



EXPLORANDO A OTIMIZAÇÃO TOPOLÓGICA EVOLUCIONÁRIA COM MÉTODOS SEM MALHA

Aluno: Luís Felipe de Oliveira Lima

Orientador: Renato Pavanello

30 de Novembro de 2020

1 Resumo

O objetivo principal desse trabalho é implementar uma ferramenta computacional para otimização topológica estrutural utilizando métodos sem malha para resolver o problema físico associado, como mostrado na Figura 1. O problema físico e o problema de otimização se relacionam através do critério de performance da estrutura física e da topologia obtida do problema de otimização.

O método de otimização topológica empregado é o Bi-directional Evolutionary Structural Optimization - BESO -, enquanto o método sem malha utilizado é o Element-free Galerkin - EFG. Duas características particulares desse método são a ausência de malhas estruturadas e sua capacidade de lidar com problemas não lineares. No campo da otimização topológica, esse trabalho foca em minimizar a flexibilidade média em problemas elásticos bidimensionais.

Nesse trabalho, apenas a formulação linear é desenvolvida para o problema de elasticidade que é, em seguida, discretizado utilizando o método EFG.

A formulação do BESO é então apresentada, considerando o EFG como *solver* do problema físico. Para comparação e validação dos resultados, utilizam-se diferentes problemas referência em elasticidade linear: as estruturas two-bar e Michel-type e as vigas esgastada e MBB.

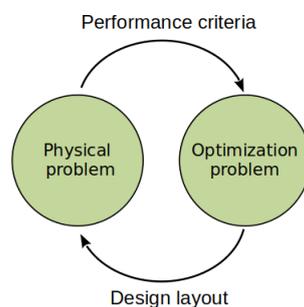


Figure 1: O problema físico é modelado utilizando o EFG, um método sem malha. O problema de otimização topológica é resolvido usando o BESO. Os dois problemas são relacionados através de um critério de performance da estrutura física e a topologia sugerida pelo algoritmo de otimização.



2 Problema físico

O problema físico que buscamos resolver é o problema de elasticidade linear. Iremos considerar estruturas similares à mostrada na Figura 2 com domínio Ω e contorno Γ , sujeito à forças pontuais F ou carregamento distribuído p - condições de Neumann - e à restrições de deslocamento - condições de Dirichlet.

O problema de elasticidade linear é regido pelas Equações 1, onde \mathbf{L} é o operador diferencial linear, σ é o tensor de tensões, \mathbf{u} é o campo de deslocamentos, $\bar{\mathbf{u}}$ e $\bar{\mathbf{t}}$ são os vetores de deslocamento e tração impostos como condição de contorno.

$$\begin{aligned} \mathbf{L} \cdot \sigma &= 0 \\ \mathbf{u} &= \bar{\mathbf{u}} \\ \sigma \cdot \mathbf{n} &= \bar{\mathbf{t}} \end{aligned} \quad (1)$$

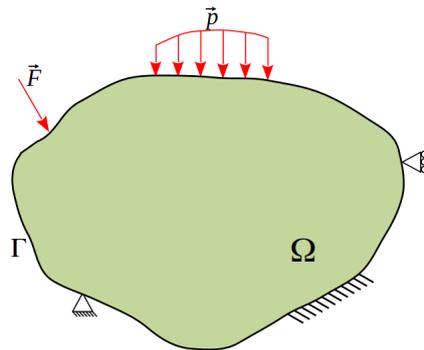


Figure 2: Sólido de referência sujeito à carregamentos externos - forças pontuais, distribuídas e de corpo - e restrições de deslocamento. O domínio de solução é denotado Ω e seu contorno Γ .

3 Otimização Topológica

O problema de otimização topológica é abordado utilizando-se o método BESO. Trata-se de um método evolucionário, onde material é adicionado ou removido da estrutura de forma a otimizar um critério de performance, que no âmbito desse trabalho, é a flexibilidade média de uma estrutura. A Figura 3 localiza o método BESO dentre os diversos métodos de otimização topológica.

A remoção de material consiste em penalizar o módulo de Young de um nó que representa essa região. Adicionar material significa, por conseguinte, em não alterar o módulo de Young inicial do nó. Essa penalização é conhecida como modelo Solid Isotropic Material Penalization - SIMP. Desse modo, o módulo de Young é dado em função da densidade do nó ρ_i , que assume valores entre $\rho_{min} = 0,001$ e 1 e um fator de penalização p :

$$E_y^i = \rho_i^p E_0 \quad (2)$$



Onde E_y^i é o módulo de Young penalizado e E_y^0 é o módulo de Young inicial. Para problemas de otimização estrutural o fator de penalização é $p = 3$. Nesse sentido, remover material consiste em atribuir densidade $\rho_{min} = 0,001$ para um nó.

O método propõe adicionar ou remover material em uma dada região do domínio Ω em função da sensibilidade dessa região, que é obtida a partir da derivada da compliance média C da estrutura. Regiões com baixa sensibilidade terão material removido e regiões com alta sensibilidade o material é mantido, quando não adicionado. O algoritmo geral do BESO-EFG é apresentado na Figura 3.

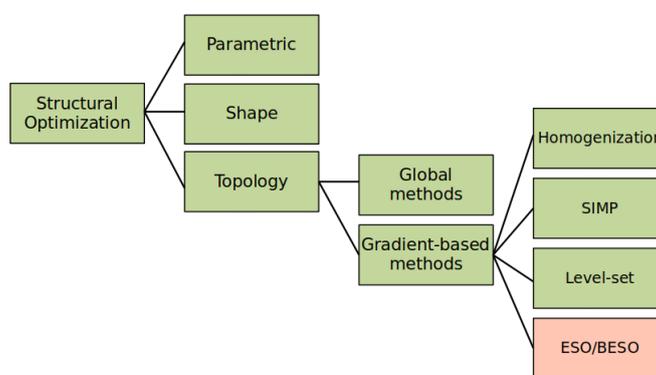


Figure 3: Principais ramificações dos métodos de otimização. Nesse trabalho usaremos o BESO.

4 Resultados

Ao longo das iterações, o método BESO propõe diferentes topologias que, idealmente, convergem para a solução ótima. A Figura 4 mostra o resultado evolucionário da otimização de uma viga cantilever, cuja configuração inicial é mostrada na Figura 4. Vemos, na Figura 4, que à medida que se remove material, o método propõe uma topologia ótima para a quantidade disponível de material.

Vários outros exemplos foram tratados nesse trabalho, como as vigas MBB e estruturas *Michell-type*.

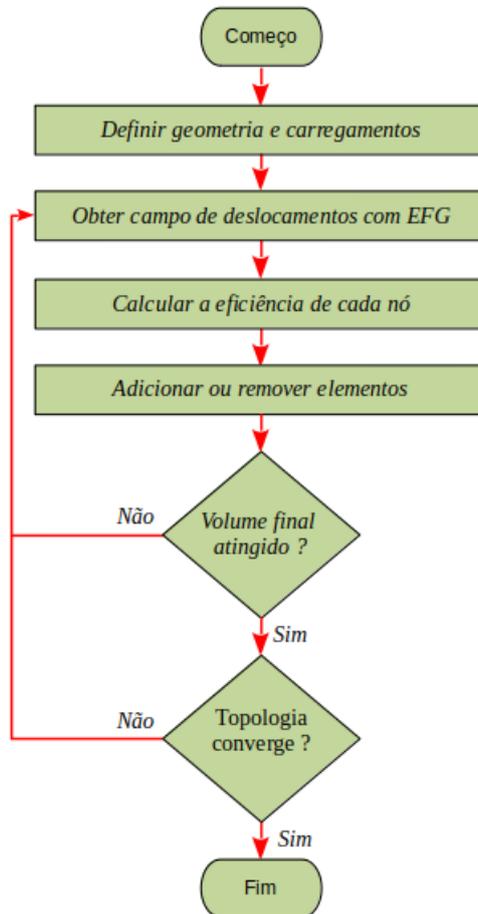


Figure 4: Algoritmo simplificado do método BESO-EFG desenvolvido.

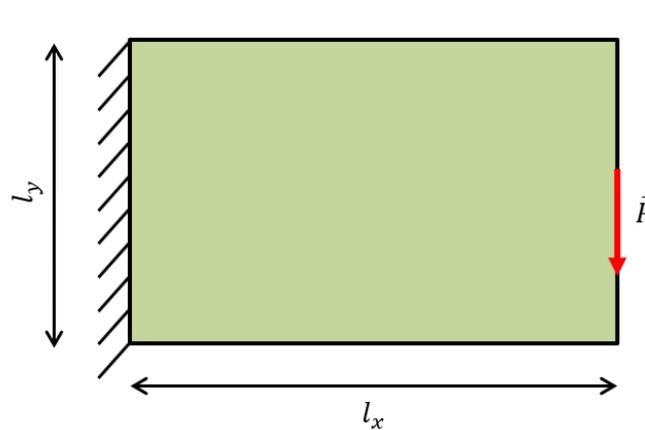


Figure 5: Evolução do volume, compliance média e topologia durante a otimização de uma viga cantilever.

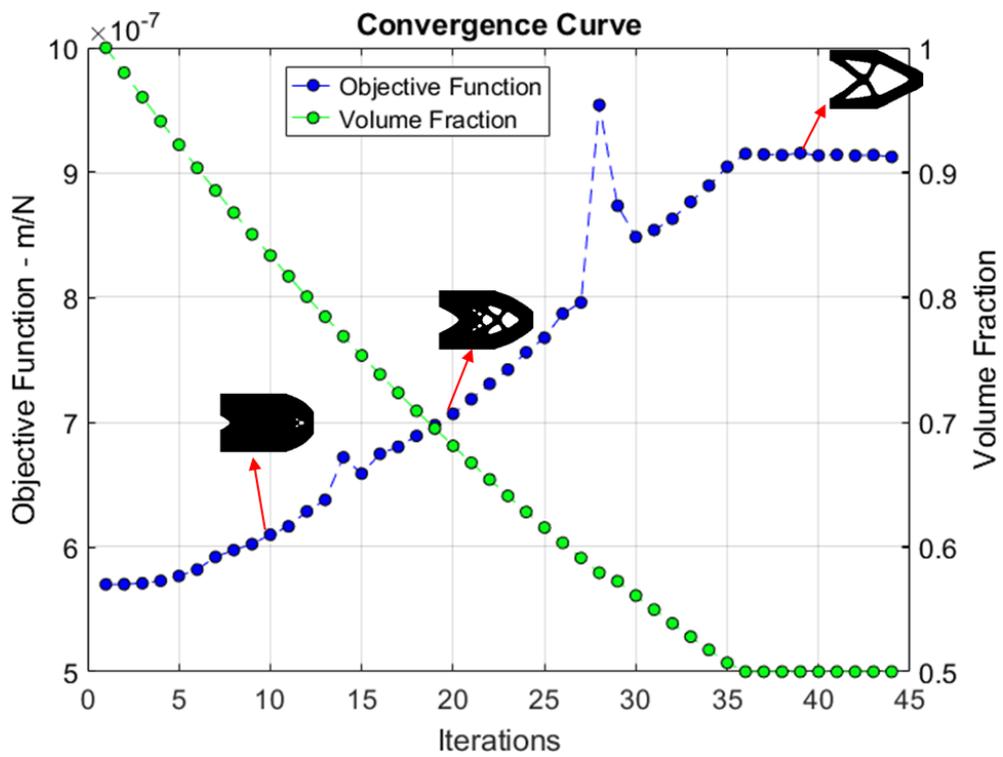


Figure 6: Evolução do volume, compliance média e topologia durante a otimização de uma viga cantilêr.