

ANÁLISE DA SENSIBILIDADE DOS PARÂMETROS DE OTIMIZAÇÃO PARA A MAXIMIZAÇÃO DA FREQUÊNCIA FUNDAMENTAL DE UMA VIGA BI ENGASTADA

G. C. Rodrigues, gustavocomerlato@gmail.com¹

E. S. Lisboa, ederval.lisboa@yahoo.com.br²

J. B. D. Moreira, joaobapdmdias@gmail.com²

F. B. Link, feulink@gmail.com²

W. J. P. Casas, walter.paucar.casas@ufrgs.br²

¹ Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rua Sarmiento Leite 425 Porto Alegre, Brasil, <http://www.ufrgs.br/demec> - Bolsista da PROPESQ – UFRGS – Brasil

² Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rua Sarmiento Leite 425 Porto Alegre, Brasil, <http://www.ufrgs.br/demec>

Resumo: Este trabalho busca investigar os efeitos dos parâmetros de entrada do método BESO (Bidirectional Evolutionary Structural Optimization) no processo de otimização, analisando seus efeitos sobre a função objetivo, o número de iterações e a curva de convergência. O algoritmo foi desenvolvido no ambiente MATLAB™, tendo seus resultados validados com base num modelo clássico de viga bi engastada com massa concentrada. Após a validação, ensaios numéricos foram realizados a fim de se analisar os efeitos de cada parâmetro tanto no processo de otimização quanto na topologia final e solução ótima. Os resultados mostraram que, para maiores valores do fator de penalização, o algoritmo converge mais facilmente, e que com uma taxa de evolução maior há uma redução significativa no número total de iterações requeridas. Também foi possível se perceber poucos efeitos do raio mínimo e do fator de penalização no número total de iterações. Com isso, foi possível se evidenciar que o aumento do raio mínimo e da taxa evolucionária corroboraram para uma diminuição no número de iterações do algoritmo, ao mesmo tempo em que se distanciam da solução ótima.

Palavras-chave: Otimização Topológica, Vibrações, Ótimo Global, Elementos Finitos

1. INTRODUÇÃO

A otimização topológica de modo geral pretende encontrar a topologia e forma, i.e., a distribuição de material de uma estrutura visando que o desempenho estrutural seja otimizado. Bendsoe e Kikuchi, (1988) utilizam a teoria da homogeneização no projeto de forma ótima assumindo que a estrutura é composta de material poroso, logo simplificado por Bendsoe, (1989) ao substituir o material poroso com um modelo de material artificial, denominado de *Solid Isotropic Material with Penalization* (SIMP), segundo Rozvany *et al.*, (1992).

Na otimização estrutural topológica, o modelo SIMP é geralmente aplicado com o método do critério de otimalidade ou com o método das assíntotas móveis (MMA). Outros métodos de otimização estrutural topológica incluem o método *level set* (Sethian e Wiegmann, 2000), o *Evolutionary Structural Optimizazation* (ESO) (Xie e Steven, 1993 e 1997), e o *Bi-directional ESO* (BESO) (Huang e Xie, 2009 e 2010), que consiste na remoção e adição gradual de elementos de uma estrutura baseado na sensibilidade, de maneira a otimizá-la para um certo objetivo.

Problemas de maximização e separação de frequências através da otimização topológica foram inicialmente resolvidos por Ma, Cheng e Kikuchi, (1994), comprovando a eficácia e utilidade de um algoritmo para problemas de frequências. Posteriormente Xie e Steven, (1996) aplicam o método ESO para a otimização de frequências nos casos de maximização, minimização e separação das frequências para vigas bi engastadas, placas retangulares e quadradas. O método ESO provou ser simples e eficaz, obtendo resultados similares aos previstos pela teoria de homogeneização e

passando a ser aplicado também em problemas de frequências. Zhao *et al.* (1997) utilizaram o método ESO para realizar otimização topológica de estruturas com massa concentrada, para problemas de maximização da frequência fundamental. Devido à tendência do algoritmo a quebrar os suportes conectados à massa concentrada, foi estabelecido um critério a ser atingido pelo processo que, caso não seja cumprido durante a atualização de topologia, indica uma quebra estrutural e reverte as mudanças feitas, aplicando os critérios de eficiência e quebra de estruturas no processo. Os resultados dos exemplos realizados, validam o método ESO também para problemas dessa natureza.

Com o desenvolvimento do ESO bidirecional (BESO), Yang *et al.*, (1999), aplicam o método na otimização topológica voltada para os problemas de maximização de frequências múltiplas e individuais, e para a obtenção de frequências predeterminadas em estruturas. O método atinge resultados satisfatórios e converge para soluções ótimas similares ao método ESO, e num comparativo entre a performance dos métodos, o estudo apresenta uma superioridade do BESO para a maioria dos casos testados.

Du e Olhoff, (2007), com o método das assíntotas móveis (MMA), resolvem problemas de maximização e separação de frequências adjacentes, em vigas bi engastadas e placas tridimensionais com massas concentradas, propondo um método para lidar com múltiplas frequências, que detecta sua multiplicidade e calcula os incrementos das variáveis para o problema específico, sendo separação ou maximização. Os resultados, comparados com outras técnicas de separação, demonstram superioridade do método proposto.

Yaghoobi e Hassani, (2017), empregam o método MMA para maximizar a frequência natural fundamental de estruturas com massa concentrada. Para a eliminação de modos locais em áreas de baixa densidade, o esquema de interpolação foi modificado, inserindo dois coeficientes C_1 e C_2 , em áreas de baixa densidade, reforçando a continuidade nessas regiões e removendo os padrões de tabuleiro de xadrez. O algoritmo, aplicado em problemas de viga bi engastada e engastada-livre, tem seus resultados comparados ao método ESO, demonstrando maior eficiência e maior manufaturabilidade.

Esse trabalho propõe realizar uma investigação sobre a influência dos parâmetros de otimização do método BESO no leiaute da estrutura, no número de iterações e na solução ótima, aplicado ao problema de vibrações de uma viga bi engastada com massa concentrada. A função objetivo busca obter a distribuição ótima de material para garantir a maximização da frequência fundamental da viga, com uma restrição de volume predefinida. O algoritmo, desenvolvido em ambiente MATLAB™, é implementado com elementos de tensão plana contendo quatro nós cada, e testado em exemplos clássicos, tendo seus resultados comparados com a literatura, permitindo ser observada a influência de cada parâmetro no processo de otimização do modelo proposto, de forma a alcançar o ótimo global para um domínio predefinido.

2. METODOLOGIA

O problema de autovalores para um dado sistema, na ausência de forças externas e amortecimentos, pode ser escrito conforme a Eq. (1):

$$(\mathbf{K} - \omega^2 \mathbf{M}) \Phi = 0 \quad (1)$$

Onde $\mathbf{K}$ é a matriz de rigidez, $\mathbf{M}$ a matriz de massa, Φ o autovetor e ω^2 o autovalor correspondente. Trata-se de um problema geral de autovalores, sendo utilizado para a otimização da frequência natural.

A k -ésima frequência natural ω_k e seu correspondente autovetor Φ_k podem ser relacionados através do quociente de Rayleigh, conforme a Eq. (2).

$$\omega_k^2 = \frac{\Phi_k^T \mathbf{K} \Phi_k}{\Phi_k^T \mathbf{M} \Phi_k} \quad (2)$$

Onde Φ_k representa o k -ésimo autovetor correspondente ao k -ésimo autovalor (ω_k^2). Considerando a otimização topológica como um problema da maximização da k -ésima frequência natural de vibração para estruturas contínuas, em um projeto de sólido-vazio, o problema de otimização pode ser representado pelas Eqs. (3) e (4).

$$\text{Maximizar: } \omega_k \quad (3)$$

$$\text{Sujeito a: } V^* - \sum_{i=1}^n x_i V_i = 0 \quad (4)$$

$$x_i = x_{\min} \vee 1$$

Sendo V^* o volume prescrito da estrutura a ser atingido no decorrer da otimização, n o número total de elementos na estrutura, x_i a variável de projeto binária do i -ésimo elemento, e $x_{\min}$ (e.g. 10^{-6}) é usado para denotar elemento vazio.

2.1 Matrizes Elementares

A matriz de rigidez elementar pode ser obtida a partir da Eq. (5).

$$\mathbf{K}_e = \int_{V_e} \mathbf{B}^T \mathbf{D} \mathbf{B} dV_e \quad (5)$$

Sendo $\mathbf{D}$ a matriz constitutiva do material, $\mathbf{B}$ (ver Eq. (6)) a matriz de deformações para um elemento quadrilátero de quatro nós e V_e o domínio elementar.

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} -\frac{(1-\eta)}{a} & 0 & \frac{(1-\eta)}{a} & 0 & \frac{(1+\eta)}{a} & 0 & -\frac{(1+\eta)}{a} & 0 \\ 0 & -\frac{(1-\xi)}{b} & 0 & -\frac{(1+\xi)}{b} & 0 & \frac{(1+\xi)}{b} & 0 & \frac{(1-\xi)}{b} \\ -\frac{(1-\xi)}{b} & -\frac{(1-\eta)}{a} & -\frac{(1+\xi)}{b} & \frac{(1-\eta)}{a} & \frac{(1+\xi)}{b} & \frac{(1+\eta)}{a} & \frac{(1-\xi)}{b} & -\frac{(1+\eta)}{a} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Em que a e b representam a metade da dimensão do elemento utilizado para discretizar o domínio do problema, e as variáveis ξ e η correspondem a localização do centro de cada elemento na horizontal e vertical, respectivamente (ver Fig. 1).

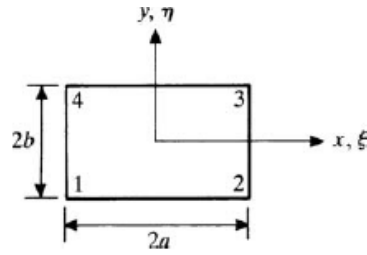


Figura 1. Elemento de volume unitário.

A matriz de massa elementar pode ser obtida a partir da Eq. (7).

$$\mathbf{M}_e = \int_{V_e} \rho \mathbf{N}^T \mathbf{N} dV_e \quad (7)$$

Sendo ρ densidade material, e $\mathbf{N}$ (ver Eqs. (8) e (9)) a matriz de forma para o elemento indicado.

$$\mathbf{N} = \begin{bmatrix} N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 & 0 & N_4 & 0 \\ 0 & N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 & 0 & N_4 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} N_1 &= \frac{1}{4}(1-\xi)(1-\eta) \\ N_2 &= \frac{1}{4}(1+\xi)(1-\eta) \\ N_3 &= \frac{1}{4}(1+\xi)(1+\eta) \\ N_4 &= \frac{1}{4}(1-\xi)(1+\eta) \end{aligned} \quad (9)$$

2.2 Interpolação das propriedades materiais

A fim de se obter o gradiente da variável de projeto, é necessário realizar a interpolação do material sendo um dos mais conhecidos, o chamado modelo *power-law* de penalização (o modelo SIMP). Para o projeto sólido-vazio a densidade do material e módulo de Young são funções da variável de projeto x_i , conforme as Eqs. (10) e (11), respectivamente.

$$\rho(x_i) = x_i \rho^1 \quad (10)$$

$$E(x_i) = x_i^p E^1 \quad (11)$$

Para $0 < x_{min} \leq x_i \leq 1$, onde a variável ρ representa a densidade do material, E o módulo de elasticidade e p o fator de penalização.

Segundo Huang e Xie (2010a), o modelo SIMP, conforme as Eqs. (10) e (11), não pode ser diretamente aplicado para problemas de otimização da frequência, pois a relação entre a massa e a rigidez para pequenos valores de x_i (para $p > 1$) é extremamente alta, o que causa modos artificiais localizados nas regiões de baixa densidade. Uma solução para esse problema é fazer a razão entre a massa e a rigidez constante, conforme as Eqs. (12) e (13), onde $x_i = x_{min}$, e ρ^1 e E^1 são a densidade e o módulo de elasticidade na condição inicial, respectivamente.

$$\rho(x_{min}) = x_{min} \rho^1 \quad (12)$$

$$E(x_{min}) = x_{min} E^1 \quad (13)$$

Por consequência, um outro esquema de interpolação do material pode ser expresso pelas Eqs. (10) e (14). Na Fig. 2 se observa as curvas de penalização para $x_{min} = 0,01$.

$$E(x_i) = \left[\frac{x_{min} - x_{min}^p (1 - x_i^p) + x_i^p}{1 - x_{min}^p} \right] E^1 \quad (14)$$

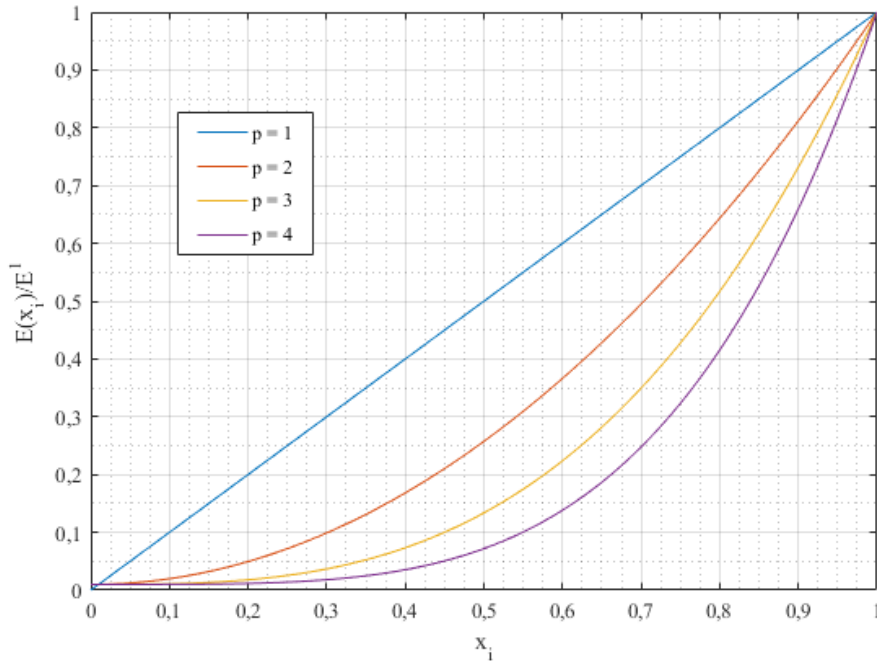


Figura 2. Curvas de penalização para $x_{min} = 0,01$.

2.3 Matrizes Globais

Com isso, matrizes globais de rigidez $\mathbf{K}$ e de massa $\mathbf{M}$ do sistema podem ser obtidas através das Eqs. (15) e (16), respectivamente, onde n é o número de elementos finitos considerados:

$$\mathbf{M} = \sum_{i=1}^n \mathbf{M}_e(x_i) \quad (15)$$

$$\mathbf{K} = \sum_{i=1}^n \mathbf{K}_e (x_i)^p \quad (16)$$

3. ENSAIOS NUMÉRICOS

Para a análise dos efeitos de cada parâmetro no processo de otimização, foi utilizado o problema mostrado em Yaghoobi e Hassani (2017), que trata de uma viga bi engastada de material único, com massa concentrada $M = 125 \text{ kg}$ no centro, como mostra a Fig. 3. A viga, discretizada com 280×40 , possui dimensões $14 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ e espessura de $0,001 \text{ m}$. O material apresenta módulo de elasticidade $E = 25 \text{ GPa}$, coeficiente de Poisson $\nu = 0,3$ e densidade $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$.

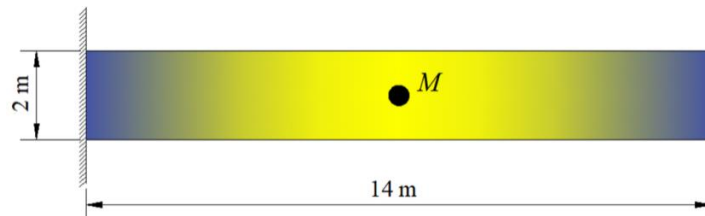


Figura 3. Viga bi-engastada de material único, com massa concentrada.

O algoritmo de otimização foi testado alterando os parâmetros de fator de penalização, raio mínimo e taxa evolucionária. Os fatores de penalização utilizados foram os números inteiros $p = 1$ até 4, o raio mínimo elementar $r_{min} = 1,5$ até 3,5, e a taxa evolucionária $ER = 0,5\%$ até 2,5%, ambos com intervalo de 0,5. Os outros dados de entrada utilizados foram taxa de adição $AR = 1\%$, $x_{min} = 10^{-6}$ e fração volumétrica prescrita $Volfrac = 50\%$. Os resultados obtidos, organizados nas Tabs. 1 a 4, mostram variações na função objetiva e no número de iterações.

Segundo Du e Olhoff, (2007) no fator de penalização normalmente são aplicados valores de 1 até 3. Para investigar melhor os efeitos desse parâmetro no processo de otimização, foram utilizados neste trabalho valores entre 1 e 4.

Quanto taxa evolutiva, experimentos numéricos prévios demonstraram que para valores acima de 2,5%, existem poucos casos em que não há perda de conexão com a massa durante o processo de otimização, ficando fora da zona de convergência do algoritmo BESO para o caso estudado. Por sua vez, com valores de raio mínimo menores que 1,5, problemas de instabilidades numéricas como o efeito tabuleiro de xadrez, tornam-se mais pronunciado, inviabilizando uma eventual fabricação, já com valores acima de 4 em sua maior parte resulta em perda de integridade estrutural da viga otimizada, inviabilizando o projeto.

Tabela 1. Valores das frequências em Hz e número de iterações (entre parênteses), para $p = 1$.

r_{min} ER	1,5	2	2,5	3	3,5
0,5%	-	-	-	-	-
1%	-	23,744 (77)	-	-	-
1,5%	23,5467 (57)	-	-	-	-
2%	-	-	-	-	-
2,5%	-	-	-	-	-

Tabela 2. Valores das frequências em Hz e número de iterações (entre parênteses), para $p = 2$.

r_{min} ER	1,5	2	2,5	3	3,5
0,5%	24,5815 (146)	24,435 (147)	24,256 (144)	24,310 (146)	24,129 (147)
1%	24,3166 (78)	-	24,221 (77)	24,100 (78)	24,085 (78)
1,5%	-	-	-	-	23,973 (54)
2%	-	-	24,337 (46)	-	-
2,5%	-	-	-	-	-

Tabela 3. Valores das frequências em Hz e número de iterações (entre parênteses), para $p = 3$.

r_{min} ER	1,5	2	2,5	3	3,5
0,5%	24,530 (147)	24,330 (146)	24,246 (147)	24,164 (148)	24,143 (146)
1%	-	-	24,313 (78)	24,209 (76)	24,203 (78)
1,5%	-	-	24,088 (56)	-	24,0768 (62)
2%	24,339 (42)	-	-	24,227 (43)	24,164 (44)
2,5%	-	-	-	-	-

Tabela 4. Valores das frequências em Hz e número de iterações (entre parênteses), para $p = 4$.

r_{min} ER	1.5	2	2.5	3	3.5
0,5%	24,440 (153)	24,408 (146)	24,249 (147)	24,128 (146)	24,103 (146)
1%	24,437 (78)	24,233 (77)	23,997 (79)	24,057 (77)	24,023 (77)
1,5%	24,354 (55)	24,381 (60)	23,923 (55)	-	24,040 (55)
2%	24,298 (43)	24,164 (42)	24,102 (42)	24,047 (43)	23,950 (43)
2,5%	-	-	-	23,958 (37)	23,770 (41)

Nas Figuras 4.a-b, são apresentados os melhores leiautes obtidos neste trabalho com respeito à manufaturabilidade e ao ótimo global, respectivamente, e nas Figs. 5 e 6 são mostrados os resultados obtidos por outros autores. Já na Fig. 7 pode ser observado o histórico da otimização para a solução que apresenta maior manufaturabilidade, enquanto que na Fig. 8 o histórico de otimização para a obtenção do ótimo global de separação pode ser observado.

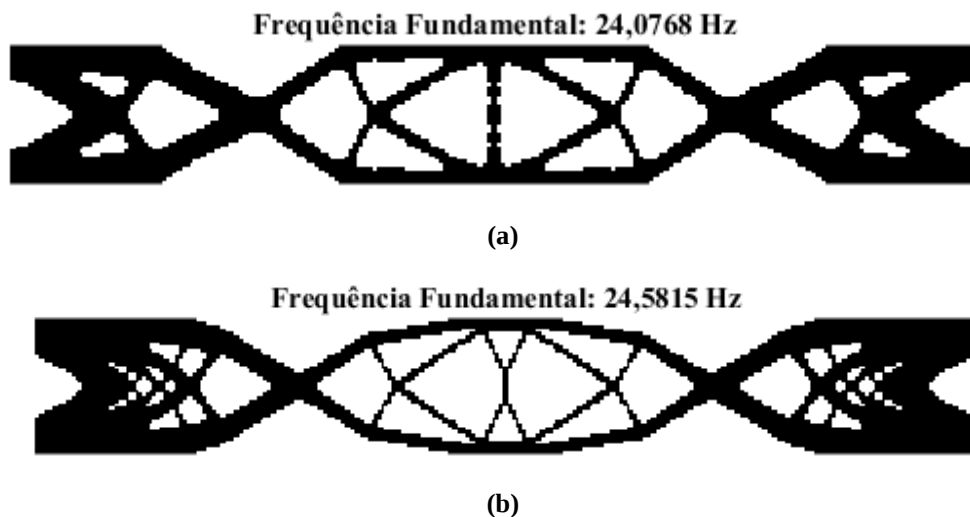


Figura 4. Vigas otimizadas conforme algoritmo implementado neste trabalho. (a) Maior Manufaturabilidade: $p = 3$, $r_{min} = 3,5$, $ER = 1,5\%$. (b) Ótimo global: $p = 2$, $r_{min} = 1,5$, $ER = 0,5\%$



Figura 5. Viga otimizada conforme Yaghoobi e Hassani, 2017.

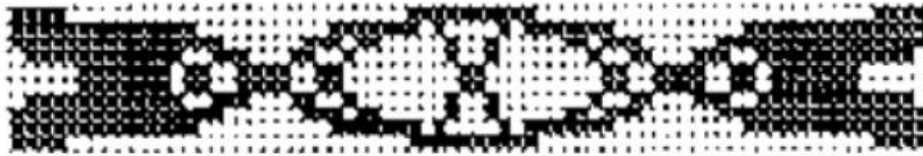


Figura 6. Viga otimizada conforme Zhao, Steven e Xie, 1997.

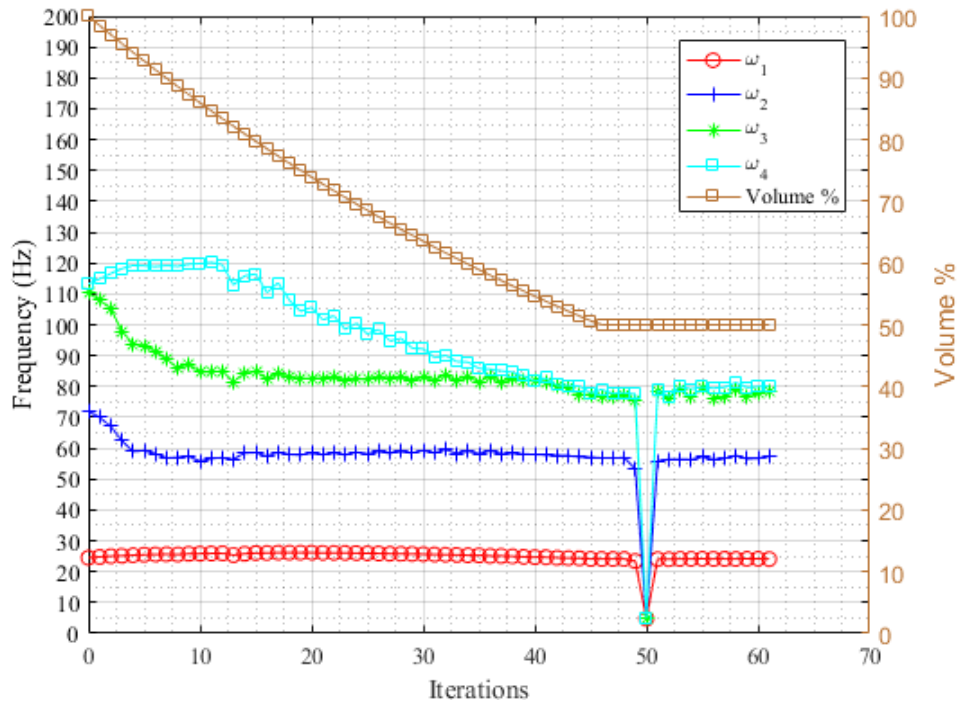


Figura 7. Histórico de otimização para o leiaute com maior manufaturabilidade, frequências $\times$ iterações e volume $\times$ iterações.

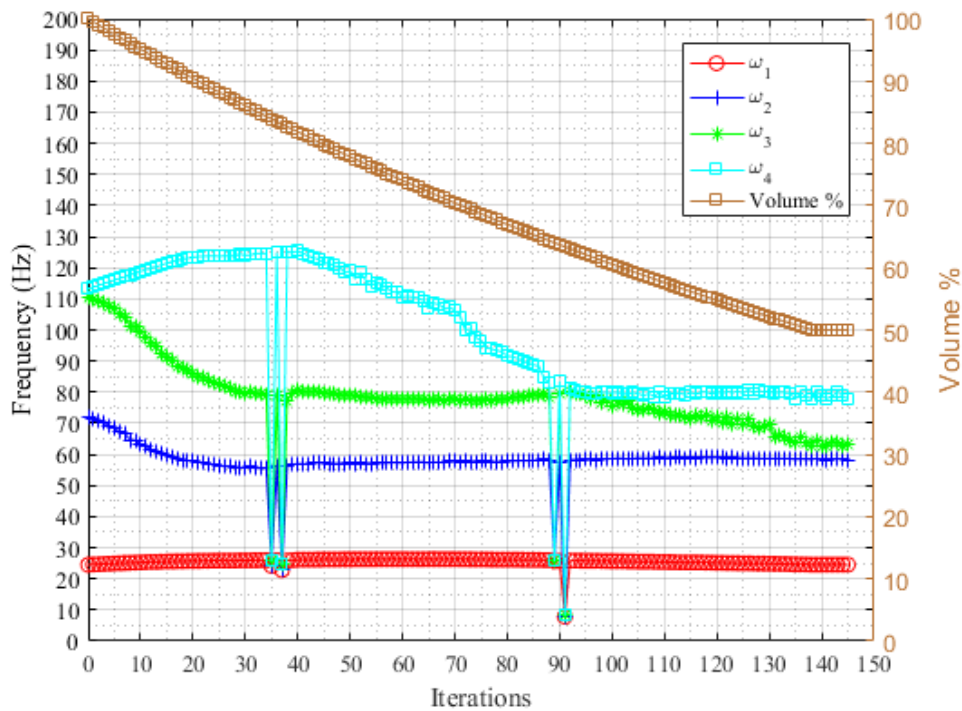


Figura 8. Histórico de otimização para o leiaute de ótimo global, frequências $\times$ iterações e volume $\times$ iterações.

A Tabela 5 compara os resultados obtidos neste trabalho com os resultados obtidos por outros autores.

Tabela 5. Comparação entre os resultados obtidos por diferentes autores.

	Zhao <i>et al.</i> , (1997)	Yaghoobi e Hassani, (2017)	Este trabalho (Ótimo Global)	Este trabalho (Melhor manufaturabilidade)
Método	ESO	MMA	BESO	
Dimensões (m × m)	14 × 2	14 × 2	14 × 2	
E (Pa)	25×10^9	25×10^9	25×10^9	
P (kg/m ³)	2500	2500	2500	
Massa (kg)	125	125	125	
Malha	70 × 10	70 × 10	280 × 40	
Volume Final	50,29%	50,29%	50%	
Frequência Final (Hz)	21,167	24,351	24,582	24,077

Nos resultados do ótimo global, embora a topologia alcançada possua algumas diferenças quando comparada com as dos outros autores, os valores estiveram 16,12% acima dos valores de Zhao *et al.*, (1997), e 0,94% acima dos valores de Yaghoobi e Hassani, (2017), isso com uma diferença de 0,29% a menos no volume prescrito. Por sua vez, a topologia com melhor manufaturabilidade apresenta maior similaridade com os outros trabalhos citados, com um volume prescrito 0,29% menor, e com um valor da frequência fundamental 13,75% maior que o de Zhao *et al.*, (1997), e 1,12% menor que o apresentado por Yaghoobi e Hassani, (2017).

4. CONCLUSÕES

Este trabalho buscou investigar os efeitos dos parâmetros de entrada do método BESO (*Bidirectional Evolutionary Structural Optimization*) no processo de otimização, analisando seus efeitos sobre função objetivo, número de iterações e curva de convergência. O método evolucionário implementado foi aplicado na maximização da frequência fundamental de uma viga bi engastada com massa concentrada. Os resultados obtidos comprovam a eficiência da implementação realizada na avaliação da influência dos parâmetros, gerando resultados do comportamento das soluções para diferentes taxas evolucionárias, raio de filtragem e fator de penalização.

Tornou-se possível perceber que o aumento do fator de penalização propicia uma maior segurança ao processo, pois tem como efeito atenuar a influência da massa acoplada no cálculo da sensibilidade; assim, é possível evitar que o algoritmo tenha a percepção de que o material localizado ao redor da massa estrutural seja ineficiente, o que levaria à sua retirada da estrutura. Também, pode ser notado que uma diminuição da taxa evolucionária ou do raio mínimo normalmente implica em um aumento da função objetivo, com o custo de um número maior de iterações.

Além disso, foi possível obter soluções mais eficientes para o problema anteriormente resolvido por Zhao *et al.*, (1997), e Yaghoobi e Hassani (2017), através da alteração dos parâmetros de entrada e malha elementar, demonstrando a influência e os efeitos de um controle mais preciso no processo de otimização. Quanto à manufaturabilidade, é possível se afirmar que há uma relação direta com o valor do raio mínimo, *i.e.*, um maior valor do raio de filtragem implica em um melhor leiaute para manufatura, ao custo de um resultado ligeiramente inferior ao ótimo global, e um menor valor implica em uma solução melhor ao custo de uma manufaturabilidade inferior.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho tiveram o suporte financeiro do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, do Ministério da Ciência Tecnologia, Inovações e Comunicação, (Processos Números 140081/2015-1 e 148895/2016-6), e da Fundação CAPES, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, do Ministério da Educação (Processo Número 3686), Brasil.

6. REFERÊNCIAS

- Bendsøe, M. P. and Kikuchi, N. Generating optimal topologies in structural design using a homogenization method, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, v.71, pp.197-224, 1988.
- Bendsøe, M. P. Optimal shape design as a material distribution problem, *Structural Optimization*, v.1, pp.193-202, 1989.
- Du, J. and Olhoff, J. Topological design of freely vibrating continuum structures for maximum values of simple and multiple eigenfrequencies and frequency gaps, *Structural Multidisciplinary Optimization*, v. 34, pp.91-110, 2007.
- Huang, X. and Xie, Y. M. Bi-directional evolutionary topology optimization of continuum structures with one or multiple materials, *Computational Mechanics*, v. 43, pp.393-401, 2009.

- Huang, X. and Xie, Y. M. *Evolutionary Topology Optimization of Continuum Structures: Methods and Applications*, Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2010. 237p.
- Ma, Z.; Cheng, H. and Kikuchi, N. Structural design for obtaining desired eigenfrequencies by using the topology and shape optimization method, *Computing Systems in Engineering*, v. 5, pp.77-89, 1994.
- Rozvany, G. I. N.; Zhou, M. and Birker, T. Generalized shape optimization without homogenization, *Structural Optimization*, v. 4, pp.250-254, 1992.
- Sethian, J.A. and Wiegmann, A. Structural boundary design via level set and immersed interface methods, *Journal of Computational Physics*, v. 163, pp.489-528, 2000.
- Xie, Y.M. and Steven, G.P. A simple evolutionary procedure for structural optimization, *Computer & Structures*, v. 49, pp.885-896, 1993.
- Xie, Y.M. and Steven, G.P. *Evolutionary structural optimization*. London: Springer, 1997. 188p.
- Xie, Y.M. and Steven, G.P. *Evolutionary structural optimization for dynamics problems*, *Computational Structures*, v. 58, pp.1067-1073, 1996.
- Yaghoobi, N. and Hassani, B. Topological optimization of vibrating continuum structures for optimal natural eigenfrequency. *International Journal of Optimization in Civil Engineering*, v. 7, pp.1-12, 2017.
- Yang, XY; Xie, Y. M.; Steven, Grant and Querin, O. Topology Optimization for Frequencies Using an Evolutionary Method, *Journal of Structural Engineering*, v. 125, pp.1432-1438, 1999.
- Zhao, C.; Steven, G.P. and Xie, Y.M. Evolutionary natural frequency optimization of two-dimensional structures with additional non-structural lumped masses, *Engineering Computation*, v. 14, pp.233-251, 1997.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

SENSIBILITY ANALYSIS OF THE OPTIMIZATION PARAMETERS FOR FUNDAMENTAL FREQUENCY MAXIMIZATION OF A BICLAMPED BEAM

G. C. Rodrigues, gustavocomerlato@gmail.com¹

E. S. Lisboa, ederval.lisboa@yahoo.com.br²

J. B. D. Moreira, joabapmdias@gmail.com²

F. B. Link, feulink@gmail.com²

W. J. P. Casas, walter.paucar.casas@ufrgs.br²

¹ Department of Mechanical Engineering, Federal University of Rio Grande do Sul, Rua Sarmento Leite 425 Porto Alegre, Brazil, <http://www.ufrgs.br/demec> - PROPESQ Scholarship – UFRGS – Brazil

² Department of Mechanical Engineering, Federal University of Rio Grande do Sul, Rua Sarmento Leite 425 Porto Alegre, Brazil, <http://www.ufrgs.br/demec>

Abstract: This work aims to explore the effects of the entry parameters in the BESO (Bidirectional Evolutionary Structural Optimization) method's optimization process, analyzing their effects over the objective function, the number of iterations and the convergence curve. The algorithm was developed in the MATLAB™ programming environment, and its results validated utilizing a classic model of a biclamped beam with concentrated mass. After validation, numerical experiments were realized in order to better understand the influence of each parameter not only on the optimization process, but also on the final topology and optimal solution. The results show that under a higher penalization factor, the algorithm converges more easily, and that with a higher evolutionary rate there is a significant reduction in the total number of required iterations. It was also possible to see that changes in the minimum radius and penalization factor do not influence at total number of iterations. As such, it can be seen that increase at minimum radius and evolutionary rate collaborate to reducing the number of iterations in the algorithm, while at the same time distancing from the optimal solution.

Keywords: Topological Optimization, Vibrations, Global Optimum, Finite Elements