para as variáveis de projeto: n , m , θ , perfil tubular (A).

Por exemplo, fornecendo ao AG os valores $m_{\max} = 12$, $n_{\max} = 10$, $\theta_{\min} = 5^\circ$ e $\theta_{\max} = 15^\circ$ e adotando o comprimento máximo para a lamela de 500cm, o algoritmo gera o espaço de busca mostrado na Fig. (3).

$m =$

6	8	10	12
1	2	3	4

$n =$

5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6

$\theta =$

5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Figura 3: Espaço de busca do exemplo.

O quarto parâmetro (A) pode assumir qualquer valor de 1 até o número máximo de perfis tubulares cadastrados no banco de dados. Vale ressaltar que o usuário tem completo acesso a este banco de dados para fazer alterações, exclusões ou inserção de novos perfis tubulares.

A partir desse espaço de busca, o algoritmo cria aleatoriamente a população inicial e sobre ela aplicam-se os operadores genéticos. A Figura (4) mostra um esquema do fluxograma do funcionamento do algoritmo genético aplicado à otimização de estruturas lamelares de eixo reto para coberturas.

5. CONCLUSÃO

O uso de algoritmos de otimização é um recurso útil para a redução de custos em processos de industrialização. O método dos algoritmos genéticos é de fácil implementação. A sua escolha se

mostrou adequada ao problema, principalmente por que a função objetivo não é contínua. A maior dificuldade encontrada até o momento foi no carregamento da estrutura, mais especificamente no carregamento do vento, devido às diversas possibilidades de situações que podem ocorrer na determinação dos coeficientes de forma interno e externos.

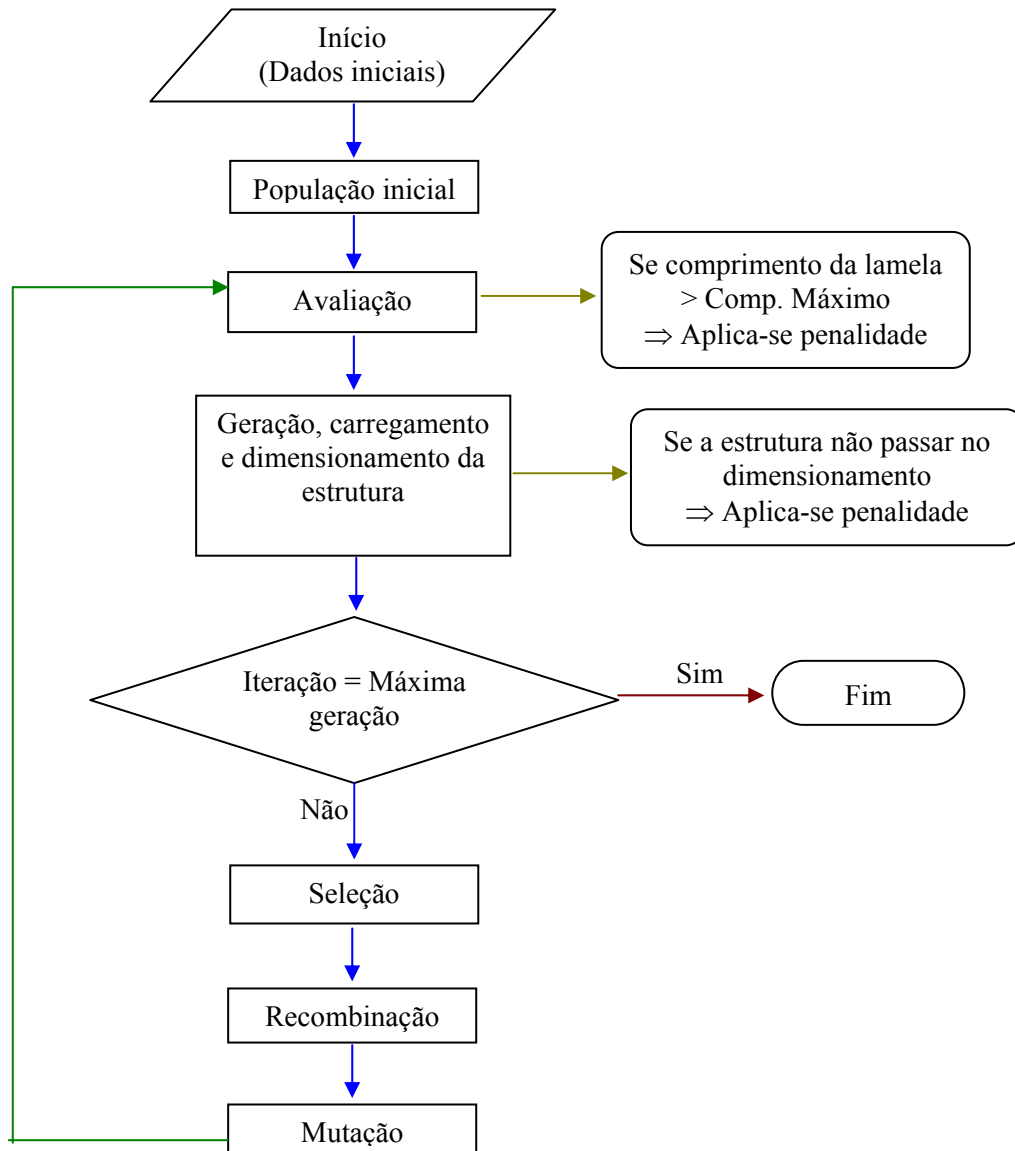


Figura 4: Fluxograma utilizado na implementação do algoritmo genético.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 1988, "Forças devidas ao vento - NBR 6123/88", ABNT, Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT - NBR8800/86 – Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios. Rio de Janeiro.
- Borges, C. C. H., "Optimization of Framed Structures Subject to Seismic Loading via Genetic Algorithms", 22th Iberian Latin-American Congress on Computation Methods in Engineering, Campinas - SP, Brasil.
- Castilho, V. C., Debs, M. K. e Nicoletti, M. C., 2001, "Application of Genetic algorithm for optimizing slabs of prestressed concrete joists", 22th Iberian Latin-American Congress on Computation Methods in Engineering, Campinas - SP, Brasil.
- Goldberg, D. E., 1989, "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning", Addison-Wesley Reading, MA.

- Huallem, A., 2001, “Perfis estruturais laminados – Solução nacional para o mercado da construção metálica”, I CICOM – Congresso Internacional da Construção Metálica, São Paulo – SP, Brasil.
- Meyer, K. F. (2002), "Estruturas Metálicas", Belo Horizonte, 224pp.
- Silva, L. A., "Estudo Avaliativo de Algoritmos Genéticos Aplicados a Problemas de Identificação em Elastodinâmica", 1999, 118pp.
- Souza, E. N. e Neto, F. M., 2001, "Aplicação de Algoritmo Genético no Dimensionamento de Seções Transversais Retangulares de Concreto Armado, 22th Iberian Latin-American Congress on Computation Methods in Engineering, Campinas - SP, Brasil.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

GENETIC ALGORITHMS APPLICABLE TO THE SPATIAL STEEL TUBULAR STRUCTURES FROM SEGMENTAL-LATTICE OF THE STRAIGHT SHAFT TO COVER

Dogmar Antonio de Souza Junior

Graduate Student - School of Mechanical Engineering - Federal University of Uberlândia

Professor - School of Civil Engineering - University of Uberaba

Email: dogmar@mecanica.ufu.br ou dogmar.souza@uniube.br

Francisco Antonio Romero Gesualdo

Titular Professor - School of Civil Engineering - Av. João Naves de Ávila, 2121- Uberlândia - MG - Brasil

Email: gesualdo@ufu.br

Abstract: The use of hollow section in steel structures construction brings various advantages. In the architecture context, the structure is very attractive. This section does not have corner exposure and do not have sharp points. The form is harmonic, aesthetic and has small exposed area that prevents dirty accumulation. There is not corner favoring corrosion. So it is high recommended for environment where cleanliness is a requirement. In terms of structural behavior, the use of spatial structures arrangement improves the effort of the distribution among the members. Other advantage of this structural system is the use of tubular profiles, which due the hollow section obtain high load capacity with low weight. The optimization of structures system to obtain economy is a very important subject. So, for a real economy in the draw structural, it must be searched the best group of parameters, like the best correlation among the variables associated to the geometric, the uniform distribution of the stress, the essential comprehension of the general characteristic of the joints. The objective of this work is to present the genetic algorithm use in the optimization and project of the spatial steel tubular structures from segmental-lattice of the straight shaft to cover. The project follows the recommendations of the Brazilian rules NBR8800/86 – Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios.

Keywords: structural optimization, genetic algorithm, steel structures, hollow structural section.