OTIMIZAÇÃO ESTRUTURAL DA DINÂMICA DE UM SISTEMA FLUIDO-ESTRUTURA CONSIDERANDO FRONTEIRAS MÓVEIS

Aluno: Gustavo Comerlato Rodrigues Orientador: Walter Jesus Paucar Casas

1. Introdução

Desde modos de *sloshing* e acústica de interiores até a dinâmica de aerofólios, sistemas com interação fluido-estrutura podem ser facilmente encontrados em engenharia e estudados com os mais diferentes focos. Devido ao acoplamento forte entre a dinâmica do fluido e da estrutura, além de existir uma ampla gama de problemas deste tipo com domínios geométricos complexos, tais sistemas vêm sendo frequentemente estudados com o auxílio de ferramentas computacionais. Com o intuito de melhorar a performance e auxiliar no design de sistemas onde este acoplamento é de suma importância, métodos de otimização topológica também vêm sendo estudados para sua aplicação nestes sistemas, como para a maximização de rigidez em sistemas estáticos ou a minimização da queda de pressão em canalizações (Picelli, 2015).

Neste sentido, este trabalho visa estudar a aplicação e o desenvolvimento de um programa para a otimização de sistemas fluido-estrutura dinâmicos através do método BESO de otimização topológica.

2. Dinâmica de sistemas FSI

Para sistemas fluido-estrutura discretizados sem a presença de amortecimento ou forças externas, pode-se descrever seu comportamento dinâmico através de um sistema assimétrico de equações pressão-deslocamento:

$$\begin{bmatrix} \boldsymbol{M}_s & 0 \\ \rho_f \boldsymbol{L}_{fs}^T & \boldsymbol{M}_f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\boldsymbol{u}}_s \\ \ddot{\boldsymbol{p}}_s \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \boldsymbol{K}_s & -\boldsymbol{L}_{fs} \\ 0 & \boldsymbol{K}_f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{u}_s \\ \boldsymbol{p}_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Onde $\boldsymbol{K}$ é a matriz de rigidez, $\boldsymbol{M}$ a matriz de massa, $\boldsymbol{L}$ a matriz de acoplamento, $\boldsymbol{u}$ o vetor de deslocamentos, $\boldsymbol{p}$ o vetor de pressões nodais, ρ_f a densidade do fluido e os subscritos $_f$ e $_s$ indicam se a quantia se refere ao sistema fluido ou ao sistema estrutura.

Para a maximização de uma dada frequência natural deste sistema, sujeito a uma restrição de volume e considerando que o espaço de soluções restringe-se apenas à existência ou inexistência de material em um dado elemento, o problema de otimização pode ser escrito da seguinte forma:

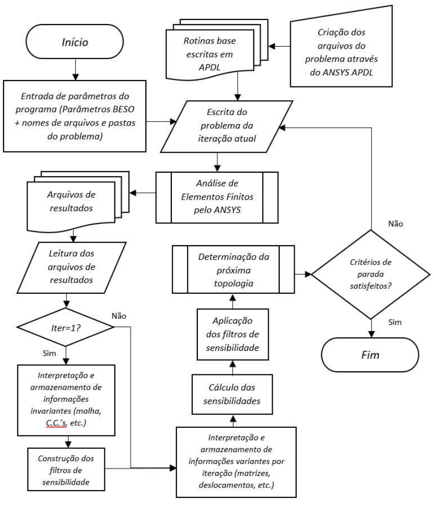
$$\begin{aligned} &\max_{\mathbf{X}} \ \omega_k^2 \\ &\text{sujeito a: } \left(\mathbf{K}_{fs} - \omega_k^2 \mathbf{M}_{fs}\right)\Phi_k = 0 \\ &\frac{V(\mathbf{X})}{V_t} = V_f \\ &x_i = \{x_{min}, 1\}, i = 1,2,3 \ldots \end{aligned}$$

Onde $\mathbf{X}$ é o vetor de elementos do sistema discretizado, ω_k^2 é a k-ésima autofrequência, V_f é uma fração volumétrica de volume ocupado pela estrutura no domínio de otimização, V_t é o volume total deste domínio, $V(\mathbf{X})$ é o volume resultante das variáveis de projeto, x_i é um elemento qualquer de $\mathbf{X}$, x_{min} é um valor mínimo prescrito que possa ser assumido pelas variáveis de projeto, e $\left(\mathbf{K}_{fs} - \omega_k^2 \mathbf{M}_{fs}\right)\Phi_k = 0$ é uma versão compacta da Eq. (1).

Para realizar a análise de sensibilidade sobre a variação de alguma variável de projeto deste sistema, é necessário interpolar a variável entre os valores de x_{min} e 1. Negligenciando-se as variações nas matrizes $\boldsymbol{M}_f$, $\boldsymbol{K}_f$ e $\boldsymbol{L}_{fs}$, são calculadas através do esquema SIMP de interpolação as sensibilidades de cada elemento, notando-se que, devido à esta negligência, elas são concentradas sobre os elementos sólidos, e a adição de algum elemento sólido sobre o domínio fluido depende então principalmente da filtragem de sensibilidades realizada, a qual acaba por transferir os valores de sensibilidade dos elementos sólidos para os elementos fluido. Após calculadas as sensibilidades, segue-se então sua filtragem e a atualização da topologia para a próxima iteração, o que se repete até serem satisfeitas as restrições do problema e um critério de parada.

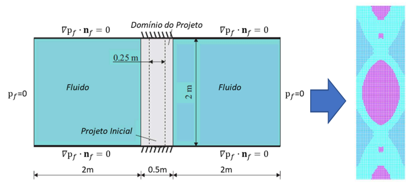
3. Implementação

Visando possíveis extensões para problemas com malhas irregulares e não-estruturadas, o algoritmo aqui descrito foi implementado através de um programa utilizando o ambiente MATLAB de programação para realizar os cálculos de otimização topológica e o software ANSYS Mechanical para realizar a simulação de elementos finitos dos sistemas FSI. Inicialmente, o sistema físico é definido e resolvido no ANSYS, e seus resultados são exportados para o MATLAB de forma a calcular as sensibilidades de cada elemento. Em cada iteração, após o calculo de sensibilidades, a topologia da próxima iteração é então definida através do método do critério de otimalidade descrito em (Huang e Xie, 2010), e depois de definida esta nova topologia, ela é mandada de volta para o ANSYS para ser resolvida, e o ciclo se repete até a convergência, como descrito no fluxograma mostrado abaixo.

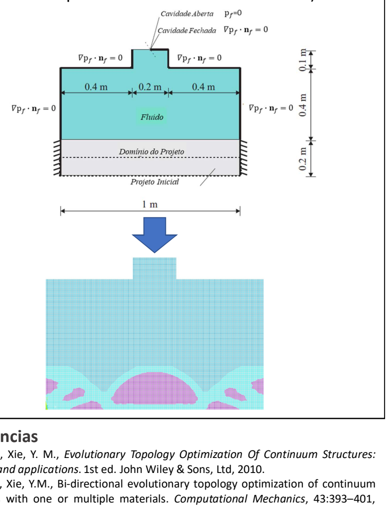


4. Resultados

O algoritmo aqui desenvolvido foi aplicado para verificação em dois sistemas 2D com interação FSI presentes na literatura. No primeiro caso, uma parede de alumínio (E=70 GPa, ρ_s = 2700 kg/m³) entre duas câmaras de água (c_f= 1450 m/s, ρ_f = 1000 kg/m³) abertas nas extremidade é otimizada para a maximização da frequência fundamental (inicialmente 105,0 Hz) sob volume constante. Após 22 iterações, foi atingida uma nova topologia com frequência fundamental de 146,7 Hz, um aumento de cerca de 40% sobre a estrutura inicial. A figura abaixo demonstra a evolução do problema original para a topologia final (onde azul claro é material sólido, rosa é material vazio e azul escuro é fluido).



O segundo sistema a ser otimizado trata-se de uma cavidade ajustável (aberta ou fechada, neste trabalho considerado o caso de cavidade aberta) contendo água com uma estrutura de alumínio (espessura 0.2 m, estado plano de tensões) no seu fundo a ser otimizada (mesmos dados do caso anterior para os dois materiais), visando-se a maximização da frequência fundamental com a mesma quantidade de volume. Inicialmente, a primeira frequência fundamental possuía um valor de 105,6 Hz, e depois de 26 iterações, foi atingido um valor de 182,5 Hz. Abaixo, pode-se ver uma comparação entre a estrutura do problema original e a topologia otimizada (com o mesmo padrão de cores do caso anterior).



Referências

Huang, X., Xie, Y. M., *Evolutionary Topology Optimization Of Continuum Structures: methods and applications*. 1st ed. John Wiley & Sons, Ltd, 2010.

Huang, X., Xie, Y.M., Bi-directional evolutionary topology optimization of continuum structures with one or multiple materials. *Computational Mechanics*, 43:393–401, 2009.

Picelli, R.; Vicente, W.M.; Pavanello, R. Bi-directional evolutionary structural optimization for design-dependent fluid pressure loading problems. *Engineering Optimization*. V.47(10):1324–1342, 2015.