



GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO - GLT

OTIMIZAÇÃO ESTRUTURAL DE TORRES AUTOPORTANTES UTILIZANDO ALGORITMOS GENÉTICOS

PEDRO HENRIQUE ROCHA DE MENEZES BRAGA(2); HERMES CARVALHO(1); RICARDO DE OLIVEIRA E BRITTO PERUCCI(2); TIAGO CORRADI MELLO(2); JEAN MARK CARVALHO OLIVEIRA(2); SÍRIO JOSÉ FERREIRA(2); FILIPE GUERRA SOARES(2); PEDRO HENRIQUE LIBERATO(2); UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS(1); ENGETOWER ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA(2)

RESUMO

Este trabalho propõe a utilização de um algoritmo de otimização baseado no conceito dos Algoritmos Genéticos para redução do peso próprio de estruturas para LTs. Para a implementação do algoritmo, foi necessário o desenvolvimento de um sistema composto por módulos de parametrização geométrica, análise estrutural e dimensionamento da estrutura conforme os critérios da norma ASCE 10-15. Foram realizados experimentos para otimização de uma torre autoportante de 525 kV do tipo Cara-de-Gato que está em operação no Brasil, resultando em significativa redução no peso próprio da estrutura.

PALAVRAS-CHAVE

OTIMIZAÇÃO, TORRE, LINHA DE TRANSMISSÃO, ALGORITMOS GENÉTICOS

1.0 INTRODUÇÃO

O procedimento de elaboração de projetos de estruturas para linhas de transmissão é um processo essencialmente iterativo, especialmente na etapa de concepção do projeto, na qual os engenheiros exploram manualmente variações de soluções que atendam aos critérios do projeto em busca da solução mais otimizada. No entanto, devido à alta demanda e constante pressão por redução de prazos, é inviável para o projetista avaliar um elevado número de possibilidades, sendo a qualidade do projeto dependente principalmente da sua experiência e sensibilidade (1).

Nesse sentido, o uso de recursos computacionais para otimização estrutural possibilita a exploração e avaliação automática de milhares de possibilidades em um tempo extremamente reduzido, assegurando o desenvolvimento de soluções mais eficientes e proporcionando ganhos de natureza técnica e econômica que beneficiam toda a cadeia do empreendimento.

Os Algoritmos Genéticos são algoritmos de Inteligência Artificial baseados na Teoria da Evolução de Darwin, segundo a qual por um mecanismo de seleção natural ocorre um contínuo aprimoramento genético dos indivíduos de uma determinada espécie. No contexto da computação, o conceito evolucionista de Darwin inspirou o desenvolvimento de algoritmos de otimização que realizam a busca de soluções em um espaço determinado de possibilidades. Através de técnicas que simulam o mecanismo de seleção natural, possibilita-se a convergência mais rápida da busca para soluções ótimas, uma vez que é evitada a exploração de possibilidades que não possuem as características que atendem aos critérios de otimização definidos (2).

Processos de otimização no geral têm por objetivo a minimização ou maximização de grandezas específicas do projeto através da variação de determinados parâmetros. O presente trabalho propõe a utilização de um Algoritmo Genético para redução do peso próprio de torres autoportantes através da variação das dimensões da base e do topo do tronco inclinado e do dimensionamento das barras da estrutura.

De maneira geral, projetos otimizados possibilitam a utilização mais eficiente de recursos como tempo, mão-de-obra e matéria-prima (1). Em projetos de linhas de transmissão, em especial, devido à característica de utilização seriada das estruturas, a otimização dos projetos tem o potencial para proporcionar significativa redução de custos (3).

2.0 OTIMIZAÇÃO ESTRUTURAL

Otimização estrutural é o processo que visa a obtenção de uma solução estrutural para um determinado problema que possua um desempenho ótimo em relação a um ou a múltiplos aspectos do problema e simultaneamente atenda ao conjunto de restrições definido. A busca pela solução ótima é realizada através da variação em faixas pré-definidas de parâmetros denominados variáveis de projeto, usualmente descritos por meio de um vetor $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ (1).

2.1 Tipos de otimização

Segundo Carvalho (4), a otimização estrutural pode ser classificada em três tipos principais:

- **Otimização dimensional:** as variáveis de projeto são parâmetros dimensionais dos elementos das estruturas. No caso de treliças, por exemplo, cada variável de projeto pode ser a área de seção das barras. A Figura 1 ilustra esse tipo de otimização.

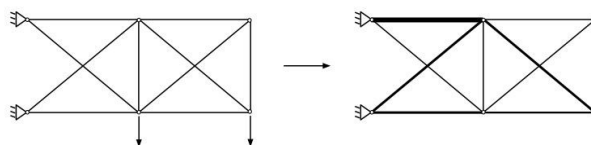


FIGURA 1 - Exemplo de otimização dimensional - Adaptado de Carvalho (4)

- **Otimização de geometria:** a forma da estrutura pode ser alterada através da variação das suas coordenadas nodais, sem alteração do número de barras ou da conectividade entre os elementos. A Figura 2 ilustra um exemplo de otimização dimensional e geométrica.

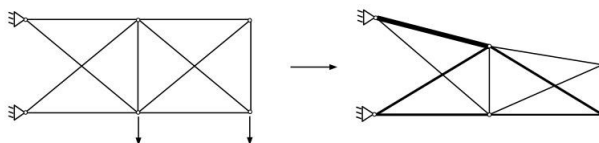


FIGURA 2 - Exemplo de otimização dimensional e geométrica - Adaptado de Carvalho (4)

- **Otimização topológica:** consiste no processo de otimização em que podem ser alteradas a quantidade de barras bem como a conectividade entre os elementos, como, por exemplo, o padrão de contraventamento adotado. A Figura 3 ilustra um exemplo de otimização dimensional, geométrica e topológica.

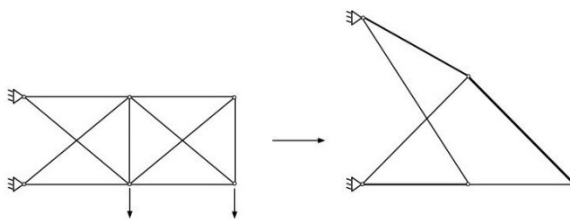


FIGURA 3 - Exemplo de otimização dimensional, geométrica e topológica - Adaptado de Carvalho (4)

Problemas típicos de otimização estrutural tem por objetivo a redução do peso próprio da estrutura através da variação de parâmetros como as áreas de seção das barras e coordenadas nodais, sujeito a restrições como critérios de tensão admissível e deslocamentos máximos.

A Brochura Técnica 03 publicada pelo Cigré (5) recomenda que em projetos de torres para linhas de transmissão o projetista procure otimizar o peso próprio da estrutura através da variação de parâmetros como a inclinação dos montantes, a abertura da base e o dimensionamento das barras, atendendo às restrições normativas do projeto.

2.2 Métodos de otimização

De acordo com Rao (6), os métodos de otimização podem ser classificados entre métodos clássicos e modernos. Os métodos clássicos de otimização são essencialmente métodos matemáticos analíticos ou numéricos. Os métodos modernos de otimização são conceitualmente diferentes dos métodos matemáticos tradicionais, e vem sendo amplamente utilizados para a solução de problemas complexos de engenharia. As características da formulação destes métodos possibilitam a tratativa simples e eficaz de problemas que, devido à sua complexidade, são difíceis de serem explicitamente descritos por meio de funções matemáticas adequadas e implicariam em elevado custo computacional se abordados pelos métodos tradicionais. A maioria dos métodos modernos de otimização são inspirados por mecanismos e comportamentos de sistemas biológicos e naturais, como os Algoritmos Genéticos.

2.3 Algoritmos Genéticos

Os Algoritmos Genéticos são algoritmos de otimização e busca computacional baseados no mecanismo evolutivo de seleção natural, propostos originalmente por John Holland em 1975. Trata-se de uma abordagem que possibilita lidar com problemas que possuem simultaneamente variáveis discretas e contínuas e, embora sua formulação não garanta a obtenção do ótimo global, os estudos indicam que na maioria dos casos a solução ótima é encontrada. Os conceitos básicos da teoria da evolução natural, como seleção, cruzamento e mutação dos indivíduos de uma determinada espécie, são utilizados no procedimento de otimização dos Algoritmos Genéticos.

A estruturação básica do algoritmo é descrita pelas seguintes etapas, que se repetem ciclicamente ao longo da sua execução e conduzem à convergência do algoritmo para a solução ótima para o problema:

1. Geração de uma população inicial de indivíduos em que cada indivíduo, representado por meio de um cromossomo em forma de *string* de valores binários ou reais, corresponde uma possível solução para o problema. Cada gene do cromossomo é um valor da *string* gerado aleatoriamente dentro de uma faixa pré-definida de variação e corresponde a uma variável de projeto;
2. Avaliação dos indivíduos baseados em uma métrica de desempenho representada por uma função de avaliação. Nesta etapa, cada indivíduo recebe uma nota proporcional ao seu desempenho;
3. Seleção dos melhores indivíduos da população baseado na nota atribuída pela função de avaliação;
4. Cruzamento dos indivíduos selecionados e geração de uma nova população, em que cada cromossomo filho possui características mescladas dos cromossomos pais;
5. Mutação de genes aleatórios dos indivíduos, de forma a assegurar a diversidade genética da população e evitar a estagnação da solução em condições de mínimo global.

3.0 METODOLOGIA

3.1 Aspectos gerais

A metodologia deste trabalho consiste no desenvolvimento de um sistema de otimização estrutural baseado no conceito dos Algoritmos Genéticos, constituído pelos seguintes módulos:

- **Geometria:** conjunto de funções para manipulação paramétrica da geometria da estrutura. No procedimento de otimização geométrica são definidas coordenadas nodais como variáveis de projeto e o algoritmo deve ser capaz de alterar a geometria da estrutura atendendo simultaneamente às restrições específicas do problema;
- **Análise:** trata-se de um módulo externo, correspondente ao programa de análise estrutural utilizado para obtenção dos esforços internos das barras para as soluções geradas pelo sistema de otimização. Por padrão foi adotado o programa de cálculo de estruturas para linhas de transmissão CELT 2000®;
- **Dimensionamento:** algoritmo para realização do dimensionamento dos perfis e ligações da estrutura em conformidade com os critérios normativos e convenções adotadas;
- **Ações:** a alteração dos perfis realizada pelo módulo de dimensionamento implica na alteração da rigidez da estrutura, da ação relativa ao peso próprio e da área considerada para o cálculo das forças de vento atuantes. Este módulo realiza a atualização dos valores das ações em função das alterações dos perfis das barras da estrutura. Dada a relação de interdependência existente, esta função deve ser executada

iterativamente em conjunto com o algoritmo de dimensionamento e a execução da análise estrutural até que haja uma convergência do resultado;

- **Avaliação:** função para avaliação do desempenho de uma solução conforme a métrica estabelecida pelo objetivo de otimização. De maneira geral, soluções que atendam às restrições com menor peso próprio são mais bem avaliadas;
- **Otimização:** consiste no algoritmo que realiza a execução do procedimento de otimização do problema. Este módulo manipula os demais de maneira coordenada para a obtenção de uma solução otimizada para o problema e corresponde ao algoritmo genético em si.

Os módulos internos do sistema foram desenvolvidos utilizando-se predominantemente a plataforma .NET em linguagem C# e em conformidade com os paradigmas de Programação Orientada a Objetos (POO).

3.2 Torre autoportante Cara-de-Gato de 525 kV

A metodologia proposta foi utilizada para otimização de uma torre de 525 kV de circuito simples do tipo Cara-de-Gato, que está em operação no Brasil. Neste trabalho, adotou-se como referência a torre mais alta dentre as composições da estrutura, com 69,5 m de altura e peso inicial de barras de 21954 kg. A Figura 4 ilustra as dimensões da estrutura original, composta por 1614 barras, e a sua representação tridimensional. A torre adotada é constituída pelos seguintes componentes:

- Cabeça;
- Tronco comum;
- Extensão de 24,0 m;
- 4 pés de 10,5 m.

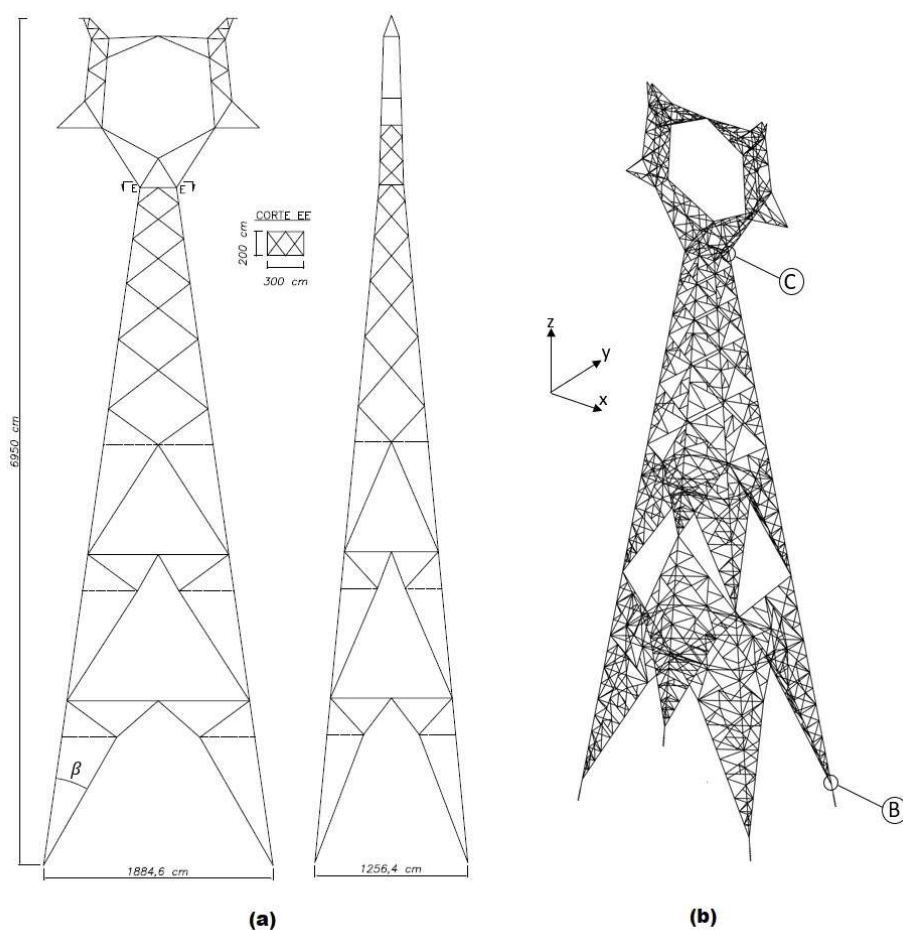


FIGURA 4 – (a) Dimensões da torre de 525 kV e (b) Representação tridimensional

3.2.1 Geometria

Foram definidas como variáveis de projeto as coordenadas X e Y do nó de referência do topo do tronco inclinado, indicado por **C** na Figura 4 (b) e a coordenada X do nó de referência da base do tronco inclinado, indicado por **B** na mesma figura. Deve ser preservada a simetria da geometria da torre em relação aos planos verticais XZ e YZ e a razão entre as coordenadas X e Y dos nós do topo e da base do tronco inclinado deve ser constante. Dessa forma, bastam 3 variáveis de projeto para definir as coordenadas de todos os 8 nós do topo e da base do tronco inclinado.

A Figura 5 ilustra o cromossomo que representa um indivíduo do algoritmo genético, ou seja, uma possível solução para o problema. Para cada solução, o módulo de atualização da geometria atualiza os valores das coordenadas nodais correspondentes aos genes do cromossomo.

$$\begin{bmatrix} x_c & y_c & x_b \end{bmatrix}$$

FIGURA 5 – Cromossomo representativo de uma configuração da torre de 525 kV

3.2.2 Análise, dimensionamento e ações

Para cada configuração da torre, a análise estrutural foi executada considerando 53 hipóteses de carga para todas as composições da estrutura, conforme as mesmas considerações do projeto original.

A partir da envoltória dos esforços internos das barras obtidos para todas as hipóteses analisadas, foi realizado o dimensionamento das barras e ligações conforme os critérios da norma ASCE 10-15 (7), adotando-se um coeficiente de minoração das resistências igual a 0.90. O módulo de dimensionamento foi implementado para selecionar o perfil mais leve que atenda simultaneamente a todos os critérios estabelecidos. Foram especificados como materiais os aços estruturais ASTM A572 Grau 50 ou ASTM A572 Grau 60. Os requisitos para dimensionamento e a tabela de perfis utilizada foram idênticos aos utilizados no projeto original.

Devido às alterações das coordenadas nodais realizadas pelo módulo de atualização da geometria e dos perfis das barras realizadas pelo módulo de dimensionamento, devem ser atualizados os carregamentos referentes ao peso próprio e à ação do vento sobre a estrutura e, então, realizada nova análise estrutural para obtenção dos esforços atualizados. A determinação da força de vento atuante foi realizada de acordo com os critérios definidos pela norma IEC 60826 (8).

Este processo deve se repetir iterativamente até que o módulo de dimensionamento indique que não é mais necessária a alteração de nenhum perfil da torre. A Figura 6 ilustra este processo.

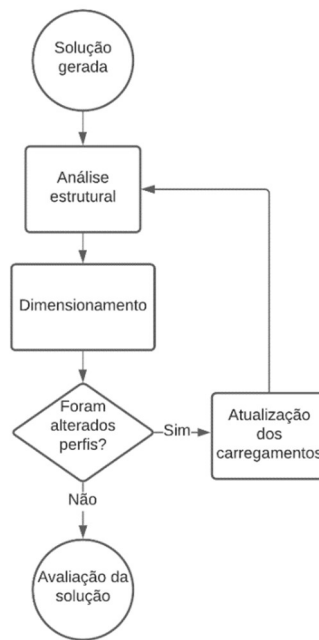


FIGURA 6 – Fluxograma do procedimento de dimensionamento

3.2.3 Avaliação

A avaliação de cada solução foi realizada de acordo com as Equações 1 a 6, de forma que as soluções de menor peso fossem mais bem avaliadas. Foram implementadas penalizações sobre a pontuação atribuída à solução, de forma a atender às seguintes restrições:

- I. **Taxa de trabalho:** a razão entre o esforço atuante nas barras e ligações e o respectivo esforço resistente deve ser inferior à 1;
- II. **Ângulo de fechamento dos pés:** o ângulo de fechamento dos pés, indicado por β na Figura 4 (a), deve ser igual ou superior à 15° , sendo que a determinação da largura superior dos pés deve atender aos requisitos de intercambialidade entre os componentes da torre;
- III. **Razão entre as dimensões da base:** a razão entre as dimensões longitudinal e transversal da base da torre deve ser igual ou maior a $2/3$ e menor ou igual a 1.

$$N = 20^4 - (P + 10 \cdot \Omega \cdot P) \quad (1)$$

$$P = \sum_{i=1}^n \rho A_i L_i \quad (2)$$

$$\Omega = 0,4 \cdot P_b + 0,3 \cdot P_a + 0,3 \cdot P_r \quad (3)$$

$$P_b = N_i / N_t \quad (4)$$

$$P_a = \begin{cases} 0, & \text{se } \beta \geq 15 \\ 1 - \frac{\beta}{15}, & \text{se } \beta < 15 \end{cases} \quad (5)$$

$$P_r = \begin{cases} 0, & \text{se } 2/3 \leq r \leq 1 \\ r - 1, & \text{se } r > 1 \\ 2/3 - r, & \text{se } r < 2/3 \end{cases} \quad (6)$$

Onde:

N = Pontuação atribuída à solução, cujo valor deve ser maximizado pelo algoritmo

P = Peso próprio da estrutura em kg

ρ = Densidade do material em kg/m³

A_i = Área da *i*ésima barra em m²

L_i = Comprimento *i*ésima da barra em m

Ω = Fator de penalização por infringência de restrições

P_b = Penalização por infringência do critério de taxa de trabalho limite das barras e ligações

P_a = Penalização por infringência do critério de ângulo mínimo dos pés

P_r = Penalização por infringência do critério de faixa de razão admissível entre as dimensões longitudinal e transversal

N_i = Número de barras de não atenderam ao critério de taxa de trabalho limite com nenhum perfil da tabela

N_t = Número total de barras da torre

β = Ângulo de fechamento dos pés

r = Razão entre as dimensões longitudinal e transversal da base da torre

3.2.4 Otimização

O algoritmo foi configurado para execução a partir de uma população inicial de indivíduos, em que cada indivíduo corresponde a uma solução gerada com valores aleatórios para os cromossomos dentro das respectivas faixas de variação, conforme a Tabela 1. Foi estabelecido como critério de parada um determinado número de gerações, correspondentes às iterações cíclicas do algoritmo.

TABELA 1 – Variáveis geométricas da torre

Variável de projeto	Valor mínimo (cm)	Valor máximo (cm)
x_c	120	180
y_c	80	120
x_b	750	1000

Foram adotados os seguintes operadores genéticos:

- **Seleção por Torneio:** consiste na realização de "torneios" entre pares de indivíduos escolhidos aleatoriamente em que o indivíduo vencedor de cada torneio é selecionado para cruzamento, até que se atinja o número de indivíduos necessários para cruzamento e geração da nova população;
- **Cruzamento Uniforme:** são gerados dois cromossomos de indivíduos filhos a partir dos genes dos pais, sendo que o *i*ésimo gene de cada filho tem uma mesma probabilidade de ser preenchido pelo *i*ésimo gene do pai ou pelo *i*ésimo gene da mãe. Os dois filhos possuem genes complementares em relação à origem pai-mãe. Adicionalmente, foi definido que os 10% melhores indivíduos da população sobrevivem para a próxima geração. A Figura 7 ilustra como é realizado o cruzamento uniforme.

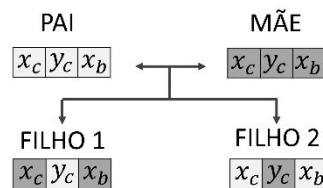


FIGURA 7 – Cruzamento Uniforme

- **Mutação Uniforme:** estabelece que cada gene dos indivíduos filhos tem uma probabilidade fixa de 15% de ser substituído por um novo gene gerado aleatoriamente dentro de sua respectiva faixa de variação admissível.

Após a inicialização do processo de otimização, por meio de um procedimento iterativo evolutivo, o algoritmo converge para uma solução otimizada para o problema. A Figura 8 ilustra o fluxograma de execução do Algoritmo Genético.

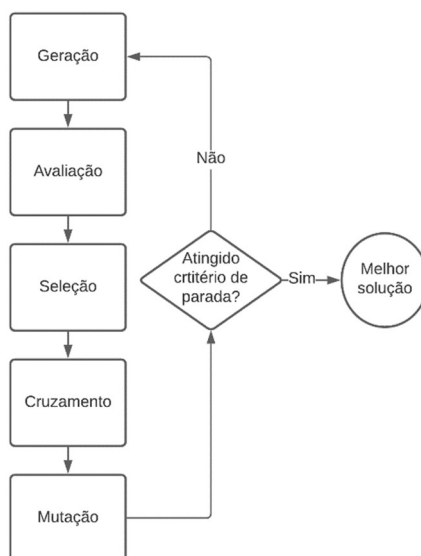


FIGURA 8 – Fluxograma de execução do AG

4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizados experimentos de execução do algoritmo com uma população inicial de 40 indivíduos e critério de parada de 75 gerações. A melhor solução válida foi encontrada na geração de número 37, com peso de 21221 kg, atendidas todas as restrições do problema. O resultado obtido corresponde a uma redução de 3,34% em relação ao peso de 21954 kg da estrutura original.

A solução otimizada possui dimensões no topo do tronco inclinado de 256 cm na direção transversal e 200 cm na direção longitudinal e na base da torre de 1576 cm na direção transversal e 1231,25 cm na direção longitudinal. A Tabela 2 indica as características desta solução.

TABELA 2 – Melhor solução AG

População inicial	Total de gerações	Geração da melhor solução	X _c [cm]	Y _c [cm]	X _b [cm]	Pontuação	Peso [kg]
40	75	37	128	100	788	178779	21221

A Figura 9 ilustra a evolução do algoritmo ao longo das gerações.

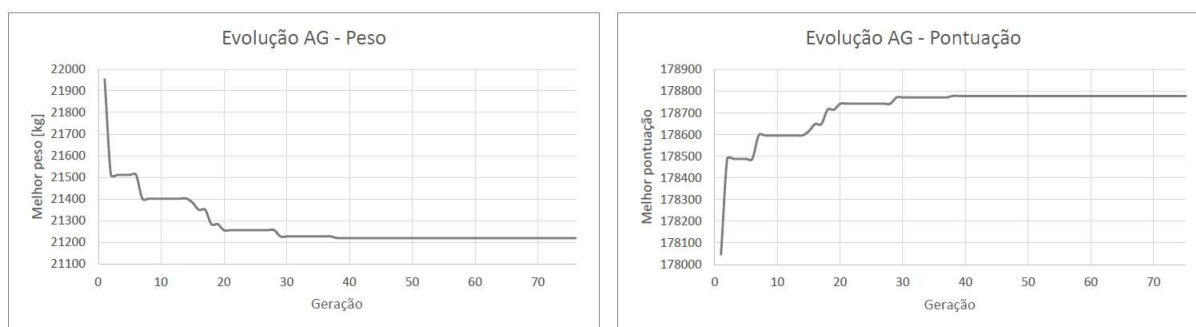


FIGURA 9 – Evolução do AG – (a) Peso e (b) Pontuação

No total, foram utilizadas 68 unidades da torre de referência na linha de transmissão analisada, totalizando aproximadamente 1297 t de aço de perfis laminados. Assumindo que seja aplicada a redução obtida de 3,34% sobre este valor, a otimização da torre resultaria em uma redução de 43 t de aço. Considerando toda a série de estruturas utilizada na linha em questão, a soma do peso das torres foi de aproximadamente 10850 t. Caso a otimização fosse

aplicada a todas as estruturas da série e fosse obtido o mesmo percentual de redução dos resultados deste trabalho, haveria uma redução de 369 t no total de aço utilizado na LT.

5.0 CONCLUSÃO

A proposta deste trabalho foi o desenvolvimento de uma ferramenta de uso prático no contexto de elaboração de projetos de torres para LT's, razão pela qual foram estabelecidos diversos critérios restritivos para obtenção da solução final do algoritmo, idênticos aos adotados na prática usual de projetos, de forma a se obter soluções efetivamente viáveis.

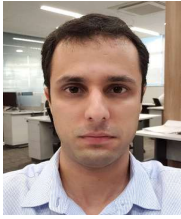
Os resultados obtidos demonstram a eficácia da metodologia proposta, uma vez que por meio da otimização foi obtida uma redução significativa no peso próprio da estrutura utilizada como referência. Tal redução se torna ainda mais expressiva ao se considerar a prática de utilização seriada de uma mesma solução estrutural que é característica dos empreendimentos de linha de transmissão. Dessa forma, mesmo percentuais relativamente moderados de otimização resultam em elevados ganhos em valores absolutos, em especial para as torres predominantes de linhas de maior extensão.

A geometria da torre otimizada, conforme indicado nos resultados, confirma o conhecimento já adquirido pela experiência de que a utilização de torres mais esbeltas tende a proporcionar redução no peso próprio das estruturas. No entanto, é sabido que o aumento da esbeltez da estrutura também provoca o aumento das cargas sobre as fundações. Portanto, conclui-se também que é necessário o desenvolvimento desta metodologia de forma a se considerar a estimativa de custo das fundações como um parâmetro de otimização simultânea, de forma a se obter a solução globalmente otimizada para o problema.

6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) HAFTKA, R. T.; GURDAL, Z. Elements of Structural Optimization. 3. ed., 1992.
- (2) RUSSEL, S.; NORVIG, P. Artificial Intelligence: A modern Approach. 3. ed., 2016.
- (3) SOUZA, R. R. de; Fadel Miguel, L. F.; LOPEZ, R. H.; MIGUEL, L. F. F.; TORII, A. J. A procedure for the size, shape and topology optimization of transmission line tower structures. Engineering Structures, v. 111, p. 162–184, 2016.
- (4) CARVALHO, É. d. C. R. Solução de problemas de otimização com restrições usando estratégias de penalização adaptativa e um algoritmo do tipo PSO. Tese (Doutorado) — UFJF, 2014.
- (5) CIGRÉ. Brochura Técnica 03 - Procedimento de Projeto de Torres Metálicas Trelaçadas para Linhas de Transmissão, 2001.
- (6) RAO, S. S. Engineering Optimization - Theory and Practice. 4. ed., 2009.
- (7) ASCE 10-15. Design of Latticed Steel Transmission Structures. 2015.
- (8) IEC 60826. Overhead Transmission Lines - Design Criteria. 2017.

DADOS BIOGRÁFICOS



(1) PEDRO HENRIQUE ROCHA DE MENEZES BRAGA

Nascido em Belo Horizonte/MG, em 25/03/1991, graduou-se em Engenharia Mecânica pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais no ano de 2018. Está cursando Mestrado em Engenharia de Estruturas pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais com previsão de conclusão em 2022. Atua desde 2017 na Engetower Engenharia na elaboração de projetos de estruturas metálicas para LT's e SE's.

(2) HERMES CARVALHO

HERMES CARVALHO concluiu seu doutorado em Engenharia de Estruturas pela Universidade Federal de Minas Gerais em 2015 e pós-doutorado na UPorto em 2020. É PROFESSOR ADJUNTO do Departamento de Engenharia de Estruturas (UFMG). Atua principalmente nas seguintes linhas de pesquisa: Pontes, Ferrovias, Fadiga, Dinâmica de Estruturas, Estruturas de Aço e Misturas de Aço e Concreto, Estruturas de Linhas de Transmissão de Energia e Estruturas OffShore. Participa ativamente da elaboração de normas técnicas, para a ABNT, coordenador de projetos de pesquisa e consultor de projetos especiais de engenharia em aço e misturas: CEMIG, VALE, VLI, MRS, DNIT, ARCELLOR, USIMINAS

(3) RICARDO DE OLIVEIRA E BRITTO PERUCCI

Nascido em Belo Horizonte/MG, em 22/06/1994, graduou-se em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais no ano de 2018. Está cursando Mestrado em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Minas Gerais com previsão de conclusão em 2023. Atua desde 2016 na Engetower Engenharia na elaboração de projetos de estruturas metálicas para LT's e SE's e no desenvolvimento de sistemas e processos de integração.

(4) TIAGO CORRADI MELLO

Nascido em Belo Horizonte/MG, em 12/07/1996, graduou-se em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais no ano de 2021. Atua desde 2016 na Engetower Engenharia na elaboração de projetos de estruturas metálicas para LT's e SE's.

(5) JEAN MARK CARVALHO OLIVEIRA

Nascido em Teófilo Otoni/MG, em 11/01/1985, graduou-se em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais no ano de 2009. Especialista em Estruturas Metálicas pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Atua desde 2007 na Engetower Engenharia e Consultoria na elaboração de projetos de Estruturas Metálicas para LT's e SE's.

(6) SÍRIO JOSÉ FERREIRA

Nascido em Iguatama/MG, em 18/06/1962, graduou-se em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais no ano de 1986. Atuou como engenheiro projetista de estruturas metálicas para LT's e SE's na empresa Morrison Knudsen de Engenharia em 1986, e na empresa Mendes Júnior Montagens e Serviços no período de 1987 a 1991. A partir de 1995 atua como sócio e analista de sistemas da Engetower Engenharia.

(7) FILIPE GUERRA SOARES

Nascido em Timóteo/MG, em 29/06/1979, graduou-se em Engenharia Civil com ênfase em Cálculo Estrutural pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais no ano de 2001. Atua desde 1999 na Engetower Engenharia na elaboração de projetos de estruturas metálicas para LT's e SE's.

(8) PEDRO HENRIQUE LIBERATO

Nascido em Belo Horizonte/MG, em 21/02/1982, graduou-se em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais no ano de 2006. Possui pós-graduação em Gestão de Projetos pela Fundação Dom Cabral. Trabalhou com desenvolvimento de softwares para o AutoCAD com a tecnologia ObjectARX .NET durante dois anos. Trabalhou também durante nove anos com desenvolvimento de sistemas WEB e aplicativos móveis para diversos segmentos. Trabalha na Engetower Engenharia desde 2015 no setor de Tecnologia da Informação desenvolvendo o software de detalhamento 3D.